



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

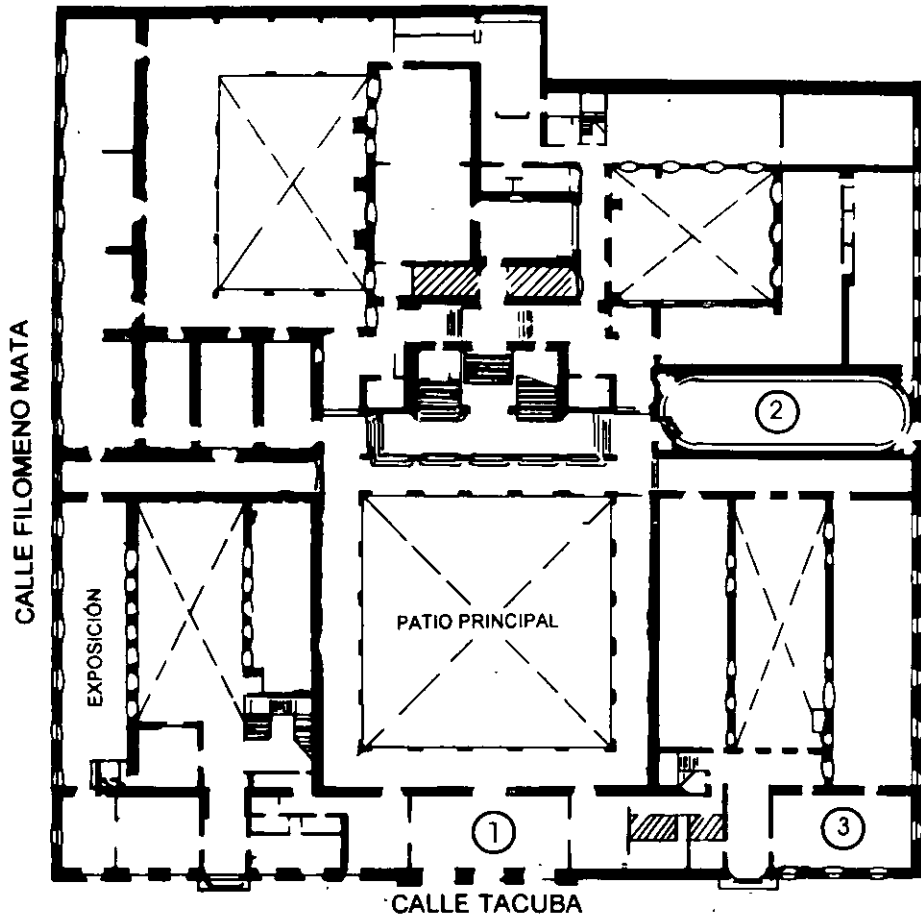
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

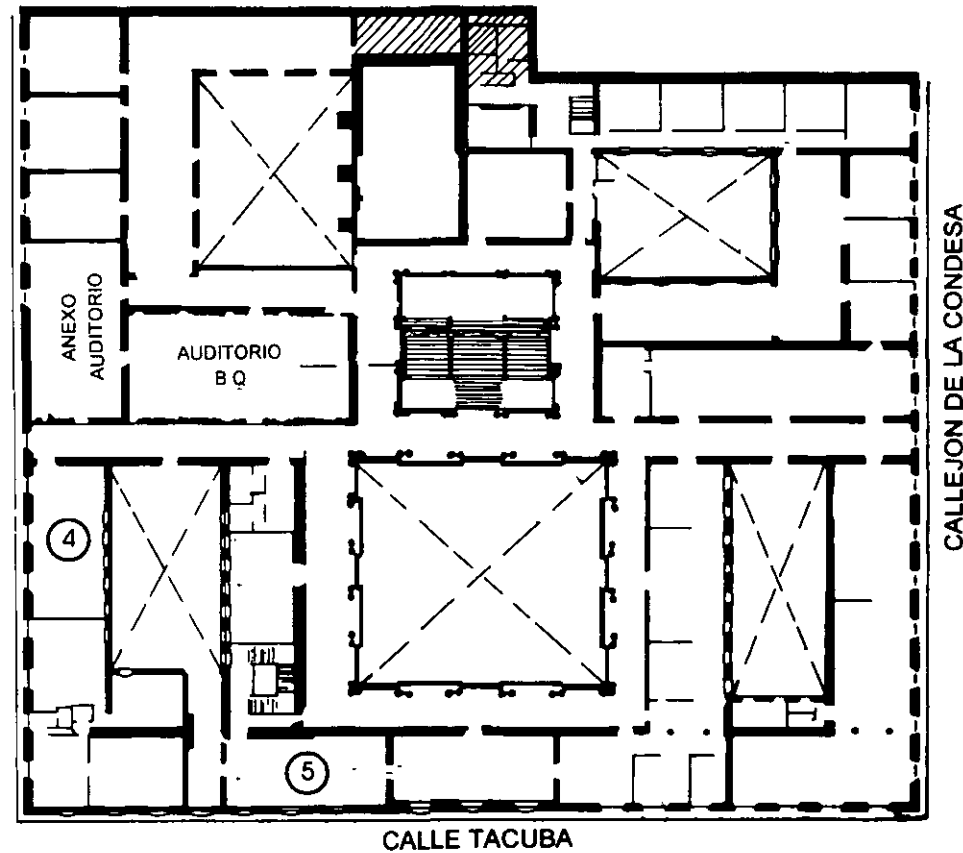
Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente
División de Educación Continua.**

PALACIO DE MINERIA

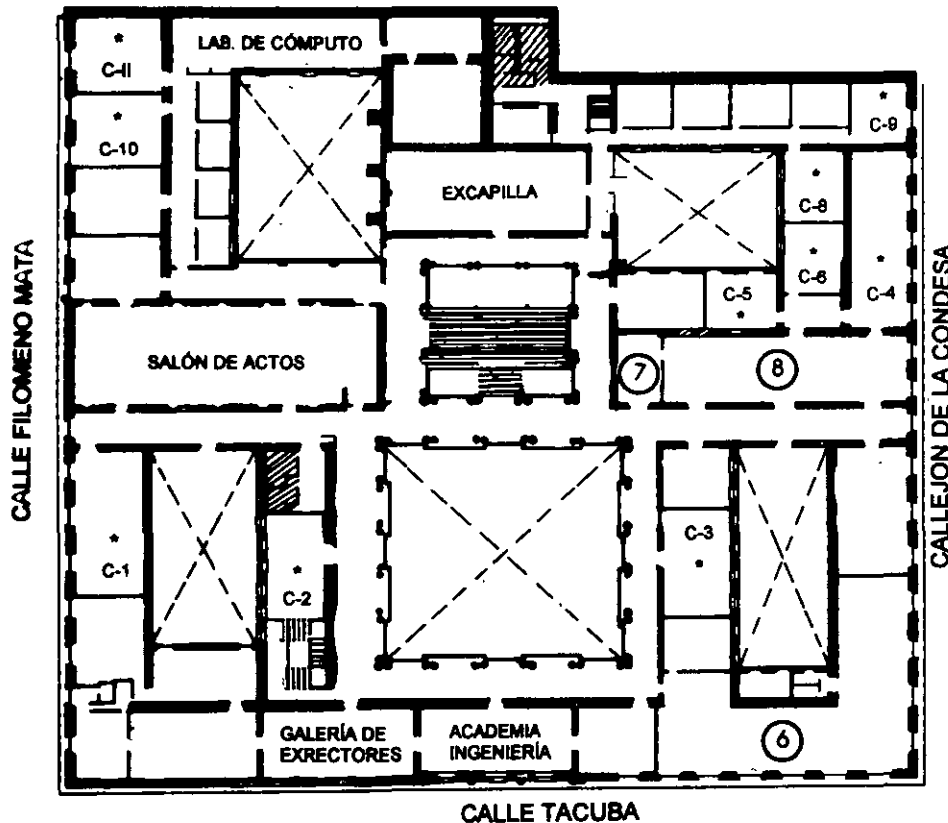


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

PALACIO DE MINERÍA



GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

* AULAS

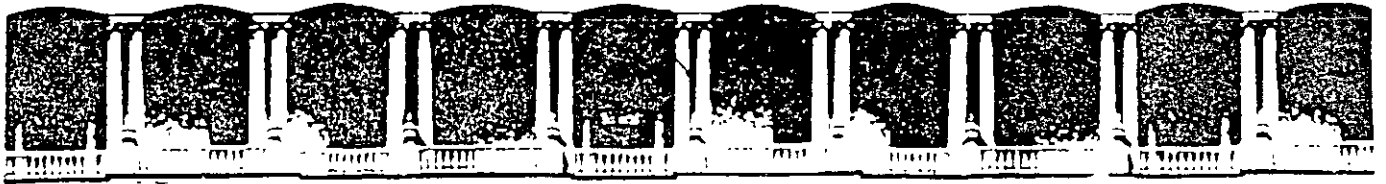
1er. PISO



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

**CAMINOS Y PUENTES FEDERALES DE
INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS**

**APLICACIONES PRÁCTICAS PARA ADITIVOS
DE CONCRETO HIDRÁULICO**

Del 25 al 26 de Agosto del 2000.

Apuntes Generales.

Ing. Sergio E. Zerecero Galicia
Palacio de Minería
Agosto/ 2000

CONTENIDO

PROLOGO	v
RECONOCIMIENTOS	vii
1. INSPECCION E INSPECTOR	1
PROCESOS DE INSPECCION Y ORGANIZACION	
EL INSPECTOR	
BIBLIOTECA DE REFERENCIA	
MEDIDAS Y TOLERANCIAS	
SEGURIDAD	
2. CONCEPTOS ESTADISTICOS APLICADOS A LA GARANTIA DE CALIDAD (CONTROL Y APROBACION DE CALIDAD)	15
SEGURIDAD TRADICIONAL DE CALIDAD	
CONCEPTOS ESTADISTICOS EN LA SEGURIDAD DE LA CALIDAD	
PROCEDIMIENTOS ESTADISTICOS BASICOS Y SU APLICACION A LAS CONSTRUCCIONES DE HORMIGON	
CONCEPTOS ESTADISTICOS BASICOS	
HERRAMIENTAS ESTADISTICAS	
CONCLUSION	
APENDICE 1 — MUESTREO MEDIANTE NUMEROS ALEATORIOS	
APENDICE 2 — CURVAS DE DISTRIBUCION NORMAL	
APENDICE 3 — CALCULO DE LA DESVIACION ESTANDAR Y DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA DEL HORMIGON	
APENDICE 4 — GRAFICOS DE CONTROL DE LOS MATERIALES DEL HORMIGON	
3. INSPECCION Y ENSAYO DE MATERIALES	53
CEMENTO	
AGREGADOS	
AGUA	
ADITIVOS	
ACERO DE REFUERZO	
COMPUESTOS PARA EL CURADO DEL HORMIGON	
MATERIALES PARA JUNTAS	
4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES	77
MANEJO Y ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO	
MANEJO Y ALMACENAMIENTO DEL AGREGADO	
ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE MATERIALES PUZOLANICOS	
ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE ADITIVOS	

5. FUNDAMENTOS DEL HORMIGON	84
CLASIFICACIONES GENERALES DE LA CONSTRUCCION DE HORMIGON	
REQUISITOS DEL HORMIGON	
NATURALEZA DEL HORMIGON	
RESISTENCIA A LAS HELADAS	
CONTRACCION Y EXPANSION	
6. MEZCLAS DE HORMIGON—DOSIFICACION Y CONTROL	96
METODOS PARA ESPECIFICAR LAS DOSIFICACIONES DE HORMIGON	
METODO DE DOSIFICACION PARA UNA RESISTENCIA O RELACION AGUA-CEMENTO ESPECIFICADA	
DOSIFICACION PARA OBTENER RESISTENCIA A CONDICIONES DE EXPOSICION VARIABLES	
DOSIFICACION POR VOLUMEN DE PARTICULAS	
CONTROL DE LAS PROPORCIONES DE HORMIGON	
CALCULO DEL RENDIMIENTO	
7. MEDICION Y AMASADO	119
OPERACIONES DE MEDICION	
OPERACIONES DE MEZCLADO	
INSPECCION	
8. INSPECCION ANTES DE HORMIGONAR	145
ESTUDIO PRELIMINAR	
INSPECCION DEL TRABAJO PREPARATORIO	
INSPECCION FINAL ANTES DE LA COLOCACION	
FORMULARIO DE VERIFICACION	
9. OPERACIONES DE HORMIGONADO	165
CONDICIONES DEL SITIO	
MANEJO EN EL SITIO	
CONSOLIDACION	
ACABADO	
JUNTAS DE CONSTRUCCION	
10. CURADO, PROTECCION, REMOCION DE FORMALETAS Y REAPUNTAMIENTO	193
REMOCION Y APOYO DE LAS FORMALETAS	
CURADO	
CONDICIONES ESPECIALES DE CURADO Y PROTECCION	
11. CORRECCION DE DEFECTOS EN HORMIGON RECIENTE ENDURECIDO Y REPARACIONES DE HORMIGON DE MAS EDAD	205
SUPERFICIES A LA VISTA HECHAS CON FORMALETA	

REPARACIONES A ESTRUCTURAS EN SERVICIO	
HORMIGON DECORATIVO	
HORMIGON ESTRUCTURAL	
REPARACIONES ESTRUCTURALES QUE UTILIZAN RESINAS EPOXICAS	
SEGURIDAD DURANTE LAS OPERACIONES DE REPARACION CON RESINA EPOXICA	
REPARACION CON MORTERO Y HORMIGON DE RESINA EPOXICA	
RELLENO DE GRIETAS	
12. LOSAS DE EDIFICIOS	226
COLOCACION DEL REFUERZO	
REQUISITOS DE LA MEZCLA	
LOSAS SOBRE TERRENO	
LOSAS ESTRUCTURALES	
CONSTRUCCION DE JUNTAS	
13. LOSAS DE PAVIMENTO Y TABLEROS DE PUENTE	237
CIMENTACION (SUBRASANTE Y SUBBASE)	
FORMALETAS	
ACERO DE REFUERZO	
HORMIGON	
PAVIMENTACION	
ACEPTACION	
JUNTAS	
PROBLEMAS DE CLIMA	
PROTECCION DE TRANSITO PREMATURO	
TABLEROS DE PUENTE	
14. HORMIGON DECORATIVO	269
REQUISITOS GENERALES Y COOPERACION	
UNIFORMIDAD	
PROCEDIMIENTOS DE INSPECCION	
FORMALETAS	
REFUERZO	
MATERIALES DEL HORMIGON	
MEZCLAS Y SU DOSIFICACION	
MEDICION, AMASADO Y TRANSPORTE	
COLOCACION Y COMPACTACION	
TERMINADO—TRATAMIENTO SUPERFICIAL	
ACABADO DE AGREGADO EXPUESTO	
CURADO	
REPARACIONES	
MIEMBROS PREFABRICADOS	
PROTECCION Y LIMPIEZA POSTERIOR AL ACABADO	
ACEPTACION FINAL	
15. METODOS ESPECIALES DE HORMIGONADO	291
USO DE FORMALETAS DESLIZANTES EN ESTRUCTURAS VERTICALES	
TUBERIA FUNDIDA EN SITIO CON FORMALETA DESLIZANTE	

CONSTRUCCIONES CON MUROS PREFABRICADOS DE VOLTEAR (TILT-UP) CONSTRUCCION DE LOSAS IZADAS HORMIGON CON AGREGADO PRECOLOCADO CONSTRUCCION DE HORMIGON BAJO AGUA HORMIGON AL VACIO HORMIGON PARA BOMBEO HORMIGON PROYECTADO			
16. TIPOS ESPECIALES DE HORMIGON	321		
HORMIGON ESTRUCTURAL DE AGREGADO LIVIANO HORMIGON DE RELLENO DE PESO LIVIANO HORMIGON AISLANTE DE PESO LIVIANO HORMIGON DE ALTA DENSIDAD HORMIGON MASIVO HORMIGON MASIVO PARA PRESAS HORMIGON MASIVO ESTRUCTURAL HORMIGON CON PUZOLANA COMO REEMPLAZO DEL CEMENTO HORMIGON CON CEMENTO COMPENSADOR DE CONTRACCION			
17. HORMIGON PREFABRICADO Y PREESFORZADO	351		
HORMIGON PREFABRICADO HORMIGON PREFABRICADO PREESFORZADO HORMIGON PREESFORZADO VACIADO EN SITIO			
18. CONSTRUCCION RELACIONADA CON EL HORMIGONAMIENTO	375		
INYECCION A PRESION INYECCION BAJO PLATINAS DE APOYO Y BASES DE MAQUINARIA MORTERO Y ESTUCO			
19. ENSAYO DEL HORMIGON Y DE LOS AGREGADOS	385		
MUESTREO ENSAYOS DE HORMIGON RECIENTE MEZCLADO PRUEBAS DE RESISTENCIA CURADO ACELERADO DE ESPECIMENES DE ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESION DE HORMIGON AISLANTE DE PESO LIVIANO ENSAYOS DE UNIFORMIDAD DE LAS HORMIGONERAS PESO UNITARIO DEL HORMIGON ESTRUCTURAL DE PESO LIVIANO PRUEBAS DE ESTRUCTURAS TERMINADAS TRANSPORTE Y MANIPULACION DE MUESTRAS ENSAYO DE AGREGADOS			
20. REGISTROS E INFORMES	413		
GRAFICAS DE CONTROL DE CALIDAD INSPECCION DE LA PLANTA DE DOSIFICACION Y DE AMASADO VACIADO DEL HORMIGON REQUISITOS DE REGISTROS GENERALES			
21. REFERENCIAS	431		
22. NORMAS, ESPECIFICACIONES, METODOS DE ENSAYOS E INFORMES	438		
DOSIFICACION CEMENTO AGREGADOS ACERO PARA EL REFUERZO DE HORMIGON Y PARA HORMIGON PREESFORZADO OTROS MATERIALES EQUIPO CONSTRUCCION ENSAYOS DEL HORMIGON HORMIGONES UNIDADES DE HORMIGON PREFABRICADO			
23. LISTA DE VERIFICACION PARA LA INSPECCION	450		
TRABAJO ESPECIAL			
APENDICE	456		
GUIA PARA LA INSPECCION DEL HORMIGON (ACI 311.4R-80)			
TABLA DE CONVERSION AL SISTEMA METRICO	461		
INDICE	463		

CAPITULO 1 — INSPECCION E INSPECTOR

PROCESOS DE INSPECCION Y ORGANIZACION

Necesidad de la inspección

La inspección tiene como finalidad asegurar que se logren fielmente los requisitos y propósitos de los planos y las especificaciones del proyecto. (Los inspectores no responsables directa o indirectamente ante el propietario de la obra, tendrán otras responsabilidades como se establece más adelante.)

El término inspección, en el sentido que se le da en el campo de las construcciones de hormigón, incluye no sólo observaciones visuales y mediciones de campo sino también ensayos de laboratorio y recolección y evaluación de sus resultados. De manera similar, el término inspector se aplica también en muchos casos a individuos clasificados como técnicos de laboratorio encargados de efectuar los ensayos, particularmente de campo.

Responsabilidad importante del inspector de hormigón radica en verificar la calidad de los materiales utilizados en el mismo. A menudo se pueden utilizar fuentes de materiales de baja calidad, particularmente de agregados, para producir hormigón de calidad satisfactoria, resultante de un procesamiento o beneficio adecuado. Sin embargo, el material final que entra en la mezcla de hormigón debe ser de calidad satisfactoria. Resulta difícil y generalmente imposible producir hormigón satisfactorio a partir de materiales no satisfactorios.

Por otra parte, ingrediente principal para la construcción satisfactoria de hormigón es una mano de obra de buena calidad en todos los procesos y operaciones. Este aspecto constituye responsabilidad importante del inspector de hormigón. Se ha dicho que la mayoría de los hormigones buenos se hace con cemento probado y certificado, agregados sanos, durables, bien grabados y adecuadamente ensayados, aditivos apropiados y agua limpia y pura, y que la mayoría de los hormigones pobres se hace con los mismos buenos materiales.

Habilidades manuales, conocimiento técnico, motivación y orgullo en el trabajo, todo contribuye a una buena mano de obra, que es la clave real para obtener construcción de hormigón de buena calidad. Los miembros de cuadrillas de hormigonado pueden haber sido sometidos a algún entrenamiento técnico, pero, rara vez, adecuadamente. Algunos obreros se enorgullecen de su trabajo e intentan, de veras, obtener calidad satisfactoria. Sin embargo, la necesidad de permanecer dentro de los límites de costo requiere a menudo hacer énfasis en la rata de producción. Si esta consideración pre-

domina, la calidad puede recibir atención inadecuada. Irónicamente, el costo puede sufrir también: la búsqueda no sofisticada de producción rápida a veces resulta contraproducente, incrementando el costo y atrasando la programación. Técnicas que apresuran la colocación del hormigón son susceptibles de añadir costos en el material, requerir acabado extra o reparación, o alargar el proceso de curado.

El deseo de obtener buena calidad ha llevado al establecimiento de cuerpos de inspección que vigilen y controlen la construcción de hormigón. La siguiente cita proporciona un ejemplo del modo de pensar en tiempos antiguos y de los problemas concernientes a la construcción de hormigón: "... ni hay obra que requiera mayor cuidado que aquella que debe soportar la acción del agua; por esta razón, todas las partes del trabajo deben hacerse exactamente de acuerdo con las reglas del arte, que todos los obreros saben, pero pocos cumplen". Así escribió Sexto Julio Frontino, el comisionado de aguas de Roma, en el año 97. Los tiempos han cambiado pero el problema aún subsiste.

Jacob Feld, uno de los investigadores más notables de fallas estructurales, dio listas de ejemplos en *Lessons from Failures of Concrete Structures*¹, para mostrar que, en alto porcentaje, las fallas en estructuras de hormigón

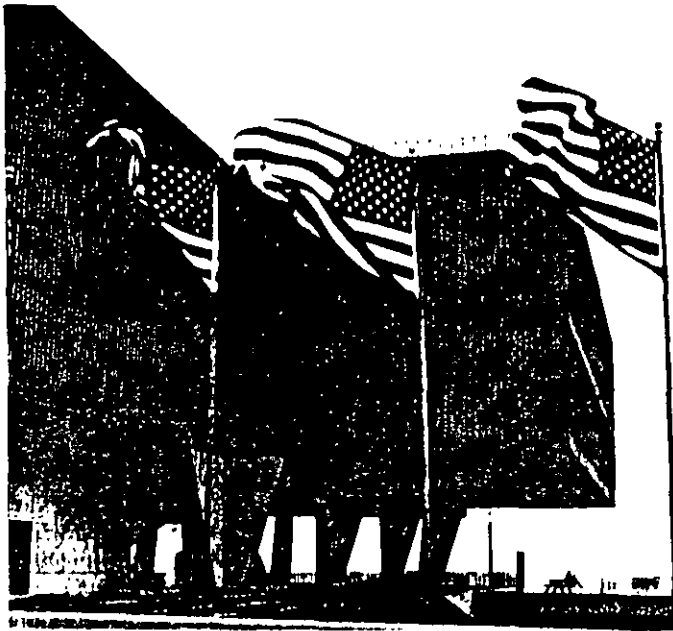


Fig. 1-1—El hormigón es capaz de proporcionar cualquier forma estructural o arquitectónica y cualquier diseño de superficie.

que habla investigado fueron debidas, al menos en parte significativa, a mala construcción; en otras palabras, a mala mano de obra. Escribió: "La supervisión competente y estricta, casi inamistosa, parece ser clave del problema de cómo prevenir fallas." Y posteriormente añadió: "Algo que estas fallas señalan conclusivamente es que toda buena construcción de hormigón deberá someterse a una inspección rígida... Se cree que sólo mediante esta clase de inspección es posible protegerse contra la falla de las estructuras de hormigón."

Por cada colapso estructural grave hay innumerables casos de *falla mínima*, si se define ésta como la no conformidad con los requisitos de diseño. Esto es particularmente cierto en lo referente a apariencia, durabilidad, impermeabilidad y otras cualidades deseables.

Pero se requiere aún algo más que todo lo anterior para asegurar un buen trabajo en hormigón. Hace cincuenta años el gran R.F. McMillen, ya desaparecido, lo dijo en el prólogo de la primera edición de su famoso *Concrete Primer*²: "Muchos interesados en la causa de un mejor hormigón han notado la dificultad de hacer cualquier progreso real hasta que alguien con autoridad no ha quedado convencido de que se puede tener buen hormigón, de que *debe tenerse*, y, habiéndose convencido de ello, ha hecho saber que *tiene que lograrse*."

Importancia de las especificaciones

Este manual proporciona detalles y descripciones de prácticas involucradas en una buena mano de obra y de procedimientos considerados necesarios para asegurar una construcción de hormigón satisfactoria.

Sin embargo, jamás se insistirá demasiado sobre el hecho de que el inspector está gobernado estrictamente por los requerimientos de las especificaciones del proyecto que forman parte del contrato legal que define el trabajo. Este manual y otras referencias deben usarse únicamente como fuentes informativas de antecedentes y servir como guía adicional en ítems no cubiertos por las especificaciones del proyecto. En algunas situaciones, los inspectores estarán gobernados por "criterios de desempeño proporcionados por la administración" o por "provisiones de códigos o reglamentos aplicables de construcción." Las instrucciones administrativas que contienen la descripción de requisitos específicos, deben, por supuesto, provenir de la agencia que emplea al inspector.

→ Las especificaciones del proyecto constituyen el principal criterio que gobierna las decisiones y actuaciones de un inspector; por consiguiente, es importante que las especificaciones y planos sean claros. (Aunque el inspector no tiene ningún control sobre las especificaciones del proyecto en construcción, deberá retroalimentar al diseñador, sugiriéndole cambios que convenga hacer en especificaciones de proyectos futuros). Gran parte de las fricciones que se presentan en la construcción resulta de interpretaciones diferentes de especificaciones indefinidas o incompletas. Las especificaciones del proyecto no tienen que ser voluminosas, pero sí concisas y cuidadosamente escritas.

domina, la calidad puede recibir atención inadecuada. Irónicamente, el costo puede sufrir también: la búsqueda no sofisticada de producción rápida a veces resulta contraproducente, incrementando el costo y atrasando la programación. Técnicas que apresuran la colocación del hormigón son susceptibles de añadir costos en el material, requerir acabado extra o reparación, o alargar el proceso de curado.

El deseo de obtener buena calidad ha llevado al establecimiento de cuerpos de inspección que vigilen y controlen la construcción de hormigón. La siguiente cita proporciona un ejemplo del modo de pensar en tiempos antiguos y de los problemas concernientes a la construcción de hormigón: "... ni hay obra que requiera mayor cuidado que aquella que debe soportar la acción del agua; por esta razón, todas las partes del trabajo deben hacerse exactamente de acuerdo con las reglas del arte, que todos los obreros saben, pero pocos cumplen". Así escribió Sexto Julio Frontino, el comisionado de aguas de Roma, en el año 97. Los tiempos han cambiado pero el problema aún subsiste.

Jacob Feld, uno de los investigadores más notables de fallas estructurales, dio listas de ejemplos en *Lessons from Failures of Concrete Structures*, para mostrar que, en alto porcentaje, las fallas en estructuras de hormigón

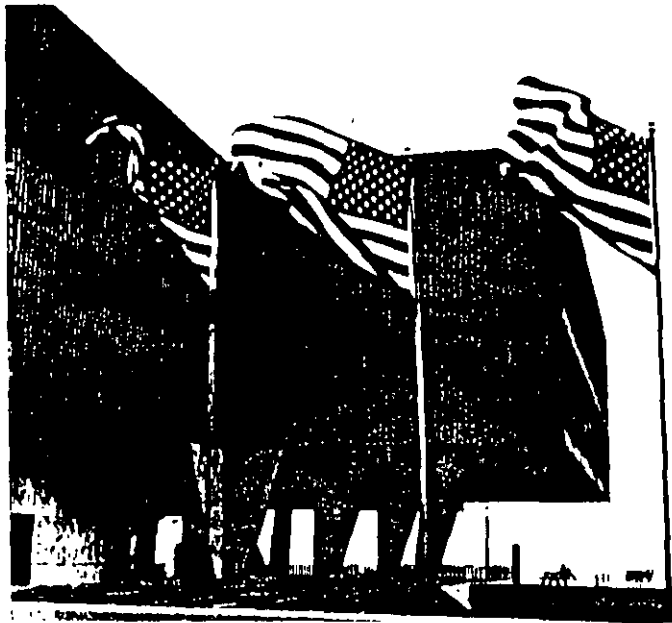


Fig. 1-1—El hormigón es capaz de proporcionar cualquier forma estructural o arquitectónica y cualquier diseño de superficie.

que había investigado fueron debidas, al menos en parte significativa, a mala construcción; en otras palabras, a mala mano de obra. Escribió: "La supervisión competente y estricta, casi inamistosa, parece ser clave del problema de cómo prevenir fallas." Y posteriormente añadió: "Algo que estas fallas señalan conclusivamente es que toda buena construcción de hormigón deberá someterse a una inspección rígida... Se cree que sólo mediante esta clase de inspección es posible protegerse contra la falla de las estructuras de hormigón."

Por cada colapso estructural grave hay innumerables casos de *falla mínima*, si se define ésta como la no conformidad con los requisitos de diseño. Esto es particularmente cierto en lo referente a apariencia, durabilidad, impermeabilidad y otras cualidades deseables.

Pero se requiere aún algo más que todo lo anterior para asegurar un buen trabajo en hormigón. Hace cincuenta años el gran R.F. McMillen, ya desaparecido, lo dijo en el prólogo de la primera edición de su famoso *Concrete Primer*: "Muchos interesados en la causa de un mejor hormigón han notado la dificultad de hacer cualquier progreso real hasta que alguien con autoridad no ha quedado convencido de que se puede tener buen hormigón, de que debe tenerse, y, habiéndose convencido de ello, ha hecho saber que tiene que lograrse."

Importancia de las especificaciones

Este manual proporciona detalles y descripciones de prácticas involucradas en una buena mano de obra y de procedimientos considerados necesarios para asegurar una construcción de hormigón satisfactoria.

Sin embargo, jamás se insistirá demasiado sobre el hecho de que el inspector está gobernado estrictamente por los requerimientos de las especificaciones del proyecto que forman parte del contrato legal que define el trabajo. Este manual y otras referencias deben usarse únicamente como fuentes informativas de antecedentes y servir como guía adicional en ítems no cubiertos por las especificaciones del proyecto. En algunas situaciones, los inspectores estarán gobernados por "criterios de desempeño proporcionados por la administración" o por "provisiones de códigos o reglamentos aplicables de construcción." Las instrucciones administrativas que contienen la descripción de requisitos específicos, deben, por supuesto, provenir de la agencia que emplea al inspector.

→ Las especificaciones del proyecto constituyen el principal criterio que gobierna las decisiones y actuaciones de un inspector; por consiguiente, es importante que las especificaciones y planos sean claros. (Aunque el inspector no tiene ningún control sobre las especificaciones del proyecto en construcción, deberá retroalimentar al diseñador, sugiriéndole cambios que convenga hacer en especificaciones de proyectos futuros). Gran parte de las fricciones que se presentan en la construcción resulta de interpretaciones diferentes de especificaciones indefinidas o incompletas. Las especificaciones del proyecto no tienen que ser voluminosas, pero sí concisas y cuidadosamente escritas.

Desarrollo de organizaciones de inspección

Las organizaciones de inspección utilizadas actualmente se desarrollaron con base en las establecidas hace años por agencias gubernamentales, con el propósito de supervisar las operaciones de contratistas que construían para la agencia como propietaria. Algunas veces, tal inspección se deterioraba, convirtiéndose en una relación antagónica entre el cuerpo correspondiente y el del contratista. Reconociendo que todos se benefician de un trabajo bien organizado y bien hecho, la inspección moderna se ha convertido en un esfuerzo cooperativo entre el inspector y los trabajadores. En tiempos pasados, la inspección solía hacerse en forma tan detallada e intensa que llegó a ser innecesario que el contratista efectuara alguna inspección o ensayo como parte del control de sus operaciones. En años recientes, se ha hecho mucho énfasis en devolver al contratista la responsabilidad de las pruebas de control y de la inspección, por ser la persona a quien pertenecen en derecho.

Clasificación funcional

Las responsabilidades y deberes de la inspección en lo que respecta a las construcciones de hormigón se han ampliado hasta el punto de que se emplean cuerpos de inspección principalmente para lo siguiente:

1. Representar al propietario de la estructura por construir y asegurar que aquel reciba en obra lo que está pagando por ella.*

2. Representar al contratista (constructor), actuando como parte de su cuerpo constructivo y proporcionar durante el proceso correspondiente una evaluación de la calidad de las operaciones, como parte del programa de control de calidad del contratista. Con ello se pretende asegurar a éste que la construcción acabada cumplirá con todos los requisitos especificativos del proyecto y que, por consiguiente, será aceptada por el representante del propietario.

3. Actuar como parte del cuerpo de la fabricación de un artículo de un productor de materiales o artículos de hormigón que se suministran a la industria de la construcción, en general, más que a un proyecto específico. Ejemplos de tales operaciones son las fábricas de cemento, los elaboradores de agregados, los productores de hormigón mezclado en planta, las plantas de prefabricados y las de elementos preesforzados. Estos cuerpos de inspección operan esencialmente como los descritos en el No. 2 para ver de que los productos terminados cumplan las especificaciones generales o las relativas a un proyecto determinado.

4. Actuar como parte de los organismos gubernamentales (Juntas de licencias y de permisos de construcción, etc.) que tienen asignada la responsabilidad del cumplimiento de los códigos y reglamentos de construcción. En este caso, los cuerpos de inspección tendrán como única responsabilidad la de asegurar que la estructura terminada cumpla los requisitos de los códigos o reglamentos.

*En algunos países dicha función se denomina interventoría. (N. del T.)

Organización de la inspección

Independientemente de su clasificación, un grupo o equipo de inspección puede estar conformado por varias personas o, en proyectos muy pequeños, por una sola, que inclusive dedique apenas parte de su tiempo a un proyecto individual. La inspección (incluyendo los ensayos) puede correr a cargo de una variedad de grupos tales como:

1. Cuerpo de inspección mantenido por el propietario. Un ejemplo lo constituyen los equipos permanentes o semipermanentes de las agencias gubernamentales o de las grandes industrias que tienen programas continuos de construcción.
2. Cuerpo de inspección mantenido por una firma comercial de diseño (firma de ingeniería y arquitectura) para trabajar en los proyectos diseñados por la firma.
3. Cuerpos de inspección de laboratorio comercial que se contratan para efectuar los ensayos y otros servicios de inspección.
4. Cuerpo de inspección entrenado y mantenido por un contratista de construcción para proporcionar la inspección requerida sobre la marcha por el control de calidad en los proyectos que construya la firma.
5. Cuerpo de inspección entrenado y mantenido por una firma fabricante de materiales y productos de hormigón, para su propio uso en planta, en la inspección durante el proceso y en la ejecución de los ensayos requeridos por el control de calidad.

Responsabilidades

La referencia 3 se preparó para guiar a los arquitectos, ingenieros, y propietarios en el desarrollo de organizaciones y programas

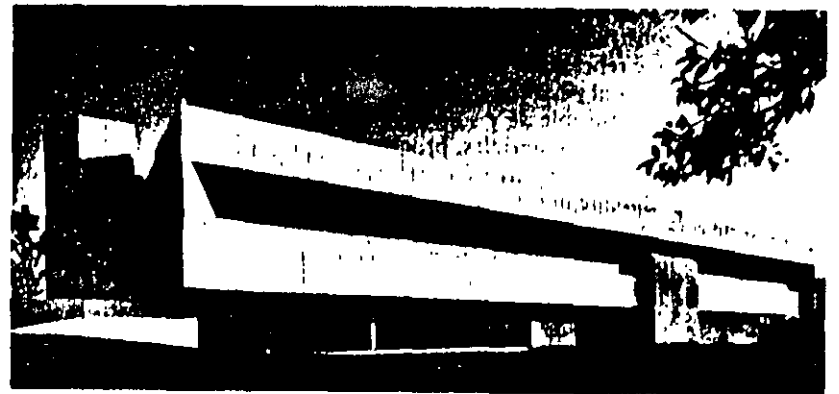


Fig. 1-2—La plasticidad del hormigón permite que la funcionalidad y el arte vayan de la mano.

efectivos de inspección. Tiene que ver con el programa de inspección de *aceptación* requerido para asegurar a los propietarios el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones del proyecto. Dicha referencia estipula en parte que:

Para la protección del propietario y del público la responsabilidad de la inspección deberá asignarse al arquitecto o al ingeniero como función continuada de su responsabilidad de diseño. Estos han de cumplir con dicha responsabilidad bien directamente, o por medio de sus empleados o delegándola a la agencia de inspección que haya seleccionado expresamente. En los casos en que el propietario proporciona su propio servicio de ingeniería, le corresponde también seleccionar la agencia de inspección. Los honorarios de la inspección deberán constituir un ítem separado y distinto y pagarse por el propietario directamente al arquitecto, al ingeniero o a la agencia de inspección. Puesto que la responsabilidad final de la inspección radica en el arquitecto o el ingeniero, éstos deberán mantener una vigilancia estrecha sobre quien esté llevando a cabo los detalles de inspección. En ningún momento deberá hacerse que la inspección o pruebas de aceptación sean función del contratista constructor, excepto cuando así lo requieran la ley o reglamentos aplicables, o cuando el propietario considere que sus intereses quedan mejor servidos por tal arreglo. Más aún, por tratarse de un asunto profesional, la selección de los servicios de inspección deberá basarse en un sistema de calificaciones.

Es de anotar especialmente que la guía establece que el ingeniero o el arquitecto deben evitar la práctica indeseable de disponer que el pago de los servicios de inspección y prueba se haga por intermedio del contratista. Tal práctica no sirve los intereses del propietario. En tales circunstancias es difícil obtener un servicio imparcial y de todas maneras el costo resulta cubierto eventualmente por el propietario.

Cuando la construcción se ejecuta bajo un contrato normal, el personal de inspección que representa al propietario no tiene responsabilidad o autoridad para manejar al personal del contratista. El personal de inspección del propietario es responsable de y sólo debe suponerse involucrado en la determinación de que los materiales, procedimientos y productos finales cumplan con los requisitos de las especificaciones del proyecto o de la buena práctica, generalmente aceptada. No debe haber ninguna duda sobre la necesidad de que se requiera al contratista el cumplimiento de todas las especificaciones del proyecto. Que el inspector acepte menos de lo prescrito significa defraudar al propietario, mientras que requerir más de lo pedido en las especificaciones puede colocar una carga indebida sobre el contratista.

~~El inspector no es el contratista.~~ La inspección y los ensayos, considerados a veces como *inspección de control de calidad* o *inspección dentro del proceso*, se efectúan por medio de personal costado para tal fin por el contratista. En algunos contratos de construcción, particularmente en los suscritos con algunas agencias del gobierno, se requiere que el contratista

proporcione una cantidad especificada de tales inspección y ensayos como parte de un programa formal exigido sobre *control de calidad*. Aun en casos en que no se le requiera contractualmente, muchos contratistas de construcción mantienen un programa de control de calidad que incluye personal para inspección y pruebas, separado de la línea de supervisión y que informa directamente a la administración. A menudo, el costo se recupera varias veces por reducción en materia de rechazos y ahorro en reemplazos y reparaciones. Algunas veces, este trabajo de inspección es parte informal y automática de las operaciones del contratista, efectuadas por los supervisores regulares de producción.

La inspección efectuada por el contratista o por encargo suyo, particularmente cuando se la requiere contractualmente, es, a menudo, mucho más detallada que la que cubre usualmente la práctica actual en la inspección de aceptación. El personal del contratista deberá hacer una inspección mucho más cuidadosa del alineamiento de las *formaletas*, colocación del refuerzo, limpieza del encofrado y otros lugares de *colocación del hormigón*, etc. El constructor, a menudo, utiliza tal inspección, aunque no lo requieran las especificaciones del proyecto, para asegurarse contra el rechazo posterior de un vaciado complejo muy costoso de reemplazar o corregir. Si tales ítems no están cubiertos por un equipo de inspección formal de *control de calidad*, deberán adscribirse al personal de supervisión del contratista.

Cuando las especificaciones del proyecto requieren inspección de control de calidad y ensayos extensos por parte del contratista, no es deseable que el propietario reduzca o elimine su propia inspección de aceptación ya que el programa de inspección de control de calidad del contratista se convierte, entonces, en el programa de inspección de aceptación del propietario y se hace así nulo el sistema. Las objeciones son exactamente las mismas que se establecieron previamente contra la práctica de que el contratista emplee, contrate y pague personal de inspección para efectuar los ensayos de aceptación del propietario. Cuando éste le exige al contratista un *programa de control de calidad*, debe tomar para sí la responsabilidad de la *aceptación de dicha calidad*, con el fin de asegurar que el programa correspondiente logre sus objetivos.

~~El inspector no es el fabricante y productor.~~ Estos programas deberán funcionar paralelamente a los del contratista y podrán ser tan variados como ellos, dependiendo de los requisitos contractuales y del control de calidad del fabricante.

~~El inspector no es un agente de control de calidad del propietario.~~ Este tipo de inspección se efectúa generalmente por medio de personal permanente de inspección mantenido por la agencia. La cantidad de inspección es a menudo menor que la requerida por otros programas. Un inspector puede atender gran número de proyectos, visitando los más pequeños solo una vez o limitándose a revisar la inspección efectuada por otros.

Deberes del personal de inspección

Aunque el enfoque básico sea el mismo, los deberes particulares y el énfasis pueden variar para los varios equipos de inspección involucrados en un

proyecto. El personal de inspección del propietario a menudo hará énfasis en el control de la estructura acabada, de los materiales del hormigón en el momento en que se depositan en la hormigonera, y en el ensayo del hormigón plástico y endurecido. Por otra parte, el personal de inspección de control de calidad del contratista hará énfasis en el examen de los procesos de producción de los materiales, colocación de formaletas, hormigonado, etc., dejando al propietario la inspección de la estructura acabada. Estas son las tareas que se encuentran con más frecuencia:

1. Identificación, examen y aceptación de los materiales. Incluye la verificación de la calidad, con base en los certificados y resultados de ensayos entregados por los productores y proveedores, lo mismo que el muestreo y ensayo de los materiales tal como se entregan en el sitio de trabajo.
2. Control de la dosificación, medición y ajuste de la mezcla; de los ensayos de consistencia, contenido de aire y peso unitario del hormigón.
3. Examen de la cimentación, del encofrado, del acero de refuerzo y de los ítems embebidos; de la limpieza y demás trabajos previos al hormigonado.
4. Inspección del amasado, transporte, colocación, consolidación, acabado, curado y protección del hormigón.
5. Preparación de los especímenes de hormigón requeridos para los ensayos de laboratorio y el curado y protección de estos especímenes.
6. Observación general de la planta y equipo del contratista, de las condiciones de trabajo, del clima, y de los otros ítems que afectan al hormigón o a otras partes de las estructuras que tengan que ver con él.
7. Evaluación de los resultados de los ensayos y de las gráficas de comportamiento.
8. Verificación de que se hayan corregido los ítems y procedimientos inaceptables.
9. Preparación de registros e informes.

EL INSPECTOR

Calificaciones del inspector

Los inspectores deben ser personas íntegras, tener tanto experiencia práctica como conocimiento técnico de los principios involucrados en la construcción asignada, y además, saber cómo tiene que hacerse el trabajo y por qué de una cierta manera. Las personas entrenadas técnicamente pero sin experiencia, deberán tener un período de entrenamiento en la obra, bajo la supervisión de otras más experimentadas, antes que entren a trabajar solas.

La atención, que va en aumento, al control de calidad y a los refinamientos de la construcción de hormigón exige a menudo estándares más altos en materiales y mano de obra que los aceptados anteriormente. Los métodos sofisticados de diseño confían más en la seguridad de obtener hormigón uniforme de alta calidad. Se puede producir hormigón superior sin costo excesivo si sus productores son vigilantes y conscientes de los requisitos por satisfacer.

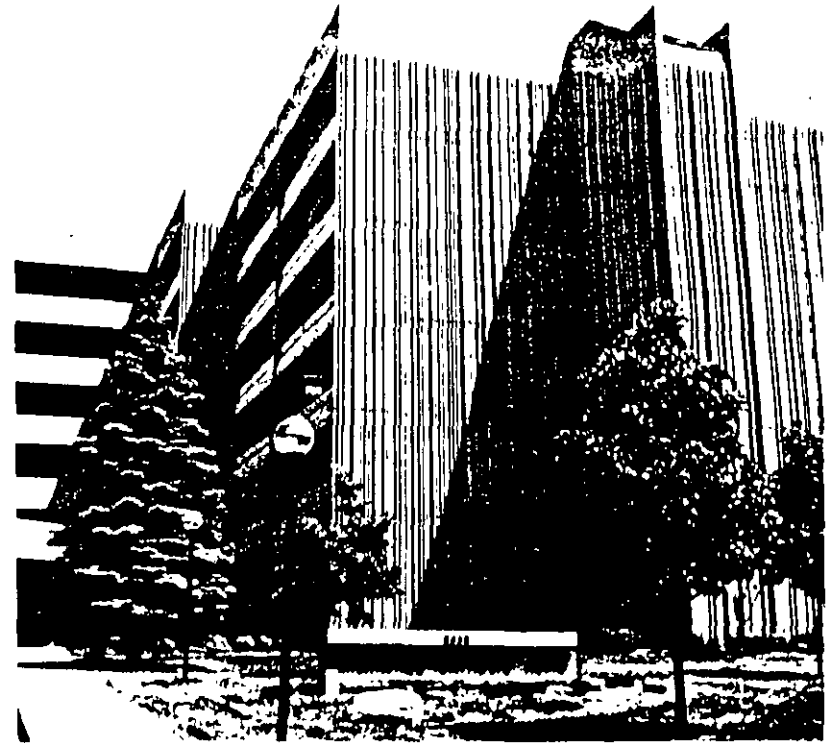


Fig. 1-3—Patrón vertical con juntas de construcción visibles que acentúan el diseño del edificio.

Para ser efectivos, los inspectores deberán contar con suficiente apoyo por parte de la administración; además ser observadores, capaces de evaluar la importancia relativa de varios ítems de trabajo y de proporcionar una mayor atención a los asuntos importantes. Por encima de todo, los inspectores han de estar completamente familiarizados con todos los requisitos de las especificaciones del proyecto y mirar siempre hacia adelante para recordar a sus supervisores cuáles son las decisiones por tomar y cuáles los detalles por proporcionar.

Educación y certificación de inspectores

Los inspectores entrenados en forma apropiada son más efectivos que los carentes de entrenamiento. Los inspectores deben obtener educación técnica inicial en escuelas intermedias, escuelas técnicas o instituciones educativas

similares, y mejorar continuamente su entrenamiento técnico. Vale la pena que los empleadores estimulen este esfuerzo y brinden asistencia, y que el patrón proporcione cursos de entrenamiento periódico para asegurarse de que los inspectores reciban conocimiento y entrenamiento actualizados.

En el presente, por lo menos dos estados de la Unión Americana requieren el examen, certificación y licenciamiento de inspectores. Otros requieren que éstos deban someterse a la supervisión de un ingeniero matriculado. Probablemente, en el futuro se requiera la certificación y licenciamiento de la mayoría de los inspectores. Tal certificación proporcionará la seguridad de que el inspector está calificado adecuadamente para realizar los deberes asignados. Hoy en día en dicho país se exige la certificación de los inspectores de hormigón cuando se trata de construcciones nucleares.

Autoridad del Inspector

Es imperativo que el supervisor del inspector exponga claramente y en detalle, al comienzo de cada trabajo, la autoridad que tiene el inspector, lo mismo que la acción que debe tomar en varias situaciones susceptibles de ocurrir. Un inspector puede estar autorizado para:

1. Rehusarse a inspeccionar el hormigonado y así impedir la aceptación, a menos que las condiciones preliminares (tales como preparación de formaleas, juntas de construcción, colocación del refuerzo, etc.) resulten satisfactorias y aceptadas, y mientras el personal de inspección queda disponible para las operaciones del hormigonado en sí.

2. Rehusarse a aceptar el uso de materiales, de equipo, o de mano de obra que no cumplan con las especificaciones o que puedan originar construcción inapropiada respecto de ellas.

En los dos casos anteriores, el inspector está autorizado, por lo general, para tomar acción directa, informando inmediatamente después al supervisor. El inspector debe detener el trabajo únicamente como último recurso, cuando es evidente que de continuarse las operaciones resultará hormigón no satisfactorio, y sólo después de obtener la aprobación del supervisor. En asuntos menores no cubiertos por las instrucciones, será necesario que el inspector ejerza su criterio personal en la toma de decisiones, resolviendo así tantos problemas en el trabajo como le sea posible. Los asuntos de política general o puntos mayores no cubiertos específicamente por las instrucciones, deberán someterse, sin embargo, inmediatamente a la atención del supervisor del inspector.

Relaciones con contratista, capataces y obreros

1. *Inspectores que representan al propietario*—Mientras cumpla con los requisitos de las especificaciones, el contratista tiene derecho a hacer su trabajo al mínimo costo posible. Al cooperar con el contratista en toda forma consistente con los intereses del propietario, el inspector puede contribuir a reducir el costo de la construcción y al hacerlo, asegurará la cooperación del contratista. Las inspecciones deben hacerse tan pronto se soliciten. Las

condiciones que aparentemente conduzcan a trabajo no satisfactorio deben anticiparse siempre que sea posible y señalarse al contratista en la primera oportunidad, para evitar desperdicio de materiales, de tiempo y de trabajo. El inspector no debe demorar al contratista sin necesidad, ni interferir con los métodos del mismo, a menos que resulte evidente que el trabajo por ejecutar, de hacerse así, no será aceptable. Bajo ninguna circunstancia deben hacerse demandas al contratista que no estén de acuerdo con las especificaciones fijadas. Si éstas permiten escoger entre varios métodos, el inspector puede sugerir la aplicación de uno de ellos pero no exigir que sea el que se aplique.

El inspector debe observar una actitud impersonal agradable y de ayuda hacia el contratista y sus empleados, pero evitando la familiaridad y no aceptando jamás favores personales del contratista o de cualquiera de sus empleados. Mediante un tratamiento honesto y el reconocimiento y ponderación del buen trabajo, el inspector puede asegurarse, por lo general, el respeto y cooperación de los obreros; en particular, se le recomienda prescindir de toda crítica a la organización o a los trabajadores del contratista, y no hacer alarde de los errores descubiertos.

Los representantes autorizados del contratista son los únicos a quienes se dan instrucciones y éstas deben formularse en forma de prevención de que el trabajo defectuoso no será aceptable a la luz de las especificaciones. Los asuntos que encierren cambios potenciales en el costo, tiempo de ejecución u otros factores significativos deben documentarse mediante comunicación escrita al representante del contratista, así como establecerse una línea clara de dirección. Las instrucciones sujetas a controversia deben darse preferiblemente por escrito. El inspector que diga al contratista cómo hacer parte del trabajo estará dando pie inadvertidamente a una renuncia de los derechos del propietario, lo cual debe evitarse, a menos que el dueño se manifieste conforme, puesto que la responsabilidad por esa parte de la construcción quedaría así transferida automáticamente al propietario o a su representante. El inspector no debe intentar "hacer" el trabajo sino observar con sumo cuidado las varias operaciones.

En general, el inspector tratará directamente con los subcontratistas. Si no se atienden las instrucciones de aquél, los asuntos que requieran corrección deben ponerse inmediatamente en conocimiento del contratista general, que es el responsable legal.

Es importante que haya un buen comienzo; todo método incorrecto se corrige más fácilmente la primera vez que se ejecuta y no después que ha estado en uso. Puesto que es más probable que ocurra un trabajo insatisfactorio y apresurado al comienzo o al final de un periodo de trabajo, el inspector debe estar en la obra, tanto al principio como al final del día y además hallarse presente todas las veces en que se esté vaciando hormigón, acabándolo o reparándolo.

Un ítem importante que no se entiende a menudo en forma apropiada consiste en la necesidad de tomar muestras aleatorias. La inspección de los varios detalles y operaciones debe hacerse a intervalos irregulares.

Una diferencia de opinión importante y muy frecuente entre el inspector y la cuadrilla de colocación se refiere al asentamiento del hormigón. La cuadrilla de vaciado puede desear un alto asentamiento (por ejemplo, mezcla con mucha agua y asentamiento posible entre 15 y 20 centímetros) puesto que el hormigón fluirá en su lugar sin que haya necesidad de hacer gran esfuerzo. Sin embargo, con los vibradores y equipos modernos de vaciado puede colocarse y compactarse el hormigón de menor asentamiento sin que el contratista incurra en gasto indebido. El inspector debe insistir en que la compactación del hormigón tenga lugar dentro del rango especificado de asentamiento, a menos que se autorice lo contrario por parte del ingeniero.

2. *Inspectores empleados por el contratista*—El enfoque básico de la inspección y las relaciones del inspector con las cuadrillas de trabajo discutido previamente para los inspectores que representan al propietario, se aplica también a los inspectores empleados por el contratista. En muchas circunstancias, sin embargo, habrá un enfoque diferente en la relación del inspector con los capataces y con las cuadrillas de trabajo puesto que todos son empleados del contratista. Las relaciones reales deben explicarse en detalle en las instrucciones dadas a los inspectores por la administración del contratista.

BIBLIOTECA DE REFERENCIA

Además de los planos y especificaciones del proyecto y de los documentos citados en ellas, el cuerpo de inspección debe tener a la mano una biblioteca de referencia, en donde se hallen como mínimo, además de este manual, las siguientes publicaciones:

*Field Reference Manual: Specifications for Structural Concrete for Buildings, with Selected ACI and ASTM References*¹

*Placing Reinforcing Bars*²

"Building Code Requirements for Reinforced Concrete" (ACI 318)³

"Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal and Heavyweight Concrete" (ACI 211.1)⁴

*Concrete Manual*⁵

*Practical Quality Control for Concrete*⁶

Se pueden seleccionar referencias adicionales para trabajos o asuntos específicos, como se sugiere en las listas de referencias y normas al final de este manual.

MEDIDAS Y TOLERANCIAS

Un supuesto común erróneo es el de que las tolerancias especificadas para alineaciones, pendientes, dimensiones y acabado de superficies se aplican a la colocación de formaletas, maestras, y listones guías de pendiente. Este, sin embargo, no es el caso. Las tolerancias se aplican únicamente al hormi-

gón terminado. Las formaletas, maestras, listones guías de pendiente, etc., deben colocarse en la posición exacta indicada sobre los planos tanto como sea posible, de tal manera que el hormigón acabado cumpla con las medidas requeridas.

Por lo general, las medidas reguladoras de alineación, pendiente y dimensiones quedan a cargo del personal de ingeniería. El inspector verifica el alineamiento de las formaletas y maestras, lo mismo que la colocación del refuerzo y demás elementos embebidos, y hace las determinaciones de longitud, volumen y peso necesarias para asegurar que las cantidades de materiales y el trabajo terminado cumplan con todos los requisitos.

Reconociendo que, inclusive, las medidas más cuidadosas nunca pueden ser exactas, el inspector debe aplicar su criterio en cuanto a la tolerancia permisible en casos particulares en que las especificaciones no establezcan valores límites o tolerancias permisibles. Las medidas deben evaluarse de manera tan razonable que puedan admitir el cuestionamiento y revisión de autoridad superior. Es obvio que los encofrados y el acero de refuerzo no pueden quedar alineados a la décima de milímetro más próxima; por consiguiente, una desviación permisible del valor exacto debe estar gobernada por el efecto que tal desviación tenga sobre la acción estructural o sobre la apariencia de la estructura. Por ejemplo, un desplazamiento de las barras de refuerzo de 1 centímetro podría no tener consecuencia en una cimentación pero sí debilitar seriamente una losa delgada. Las normas sobre tolerancias no cubiertas por las especificaciones deben establecerse al principio de la construcción.

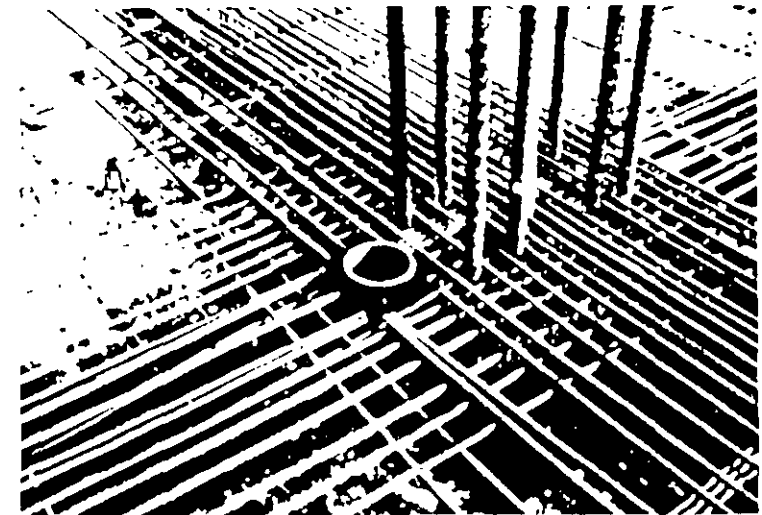


Fig. 1-4—El inspector debe estar alerta a cualquier cambio no autorizado que ejecuten los de otros oficios. El plomero que cortó este refuerzo para abrirle campo a su tubo probablemente no comprendía el peligro involucrado al hacer esta operación.

SEGURIDAD

El inspector debe estar enterado de los reglamentos y requisitos de seguridad en todo momento, y en particular de los requisitos locales y de los de la OSHA*, que a menudo cambian. Este conocimiento tendrá efecto definitivo en el comportamiento del inspector. El ignorar los aspectos de seguridad pondrá en peligro el propio trabajo del inspector y la responsabilidad subsecuente. Todas las condiciones de inseguridad deben comunicarse inmediatamente al contratista u otra autoridad apropiada y al supervisor del inspector. Conviene estimular las prácticas seguras de trabajo, señalando las fuentes potenciales de peligro.

CAPITULO 2 — CONCEPTOS ESTADISTICOS APLICADOS A LA GARANTIA DE CALIDAD (CONTROL Y APROBACION DE CALIDAD)

La expresión seguridad o garantía de calidad tal como aquí se emplea, hace referencia a todos los programas y funciones relacionados con la obtención de calidad en los materiales del hormigón y en el hormigón mismo, con el fin de proporcionar un servicio satisfactorio de las estructuras de hormigón. Incluye criterios sobre el diseño, producción, muestreo, prueba y toma de decisiones. Las dos funciones que preocupan en este caso son el *control de calidad*, primordialmente como función del contratista, y la *aceptación de la calidad*, primordialmente como función del propietario o de su representante.

En el pasado, el propietario ha estado en buena parte seguro de la calidad, primordialmente, por contar con la experiencia y habilidades combinadas del ingeniero y del constructor involucrados. Tal sistema, aplicado en forma apropiada, ha dado lugar a estructuras de hormigón de calidad satisfactoria. Sin embargo, la construcción moderna de hormigón ha alcanzado un crecimiento tal, que el sistema utilizado en el pasado ha sido incapaz a menudo de conservar el paso. Además, la carga de trabajo de los ingenieros hábiles ha aumentado hasta tal punto, que muchas actividades y decisiones se han transferido a individuos cuyas habilidades y experiencia son, con frecuencia, inadecuados para tomar decisiones sobre la marcha que el ingeniero hábil tomaba previamente. Para complicar aún más el problema, están los requisitos legales que exigen evidencia documentada de cumplimiento satisfactorio.

SEGURIDAD TRADICIONAL DE CALIDAD

Muchas especificaciones de hormigón utilizadas en el pasado y todavía en uso son del tipo receta o prescripción, en vez de referirse al producto terminado. También hay algunas que detallan, una a una, las operaciones del contratista y el equipo que debe utilizar en la producción del hormigón. La existencia de tales especificaciones obedece a que en el pasado no se contaba con métodos de ensayo y definiciones de calidad adecuados ni con su evaluación en lo referente a la calidad del producto terminado. Los intentos para definir la calidad requerida del producto final y los valores utilizados eran usualmente más el resultado de la experiencia y del juicio personal que de cualquier concepto racional. Estas especificaciones, combinadas con la habilidad de ingenieros experimentados y la cooperación de contratistas con

*OSHA es la sigla de la "Occupational Safety and Housing Authority", agencia gubernamental de los Estados Unidos. (N. del T.)

experiencia y de trabajadores hábiles, produjeron buenas estructuras de hormigón. Sin embargo, algunas veces ha habido un eslabón débil en el proceso, resultando de ello estructuras de calidad inferior a la deseada

Siguiendo, en general, el procedimiento anterior, se toma periódicamente una muestra que se supone *representativa*. Esta muestra se ensaya y el resultado correspondiente se compara con el valor especificado de la característica particular. Si aquél queda dentro de las tolerancias especificadas se dice que el material *pasa* y es aceptado. Si no, el material *falla* a la prueba. Debe acudir, entonces, a un criterio ingenieril, para decidir sobre si es recomendable decir que el material *cumple substancialmente* y, por consiguiente, puede aceptarse; si ofrece peligro y debe ser rechazado, o si hay que volver a ensayarlo. El *cumplimiento substancial* no está definido y, por consiguiente, puede variar de ingeniero a ingeniero y de obra a obra, creando confusión y disputas. Investigaciones reales han demostrado que de algunas construcciones controladas por los métodos tradicionales hasta un 30% han quedado por fuera de los límites establecidos, al examinarlos estrechamente a la luz de los métodos estadísticos que utilizan el muestreo aleatorio, si bien fueron tenidas como completamente aceptables, bajo las prácticas de control utilizadas antes.¹⁰

Cuando se encuentra que una prueba falla, no es apropiado repetir el ensayo sin mejorar el material que se está probando (a menos que el ensayo original se haya efectuado impropriamente, en cuyo caso debe descartarse por completo). Aun si se promedian los resultados de los dos ensayos (original y reensayo), el proceso resulta viciado, puesto que el segundo ensayo sólo se efectúa si el material falla en el primero y no si lo pasa. Como ejemplo de los peligros adicionales del reensayo, y de utilizar únicamente el resultado de éste, considérese el caso que involucra un material que se sabe es de tal calidad que tiene un 50% de posibilidad de pasar el límite de la especificación y un 50% de posibilidad de fallarlo. Si se hace un solo ensayo sobre cierto lote de material siempre hay una probabilidad del 50% de que el resultado pase (y un 50% de posibilidad de que falle). Sin embargo, cuando se hace un ensayo y el resultado falla, al decidirse a volver a ensayar el mismo lote, el nuevo ensayo también tiene un 50% de posibilidad de obtener un valor que pasa (y un 50% de que falle). Puesto que el segundo ensayo se hace sólo si el ensayo original falla, este segundo ensayo (de nuevo con una posibilidad de 50-50) ha predispuerto el ensayo original de tal manera que la situación general se convierte realmente en una probabilidad del 75% de que pase y del 25% de que falle. Esto se ilustra gráficamente en la Fig. 2-1.¹¹

CONCEPTOS ESTADISTICOS EN LA SEGURIDAD DE LA CALIDAD

La ciencia estadística es una herramienta versátil. Su uso permite tomar decisiones con un cierto grado de confianza.

Se pueden fijar especificaciones utilizando conceptos estadísticos para expresar los requisitos de calidad como blancos a los cuales deben apuntar los

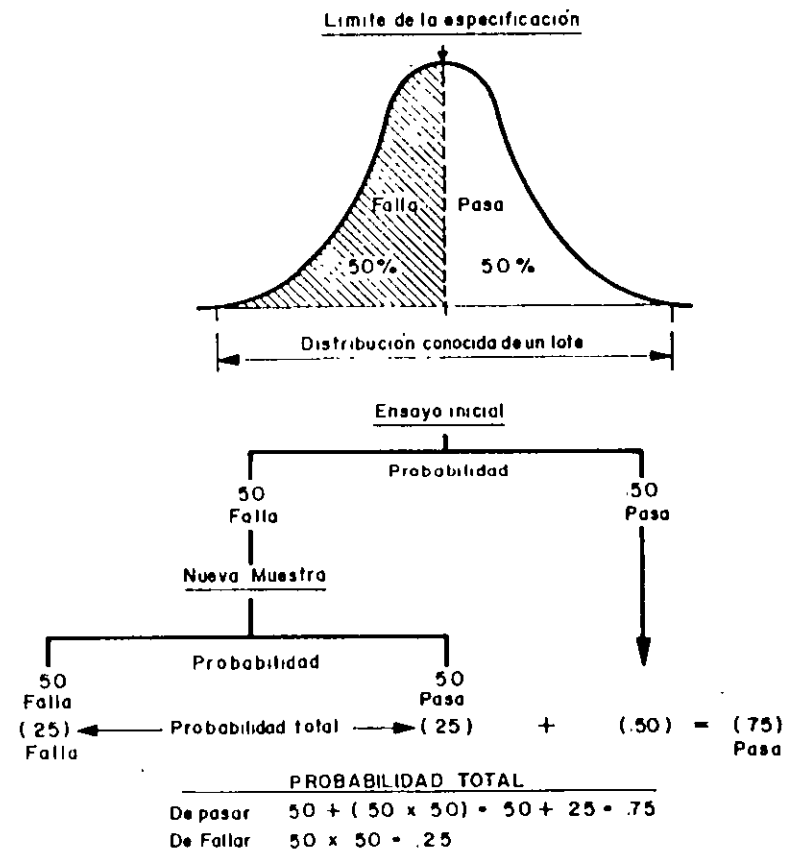


Fig. 2-1—Probabilidad de aceptación de una nueva muestra.

contratistas y expresar los requisitos de cumplimiento como tolerancias de más o de menos. Las tolerancias con respecto a los objetivos, prescritas por las necesidades de diseño, pueden basarse en análisis estadísticos de las variaciones en materiales, procesos, muestreo y ensayos que existen en las prácticas tradicionales de construcción. Las tolerancias derivadas de esta manera pueden ser tanto realísticas como exigibles; tienen en cuenta todas las causas normales de variación y permiten la distribución esperada de los resultados de los ensayos con respecto al promedio. Se pueden tomar medidas tanto para el control del nivel establecido como para el control de la variación a partir de este nivel.

Es común en la construcción de carreteras, además de indicar los materiales aceptables y no aceptables, utilizar métodos estadísticos para indicar "áreas grises" en las que los resultados de los ensayos muestran que el ma-

terial no cumple completamente con los requisitos pero que puede aceptarse cuando así lo permiten las especificaciones del proyecto.

Tales especificaciones, basadas en conceptos estadísticos, se usan en la actualidad en número significativo y cada día se hacen más comunes. El énfasis principal sobre su uso ha sido dado por las agencias públicas, particularmente, los varios departamentos de autopistas estatales. Esto es entendible ya que los conceptos estadísticos son especialmente apropiados y valiosos cuando se usan en proyectos que involucran altas ratas de producción y grandes volúmenes de hormigón u otros materiales como es el caso de la pavimentación de carreteras y aeropuertos, la construcción de grandes represas, etc. El uso de conceptos estadísticos ha probado ser no sólo factible sino también efectivo y eficiente cuando se aplica en forma apropiada.

PROCEDIMIENTOS ESTADISTICOS BASICOS Y SU APLICACION A LAS CONSTRUCCIONES DE HORMIGON

Los procedimientos estadísticos como garantía de calidad se basan en las leyes de probabilidad; por consiguiente, se debe permitir que funcionen estas leyes. Uno de los requisitos *más importantes* para su funcionamiento apropiado consiste en la selección de los datos mediante un muestreo *aleatorio*. Una muestra verdaderamente aleatoria es aquella en la cual todas las partes del todo tienen igual oportunidad de ser escogidas. Sin verdaderas muestras aleatorias los procedimientos estadísticos dan resultados falsos.

La aleatoriedad se obtiene únicamente mediante acción positiva; una selección aleatoria no es simplemente la casual ni la declarada sin prejuicios. Resulta aceptable la selección mediante el uso apropiado de una tabla estándar de números aleatorios. Es posible y factible adaptar el uso de números aleatorios al laboratorio, al campo y a la fábrica. Algunas veces se utilizan artefactos mecánicos para obtener números aleatorios (dados, ruleta, etc.) pero ninguno es aceptable como aleatorio en ausencia de ensayos estadísticos completos. Las dificultades para obtener aleatoriedad son mayores de lo que generalmente se cree. En el Apéndice 1 se muestran aplicaciones de una tabla de números aleatorios. En la norma ASTM E 105 se presenta una discusión sobre la preparación de planes de muestreo.

Más adelante se hace una lista de programas de muestreo utilizados comúnmente. En la Fig. 2-2 se presentan las ventajas y desventajas de estos programas.¹² Normalmente ningún tipo de muestreo se utiliza sólo.

1. *El muestreo de criterio* se basa únicamente en el juicio de quien toma las muestras, sin ninguna otra restricción. Quien lo usa decide cuándo y dónde debe tomarse una muestra.

2. *El muestreo de cuotas* es un tipo de muestreo de criterio basado en la hora del día, las áreas geográficas, etc., de acuerdo con la distribución conocida de hechos.

3. *El muestreo sistemático* encierra la selección de observaciones sucesivas en una secuencia de tiempo, área, etc., a intervalos uniformes.

	Protege contra defectos conocidos	Protege contra defectos desconocidos	Protege contra ciclos y patrones	Riesgo inherente bajo	Riesgo bajo en situaciones desconocidas	Organización simple	Alta confiabilidad	No requiere tomadores de muestras con conocimientos especiales
Y • Satisface el requisito del encabezamiento de la columna	✓	X	?	?	X	✓	?	X
X • No satisface el requisito del encabezamiento de la columna	✓	X	✓	?	X	X	?	X
?	✓	✓	✓	✓	?	✓	✓	✓
MUESTRO DE CRITERIO (Muestro basado únicamente en el criterio de quien toma las muestras)	✓	✓	✓	✓	?	✓	?	✓
MUESTRO DE CUOTA (Se juzga la distribución de las muestras por la hora, localización, etc., de acuerdo con la distribución de los hechos)	✓	✓	X	✓	?	✓	?	X
MUESTRO SISTEMÁTICO (Se seleccionan las observaciones sucesivas mediante una secuencia de intervalos uniformes)	✓	✓	✓	✓	?	✓	✓	✓
MUESTRO ESTRATIFICADO (Se seleccionan independientemente cada una de dos o más partes tomadas de una parte correspondiente)	✓	✓	✓	✓	?	?	✓	✓
MUESTRO ALEATORIO (Se selecciona la muestra de manera tal que cada individuo tenga la misma posibilidad de ser escogido)	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓

Fig. 2-2—Clases de muestreo.

4. El muestreo estratificado comprende la división de una cantidad dada de material en partes independientes, a cada una de las cuales se le toma muestras por separado. El muestreo estratificado es inherente a cualquier muestreo de aceptación basado en la utilización de *sublotes*.

5. El muestreo aleatorio involucra la selección de una muestra de tal manera que cada incremento que comprenda al lote tenga la misma posibilidad de ser escogido para la muestra.¹²

En el Apéndice 1 se da un ejemplo de los procedimientos para obtener un muestreo aleatorio, usando la tabla típica de números aleatorios.¹²

Además de la aleatoriedad, es también esencial el *concepto de lote* para la aplicación apropiada de la estadística en un muestreo confiable de construcción. La importancia de este método no debe sobreestimarse. Es preciso partir de que un lote está constituido por una cantidad prescrita y definida de material (ya sea por volumen, área, tonelaje, tiempo de producción, unidades, etc.) que proviene del mismo proceso y tiene el mismo propósito. Esta es la cantidad que se ofrece para su aceptación como unidad. Todos los requisitos de muestreo y de ensayos se definen en relación con esa cantidad y se aplican a ella. Únicamente estableciendo el tamaño del lote se puede seleccionar la localización y frecuencia apropiada del muestreo para determinar la cantidad de material que está dentro de los límites especificados. Bajo el concepto de muestreo y de ensayo *lote por lote* se puede pensar que

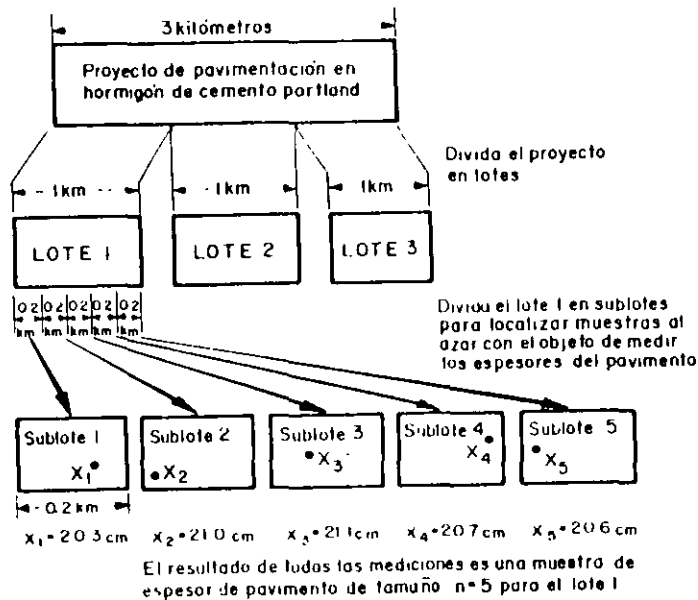


Fig. 2-3—Denominación de lotes y sublotes.

el proceso de construcción en hormigón es la producción de una sucesión de lotes, cada uno de los cuales se presenta al ingeniero para su aceptación o rechazo. Esto aparece ilustrado por la pavimentación en hormigón de la Fig. 2-3.¹² Para llevar a cabo el plan de aceptación, se considera que cada lote está constituido por subdivisiones de tamaños iguales llamados *sublotes*. Las localizaciones de muestreo se escogen aleatoriamente dentro de los límites de cada sublote. Una ventaja de este concepto es que estratifica o separa el lote en componentes más pequeños. Aunque no debe ser un objetivo principal, esto permite asegurar que las cuadrillas de toma de muestras y de ensayo tengan espaciado su trabajo de tal manera que estén ocupadas la mayoría del tiempo y no se vean excesivamente sobrecargadas en ningún momento. Sin embargo, habrá que aceptar alguna ineficiencia por parte del personal de ensayos. También asegura que no habrá períodos excesivos sin muestreos ni ensayos, lo cual es particularmente importante durante el comienzo, tanto del proyecto como del día.

Una muestra es la porción del lote que se considera representativa del conjunto. El término muestra se utiliza en sentido estadístico y no se debe confundir con las *porciones de ensayo* individuales ni con los *incrementos muestrales* que forman la muestra. La Fig. 2-4 ilustra las relaciones que existen entre las porciones de ensayo, los incrementos muestrales y la muestra mis-

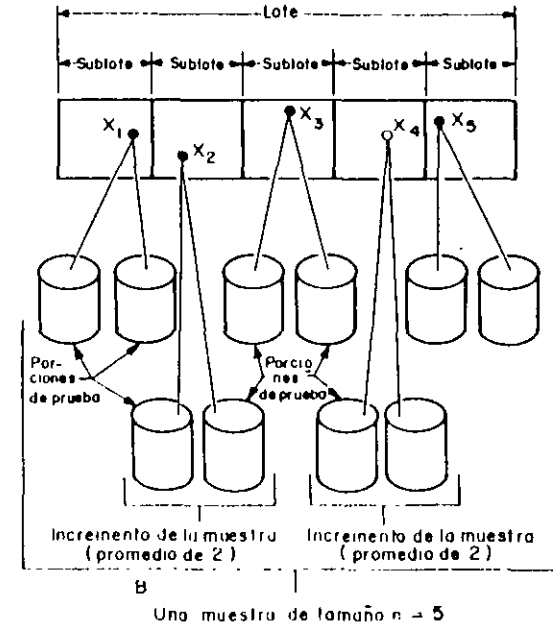


Fig. 2-4—Definición de porción de prueba, incremento muestral y muestra.

ma.¹² (Nota: Al discutir en otros capítulos entre muestreo y ensayo de materiales u hormigón, el término "muestra" se refiere generalmente a cada cantidad individual de material que se toma para ensayo).

Normalmente, se considera deseable que cada muestra esté hecha de cuatro o cinco incrementos muestrales (en otras palabras, que haya cuatro o cinco sublotes por lote).

Debe entenderse que el promedio de los resultados de los ensayos de los sublotes en un lote tendrá un rango menor que el de los valores de las porciones de ensayo individuales en el lote completo.

CONCEPTOS ESTADISTICOS BASICOS

Se ha demostrado mediante investigación que los resultados de ensayo de los materiales y operaciones de construcción forman un patrón definido que se agrupa alrededor de un valor central llamado promedio. Las medidas se agrupan alrededor del valor central formando un patrón simétrico, y, por consiguiente, permitiendo el uso de estadísticas basadas en la *curva normal de distribución* en forma de campana conocida familiarmente. Aunque pueden ocurrir ligeras variaciones con respecto a la curva simétrica, especialmente cuando el número de los resultados de los ensayos es pequeño, no resultará grande el error que se cometa al suponer una distribución *normal*. El supuesto de una distribución normal permite el uso de relaciones estable-

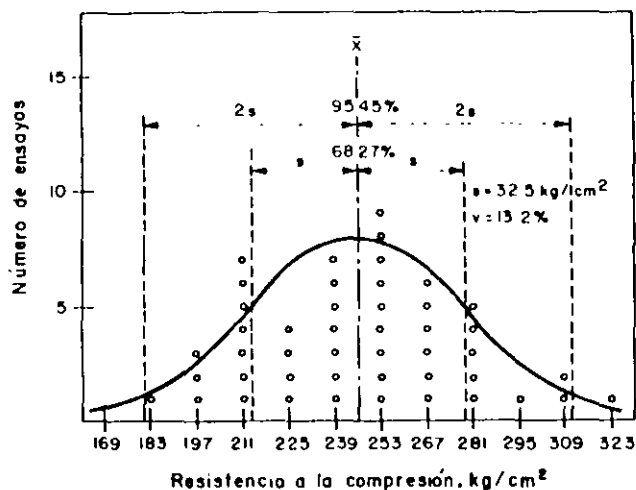


Fig. 2-5—Distribución de frecuencias de resultados de resistencia y su correspondiente distribución normal.

cidas entre el promedio (valor medio) y la desviación estándar para fijar tolerancias realísticas en las especificaciones de tamaños seleccionados de la muestra. Tales tolerancias se pueden establecer mediante análisis estadístico combinado con criterio de ingeniería.¹⁰

En la Fig. 2-5 se muestra una distribución típica de resultados de ensayos de resistencia a la compresión hechos a hormigón de una mezcla específica.¹³ En dicha figura aparece sobrepuesta a los resultados señalados una curva de distribución normal (en forma de campana) que en su mayoría se ajusta bastante bien a la distribución actual de resultados. Este conjunto particular de resultados de ensayos y de curva de distribución se consideraría un ajuste razonablemente bueno. Todos los procedimientos estadísticos de control para construcciones de hormigón, incluyendo las gráficas de control, se basan en el hecho de que se puede esperar que la distribución de los resultados de los ensayos (de cualquier calidad de hormigón o de materiales de hormigón) se aproxime a tal curva normal.

Definiciones

Es necesario definir ahora ciertos símbolos y términos que se van a utilizar en este capítulo. Estas definiciones se utilizan comúnmente en los programas de seguridad estadística para el hormigón y se obtuvieron principalmente de la Referencia 13, con detalles adicionales tomados de las Referencias 14 y 15.

Símbolo	Definición (o término)	Información adicional
n	Número de valores observados o de ensayos de la muestra	Número total de resultados de los ensayos o de valores en consideración.
X	Valores individuales observados	Resultados de ensayos separados (se pueden denominar X_1, X_2, X_3 , etc., para indicar los resultados de ensayos específicos).
\bar{X}	Promedio (o valor medio) Específicamente, promedio de la muestra (o valor medio) (llamado "X barra")	Promedio aritmético de todos los resultados de los ensayos. Suma de todos los resultados de ensayos dividida por el número de valores, n . $\bar{X} = (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n)/n$
s	Desviación estándar de la muestra	Como se usa acá, la desviación estándar de la muestra es la raíz cuadrada del promedio obtenido al dividir la suma de los cuadrados de las diferencias numéricas entre el resultado de cada ensayo y el promedio de la muestra por el número de ensayos menos uno.

$$s = \left\{ \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1} \right\}^{1/2}$$

(Teóricamente para un número ilimitado de ensayos, se debería utilizar n en el denominador de la expresión en lugar de $n - 1$. Sin embargo, utilizar $n - 1$ aumenta ligeramente el valor de s y busca tener carácter compensatorio debido a la menor confiabilidad asignada a una muestra de tamaño pequeño, particularmente cuando es inferior a 30). Una forma más simple y más adaptable para muchas calculadoras de escritorio es:

$$s = \left[\frac{1}{n-1} \left(\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n} \right) \right]^{1/2}$$

V	Coeficiente de variación	Esta es la desviación estándar de la muestra expresada como porcentaje del promedio
		$V = 100 \frac{s}{\bar{X}}$
R	Rango de la muestra	Diferencia numérica entre el valor más grande observado (resultado más alto del ensayo) y el valor observado más pequeño (resultado más bajo del ensayo)
f'_c	Resistencia especificada del hormigón a la compresión	Usualmente, resistencia a los 28 días, pero puede especificarse para cualquier edad
f_r	Promedio requerido de resistencia del hormigón	Asegura que no caigan por debajo de la resistencia especificada más resultados de ensayo que los de la proporción permisible

Curvas de distribución normal

Véanse ejemplos y discusión de los mismos en el Apéndice 2 de este capítulo.

Aplicación de las curvas de distribución normal a la resistencia a la compresión del hormigón

En las construcciones de hormigón frecuentemente se les da mucho énfasis a los resultados de los ensayos de cilindros individuales. Es inevitable que se presenten ensayos con bajos resultados. El hecho de que ocasionalmente se informe sobre una prueba particularmente baja no debe preocupar mucho o no indica necesariamente un hormigón de calidad pobre. Lo que debe preocupar es que los ensayos de cilindros estándar (cilindros hechos de muestras tomadas del hormigón fresco utilizado en la estructura), no tengan más resultados por debajo del f'_c que los permitidos por la especificación del proyecto. Véase el capítulo sobre los respectivos criterios en la Referencia 13. El que cualquier mezcla particular de hormigón de baja resistencia que puede haberse colocado en una estructura esté ensayada o no es de interés académico. Por otra parte, el hecho de que unos pocos ensayos muestren que el hormigón que está siendo colocado en una estructura se halla por encima de la resistencia especificada no prueba necesariamente que se cuenta con hormigón de calidad adecuada en toda la estructura completa, puesto que es muy posible que se haya colocado hormigón de resistencia inferior en alguna parte de la estructura, no incluido en los ensayos.

Aunque no concierne realmente a la evaluación estadística como tal, se debe recordar que las pruebas de especímenes estándares de control de hormigón durante la construcción (cilindros de ensayo fabricados en el sitio de trabajo y curados de manera estándar en el laboratorio) proporcionan buena base para la evaluación de la resistencia potencial del hormigón entregado en el sitio de vaciado, pero *no* necesariamente del hormigón endurecido en la estructura, que puede ser de calidad mejor o peor.

La calidad del hormigón puede evaluarse de la mejor manera mediante análisis de por lo menos 30 pruebas estándar tomadas de mezclas diseñadas para una misma resistencia, aunque hay disponibles procedimientos estadísticos para evaluar hormigón basándose en menor número de ensayos, y tales procedimientos empiezan a emplearse cuando es necesario.

El análisis de numerosos resultados de ensayo de resistencia tomados de una amplia variedad de proyectos ha demostrado que la resistencia del hormigón cae en algún patrón de la curva de distribución de frecuencia normal (en forma de campana). Esta distribución es simétrica con respecto al promedio y la mayoría de las pruebas quedan situadas próximas a él.

HERRAMIENTAS ESTADISTICAS

Los resultados disponibles de ensayos de resistencia a la compresión del hormigón se llevan a una gráfica para formar un histograma, o curva de frecuencias, a la cual se le puede ajustar una curva de distribución normal. Aun más importante: los resultados se tabulan y se calculan los valores \bar{X} y s para obtener antecedentes, con el fin de usarlos al seleccionar una resistencia promedio propuesta f'_c para construcción futura en hormigón. La re-

sistencia promedio propuesta debe seleccionarse de tal manera que proporcione resultados reales de resistencia del hormigón que cumplan la especificada, f'_c , dentro de ciertas tolerancias, también dadas. Esta resistencia propuesta se calcula estadísticamente, con base en el promedio \bar{X} y la desviación estándar s de los resultados pasados. En el Apéndice 3 de este capítulo se muestra cómo calcular s y f'_c .

Normalmente, al inspector de hormigón no le interesa dibujar curvas de distribución de frecuencia con los resultados de resistencia del hormigón, sino determinar el valor medio y la desviación estándar, o el coeficiente de variación para un conjunto de resultados de ensayos de hormigón a partir de registros de construcción previos, sin necesidad de dibujar la curva.

Usualmente, un técnico empleado por el productor de hormigón o por el contratista determina la resistencia promedio del hormigón f'_c , que se debe fijar como meta al dosificar la mezcla, con el fin de asegurar que el hormigón puesto en obra sea aceptado cuando los resultados de los ensayos de control del hormigón que se irán a efectuar sobre el trabajo que se avecina se comparen con los criterios de las especificaciones del proyecto.

Si se requiere verificar el valor f'_c calculado por el contratista o productor de hormigón, el inspector de hormigón a quien corresponda debe usar datos calculados a partir de ensayos previos de hormigón, producido anteriormente por la misma planta de hormigón o por el mismo contratista, en particular la desviación estándar.

Los criterios a que más comúnmente se hace referencia en las especificaciones del proyecto son los contenidos en los "Building Code Requirements for Reinforced Concrete" (ACI 318). En la sección 4.3 "Dosificación con base en experiencia de campo", el Código ACI de Construcción requiere que, cuando una planta de producción de hormigón tiene un registro previo basado en por lo menos 30 ensayos de resistencia consecutivos que representan materiales y condiciones similares a las que se esperan en la nueva obra, la mezcla de hormigón se dosifique para una resistencia promedio a la compresión que exceda el valor requerido f'_c en por lo menos:

- 28 kg/cm² (400 lb/pulg²), si la desviación estándar s es menor que 21 kg/cm² (300 lb/pulg²)
- 39 kg/cm² (550 lb/pulg²), si la desviación estándar está entre 21 y 28 kg/cm² (300 y 400 lb/pulg²)
- 49 kg/cm² (700 lb/pulg²), si la desviación estándar está entre 28 y 35 kg/cm² (400 y 500 lb/pulg²)
- 63 kg/cm² (900 lb/pulg²), si la desviación estándar está entre 35 y 42 kg/cm² (500 y 600 lb/pulg²)
- 84 kg/cm² (1200 lb/pulg²), si la desviación estándar excede de 42 kg/cm² (600 lb/pulg²).

Todos estos niveles requeridos de sobrediseño están basados en cálculos estadísticos que aseguran que, con la desviación estándar conocida obtenida en la construcción previa, puede esperarse que el hormigón producido para la nueva construcción cumpla los requisitos de especificación, cuando se en-

sayen los cilindros de control de hormigón durante la construcción. Estos niveles de sobrediseño están basados también en el supuesto de que los requerimientos de la especificación son los contenidos en la Sección 4.8.2.3 del Código ACI de Construcción, que exige que el promedio de todos los conjuntos de 3 pruebas de resistencia consecutivas iguale al o exceda del valor requerido f'_c y que ningún ensayo de resistencia individual (entendiendo por ensayo el promedio de 2 cilindros) caiga por debajo del valor requerido de f'_c en más de 35 kg/cm² (500 lb/pulg²).

Generalmente, el inspector de hormigón no tendrá que ver con el dibujo de curvas de distribución de frecuencias o con el cálculo de sus partes, \bar{X} o s de ensayos distintos a los de resistencia a compresión del hormigón.

En realidad, la desviación estándar de los resultados de ensayo de resistencia a compresión del hormigón, o de cualesquiera otros resultados de pruebas, está constituida por componentes que son desviaciones estándar de varios sub-ítems. Los componentes principales son desviaciones debidas a errores de muestreo, a errores en el ensayo y a variación real del mismo material. En la Fig. 2-6 se indica una gráfica que muestra las relaciones entre estos sub-ítems obtenidos en diferentes proyectos de hormigón.¹⁰ Debe notarse, en especial, la afirmación de la gráfica concerniente al hecho de que estos ítems no son aditivos. Actualmente la relación tiene la forma:

$$s_o^2 = s_s^2 + s_p^2 + s_m^2$$

en que s_o es la desviación estándar total, s_s la desviación estándar de la muestra, s_p la desviación estándar de las pruebas, y s_m la desviación estándar de las propiedades reales del material.

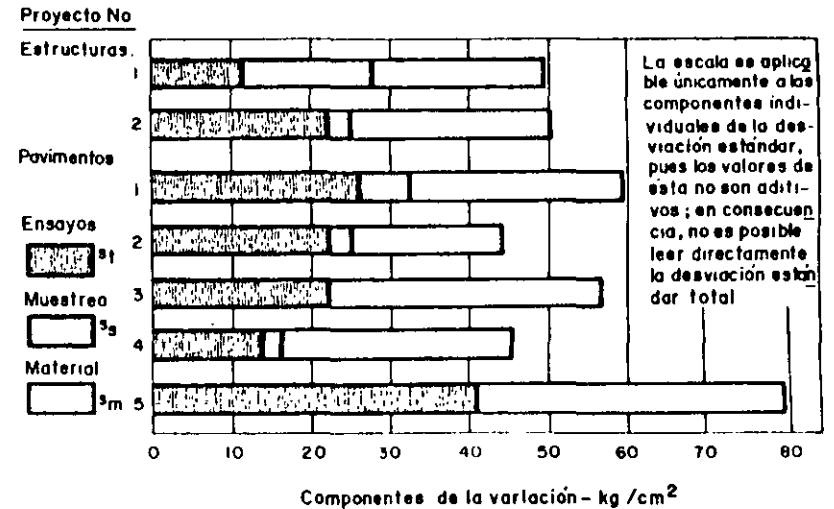


Fig. 2-6—Componentes de la desviación estándar relativa a la resistencia a la compresión de un hormigón de cemento portland.

En la Tabla 2-1 se muestran valores típicos de desviación estándar de pruebas de resistencia del hormigón para varios estándares de control y clases de ensayo.¹¹

Gráficas de control

Mientras que las propias distribuciones de frecuencia se utilizan primordialmente para establecer una resistencia propuesta promedio del hormigón antes de comenzar el trabajo, las gráficas de control son las herramientas estadísticas primordiales utilizadas para evaluar los resultados de los ensayos del hormigón y de los materiales de hormigón durante la construcción.

Las gráficas de control son, en esencia, de rectas horizontales. Estas (en el caso de gráficas de resultados de ensayos simples o de clase "promedio") consisten generalmente de una recta central colocada en el promedio especificado, de una recta superior en el límite superior de aceptación especificado y de una recta inferior en el límite inferior de aceptación (si ambos son aplicables) para una gráfica de control "de aceptación". En el caso de una gráfica verdadera "de control" (utilizada para control real del proceso) usualmente se tendrá la recta "promedio" central más dos rectas inferiores y dos superiores. Las rectas superior e inferior más próximas al promedio tienen el nombre de "límites de advertencia", o algo similar, y las rectas exteriores se denominan "límites de acción" o algo por el estilo. Estas rectas límites de "advertencia" y de "acción" pueden colocarse a distancias de 2s o 3s, medidas a partir del promedio, o a algún múltiplo fraccional de éstas. Hay procedimientos estadísticos estándares para escoger la localización de estas rectas, pero el inspector no tendrá nada que ver con ello, pues los límites estarán contenidos en las especificaciones. En la Fig. 2-7 aparece una muestra modelo de una gráfica típica de control de proceso real. Debe

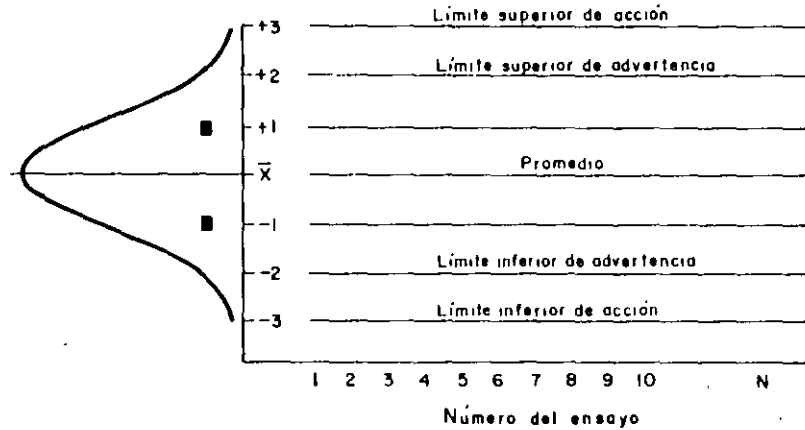


Fig. 2-7—Gráfica de control estadístico.

TABLA 2-1 — ESTANDARES DE CONTROL DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON*

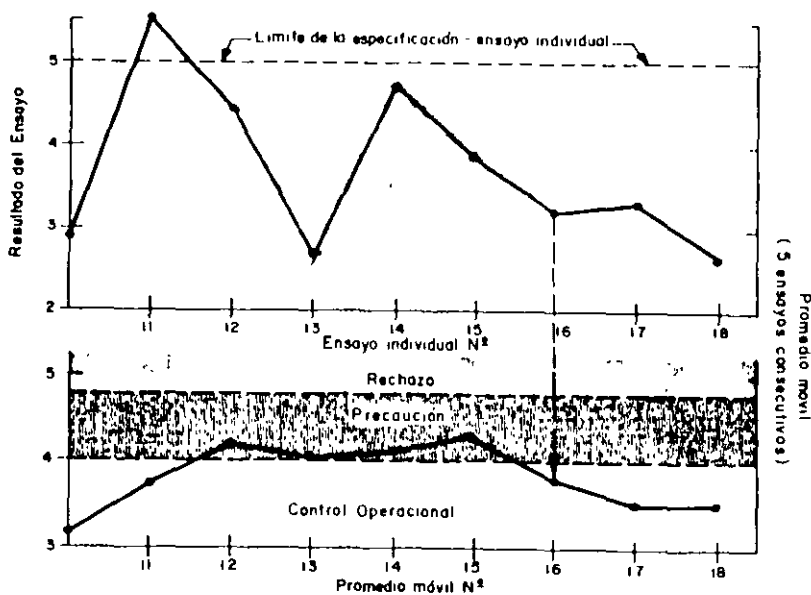
Clase de operación	Estándares para el control del hormigón				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Pobre
Variación total, desviación estándar, kg/cm ² (lb./pulg. ²)					
A. Ensayos de construcción en general	por debajo de 28.1 (400)	28.1 a 35.2 (400 a 500)	35.2 a 42.2 (500 a 600)	42.2 a 49.2 (600 a 700)	por encima de 49.2 (700)
B. Mezclas de ensayo en el laboratorio	por debajo de 14.1 (200)	14.1 a 17.6 (200 a 250)	17.6 a 21.1 (250 a 300)	21.1 a 24.6 (300 a 350)	por encima de 24.6 (350)
Variación dentro de la prueba, coeficientes de variación (en porcentaje)					
A. Ensayos de control de obra	por debajo de 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	por encima de 6.0
B. Mezclas de ensayo en el laboratorio	por debajo de 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	por encima de 5.0

*Estos valores son aplicables a hormigones con resistencias mayores que 211 kg/cm² (3000 lb./pulg.²)

notarse cómo las líneas de control están relacionadas con una curva de distribución estándar (que se muestra, volteada, a su lado izquierdo). Se notará también que la *s* a que se hace referencia en este párrafo proviene de ensayos hechos sobre períodos cortos de tiempo cuando el proceso está "bajo control".

Generalmente, los procedimientos para utilizar gráficas de control de procesos reales requieren que cuando un punto (o valor de resultado de un ensayo) cae sobre o por fuera de cualquier recta de "advertencia", el productor debe examinar su operación para determinar qué ha causado esta variación e intentar corregirla; cuando un punto cae sobre o por fuera de la recta de "acción", el productor debe detener su operación y hacer los ajustes que sean necesarios para colocarla bajo control. Se debe recordar que las gráficas de control tan solo pueden indicar que existe un problema, pero no dónde está localizado.

Esta clase de gráfica de control de rectas horizontales se usa para indicar tanto los resultados de ensayos simples como los promedios acumulados de un número especificado de resultados de ensayos consecutivos. En la Fig. 2-8 se muestran gráficas típicas de esta clase.¹¹



La decisión de aceptar el lote 16 se basa en el promedio de los resultados de los ensayos 12 a 16. Para el lote 17 se utilizaría el promedio de los 13 a 17 y así sucesivamente

Fig. 2-8—Gráficas típicas de control de líneas horizontal.

Es común utilizar las gráficas de control, no sólo para el registro de resultados de ensayos simples y de promedios, sino también para el de la variabilidad o el dominio de los resultados de los ensayos, ya sea de un lote o sobre algún periodo especificado. Estas de nuevo son gráficas de rectas horizontales, pero normalmente sólo tienen un límite de control inferior y otro superior (o únicamente uno cualquiera de ellos).

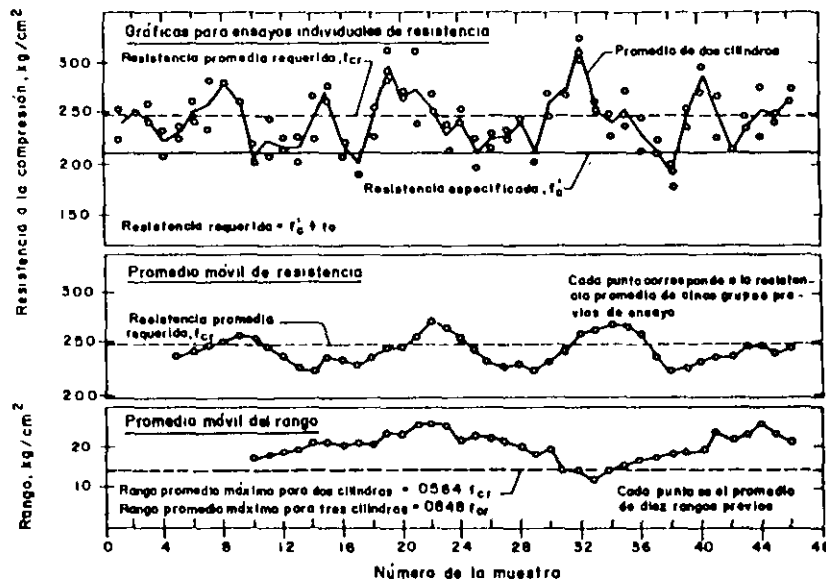


Fig. 2-9—Gráficas de control de calidad para el hormigón.

Gráficas de control para los resultados de ensayos de hormigón

En la Fig. 2-9 se muestran gráficas típicas de control para los resultados de ensayos de resistencia del hormigón.¹¹ Comúnmente se requiere que se mantengan gráficas de control para los resultados de ensayos del contenido de aire del hormigón. En la Fig. 2-10 se muestra un ejemplo típico de tales gráficas.¹²

Algunas veces se elaboran gráficas de control para los resultados de los ensayos de asentamiento; una de estas gráficas típicas se muestra en la Fig. 2-11.¹¹ Sin embargo, a menudo no se las requiere, aunque sí se hagan para los resultados de otros ensayos, con el raciocinio de que cualquier mezcla de hormigón que tenga asentamiento por fuera de las tolerancias especificadas para el proyecto, simplemente será rechazada en el acto.

Gráficas de control para los materiales de hormigón

Normalmente, la única cualidad del material de hormigón para la cual se elaboran gráficas de control es la gradación de los agregados. Por lo general, tales gráficas se hacen para sólo unos pocos tamices. Sin embargo, cuando la calidad de los agregados es particularmente importante, se pueden mantener gráficas con los resultados de ciertos ensayos de calidad, aunque del punto de vista estadístico, esto puede tender a ser una aplicación inapropiada. En la Fig. 2-11 se muestran también gráficas de control para la gradación y calidad de los agregados. En el Apéndice 4 se muestran gráficas típicas de control para ensayos individuales de gradación de los agregados, para el rango y para los resultados de ensayos de equivalencia de arena.

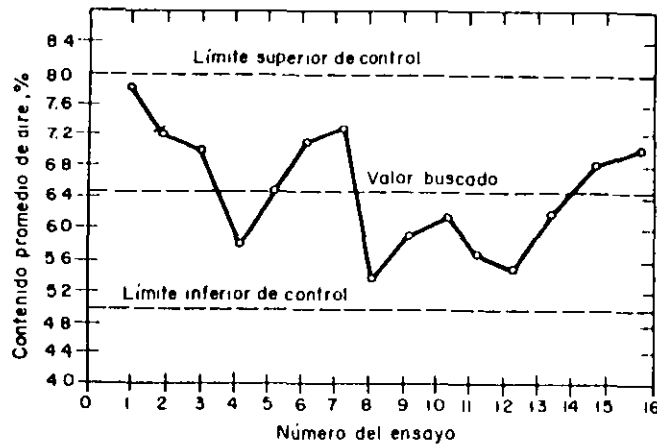


Fig. 2-10—Gráfica de control de \bar{X} para el contenido de aire.

CONCLUSION

En este capítulo se han presentado los conceptos fundamentales para el uso de la estadística en los programas de seguridad de la calidad, junto con ejemplos de los procedimientos que probablemente encuentre el inspector. A éste se le urge a que estudie las referencias señaladas en este capítulo para obtener instrucción detallada en las fases más refinadas del uso de la estadística, si tiene que ver con ellas.

Sin embargo, como con toda la información contenida en este manual, se hace énfasis en que este capítulo sólo presenta información básica y usos típicos. El inspector debe guiarse siempre y totalmente por los requisitos de las especificaciones del proyecto.

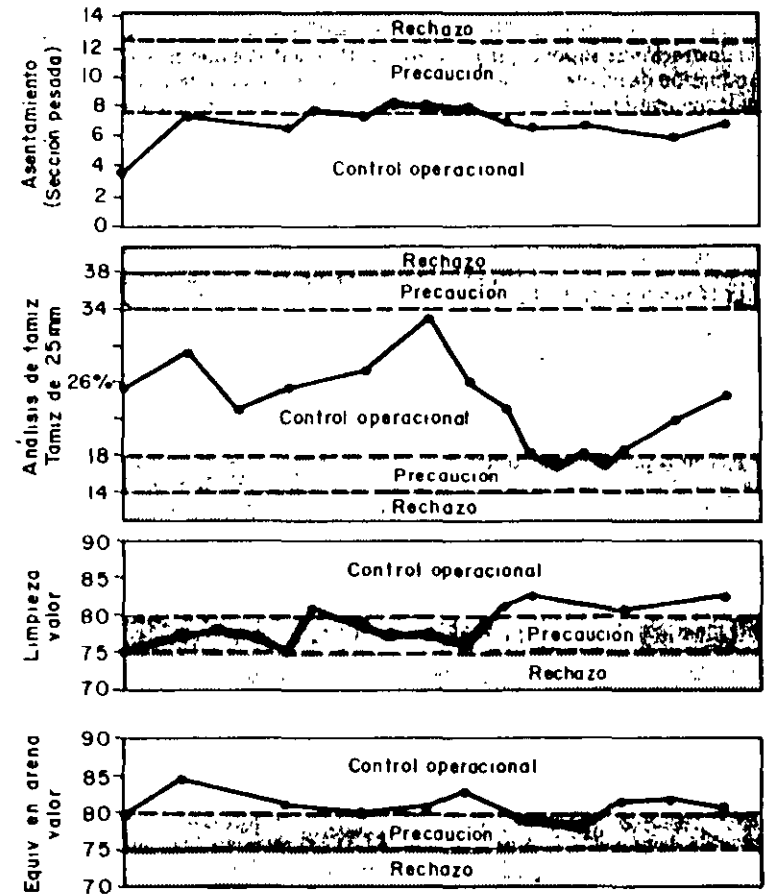


Fig 2-11—Gráfica de control de hormigón.

APENDICE 1—MUESTREO MEDIANTE NUMEROS ALEATORIOS

Ejemplo 1—Muestreo por secuencia de tiempo

El muestreo se hará en el lugar de manufactura. La tarea consiste en seleccionar los incrementos muestrales por medio de un plan de muestreo aleatorio estratificado de tal manera que se distribuya en un medio día o en el día completo, según sea más aplicable.

Se sabe que las especificaciones del proyecto definirán el tamaño del lote, y el número de sublotes por lote o el número de incrementos muestrales por lote, o ambos. En la ilustración se supone que la especificación establece que el tamaño del lote es la producción de un día, que se requieren 5 sublotes en cada lote y que debe obtenerse un incremento muestral por sublot. Se supone, además que, para lograr la producción del día, la planta opera durante 9 horas (de 7:30 a.m. a 4:30 p.m.), en jornada continua.

Solución

1. **Tamaño del lote**—Consiste en la producción de un día. La planta empieza a funcionar a las 7:30 a.m. y termina a las 4:30 p.m. Por consiguiente, el tamaño del lote es la producción de 9 horas.

2. **Tamaño del sublot**—Se divide el lote en cinco sublotes iguales. Para lograrlo hay que seleccionar cinco intervalos iguales de tiempo durante el período de 9 horas de operación de la planta. Por consiguiente, resulta el siguiente intervalo de tiempo para cada sublot:

$$\text{intervalo de tiempo del sublot} = \frac{(9 \text{ horas por lote}) (60 \text{ min. por hora})}{5 \text{ sublotes por lote}} = 108 \text{ min. por sublot}$$

La división del tiempo de producción de 9 horas en cinco sublotes iguales se muestra esquemáticamente en la Fig. A1-1, que indica que el sublot No. 1 comienza a las 7:30 a.m. y termina a las 9:18 a.m., que el sublot No. 2 empieza a las 9:18 a.m. y termina a las 11:06 a.m., y así sucesivamente.

3. **Incrementos muestrales**—Hasta este punto no se le ha dado aleatoriedad a nada, sino tan sólo determinado el tamaño del lote y el intervalo de tiempo para cada sublot. Se sabe que es necesario obtener un incremento muestral por sublot. Sin embargo, no se conoce el tiempo exacto dentro de cada sublot en que debe tomarse el incremento muestral. Los tiempos de obtención de los incrementos muestrales deben seleccionarse sobre una base aleatoria.

La tabla de números aleatorios (Tabla A1-1) se utilizará para lograr la aleatoriedad de los incrementos muestrales. Hay que escoger números aleatorios en las columnas X o Y. Se especificará qué columna particular va a usarse.

Se parte del uso de la columna X y que se deben obtener cinco incrementos muestrales. *Nota:* Debe entenderse que también podía haberse usado la columna Y.

Se pueden escoger los cinco primeros números de la columna X; que son respectivamente: 0.4721, 0.6936, 0.6112, 0.7930 y 0.0652. * Para hacer aleatorio el tiempo de toma de la muestra dentro de cada sublot, se usará el intervalo de tiempo (108 min.) calculado en el paso 2. Dicho intervalo se multiplica por cada uno de los cinco números aleatorios seleccionados previamente:

*En esta edición se usa el punto (.) como signo para separar los decimales, de acuerdo con la edición en inglés, pero se eliminaron este signo y la coma (,) para separar las cifras de la parte entera en grupos de tres, con el fin de evitar confusiones. (N. del T.)

- Sublot No. 1: $0.4721 \times 108 = 51 \text{ min.}$
- Sublot No. 2: $0.6936 \times 108 = 75 \text{ min.}$
- Sublot No. 3: $0.6112 \times 108 = 66 \text{ min.}$
- Sublot No. 4: $0.7930 \times 108 = 86 \text{ min.}$
- Sublot No. 5: $0.0652 \times 108 = 7 \text{ min.}$

Los tiempos calculados se adicionan a los de iniciación de cada sublot, obteniéndose así los tiempos aleatorios en que deben tomarse los incrementos muestrales. Tales tiempos pueden resumirse así:

Sublot No.		Hora de muestreo
1	7:30 a.m. + 51 min.	8:21 a.m.
2	9:18 a.m. + 75 min.	10:33 a.m.
3	11:06 a.m. + 66 min.	12:12 p.m.
4	12:54 p.m. + 86 min.	2:20 p.m.
5	2:42 p.m. + 7 min.	2:49 p.m.

Puede interpretarse que estos resultados indican que el primer incremento muestral se obtiene del sublot No. 1 a las 8:21 a.m. El sublot No. 1 empieza a las 7:30 a.m. y termina a las 9:18 a.m. Por consiguiente, el segundo incremento muestral sólo se extrae cuando el sublot No. 2 esté en producción. El sublot No. 2 empieza a las 9:18 a.m. y el segundo incremento muestral se obtiene a las 9:18 a.m. más 75 min. (i.e., a las 10:33 a.m.) Se puede aplicar el mismo raciocinio a los restantes incrementos muestrales, correspondientes a los tres últimos sublotes de producción.

Debe entenderse claramente que los cinco incrementos muestrales constituyen una muestra de tamaño $n = 5$, tomada de cinco sublotes de la producción de un día (i.e., del lote). Se debe ensayar cada incremento muestral de esta muestra de tamaño $n = 5$, y los datos obtenidos de ella se emplearían para estimar las propiedades del

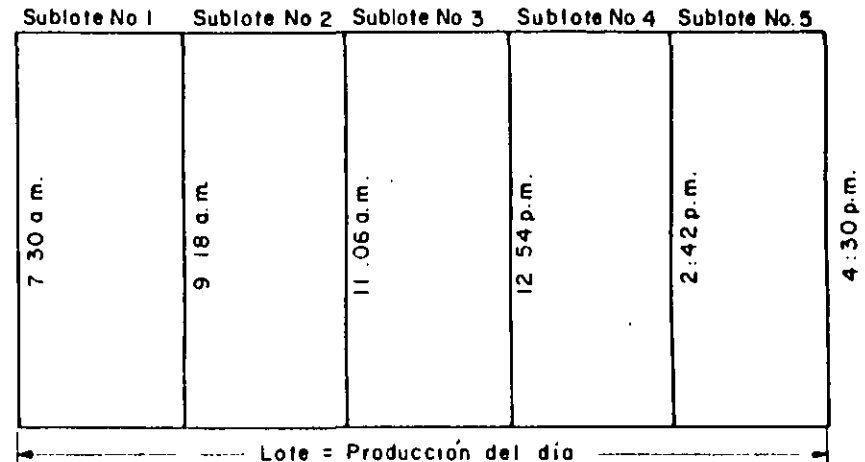


Fig. A1-1—Relación entre lote y sublotes en un intervalo de tiempo.

TABLA A1-1 — TABLA DE NUMEROS ALEATORIOS

POSICIONES ALEATORIAS EN FRACCIONES DECIMALES (4 CIFRAS)			
X	Y	X	Y
1. 0 4721	D 0.2091	51. 0 6985	I 0.8636
2. 0 6936	I 0.3182	52. 0 3410	I 0 5636
3. 0 6112	D 0.2909	53. 0.5937	D 0 3727
4. 0.7930	D 0.8908	54. 0.6912	D 0.4545
5. 0 0652	I 0 4818	55. 0 0318	D 0.7272
6. 0.4604	I 0.2091	56. 0 1303	D 0.8090
7. 0 0167	I 0.3727	57. 0.6893	D 1.0000
8. 0.0077	D 0 6181	58. 0 3886	D 0.7817
9. 0.6777	D 0 8636	59. 0.0312	D 0.8090
10. 0 8010	I 0 8362	60. 0 0166	D 0 5909
11. 0 3027	I 0 3454	61. 0.4609	I 0.4000
12. 0.9831	I 0.2364	62. 0.0893	I 0.9726
13. 0.7159	D 0 6181	63. 0 4542	I 0.1545
14. 0.3609	D 0.6454	64. 0 9363	D 0.1000
15. 0.8915	I 0 2636	65. 0.8183	D 0.5636
16. 0.6442	D 0 3182	66. 0 9401	I 0 5091
17. 0.1904	D 0.1818	67. 0 5967	I 0.9726
18. 0.6074	D 0 8908	68. 0 7547	D 0.2636
19. 0.7522	D 0.9181	69. 0 0101	D 0.2909
20. 0.7041	I 0.8362	70. 0.2896	I 0 8362
21. 0 5102	D 0.2364	71. 0.8011	D 0.6454
22. 0 2471	I 0 3182	72. 0 6718	I 0 6454
23. 0 5693	I 0.5636	73. 0 5567	I 0.1818
24. 0.8583	D 0 4545	74. 0 0481	I 0 2636
25. 0.3093	D 0.1818	75. 0 4266	I 0 9454
26. 0 9144	D 0.9181	76. 0 3941	D 0.5636
27. 0 7944	I 0 5909	77. 0 9876	I 0.7545
28. 0.8725	D 0.2636	78. 0.6313	D 0 7272
29. 0 0135	D 0 8908	79. 0.6803	D 0.3182
30. 0.2044	D 0.7272	80. 0 7955	I 0.9726
31. 0.2517	I 0 2909	81. 0 7399	D 0 8080
32. 0 2763	I 0.8090	82. 0.9328	I 0 5909
33. 0.0314	D 0.4818	83. 0.1507	I 0.4000
34. 0.9560	I 1.0000	84. 0.3087	D 0.3182
35. 0.4622	D 0.4000	85. 0.7513	I 0.1818
36. 0.1327	I 0 7817	86. 0 6469	D 0 4818
37. 0 6922	I 0 5636	87. 0.2536	D 0 7545
38. 0.0010	I 0.1273	88. 0 1488	D 0.1818
39. 0.7609	D 0 2091	89. 0 9411	I 0.5636
40. 0.5957	I 0 1000	90. 0.0571	D 1 0000

TABLA A1-1 — continuación

POSICIONES ALEATORIAS EN FRACCIONES DECIMALES (4 CIFRAS)			
X	Y	X	Y
41. 0 3115	I 0 4000	91. 0.4797	D 0 9454
42. 0 3377	D 0.8362	92. 0 0866	D 0.4272
43. 0 5651	I 0.1545	93. 0.2889	D 0.1273
44. 0.4742	D 0.6727	94. 0.4783	I 0.7000
45. 0.9483	I 0.4000	95. 0.0304	D 0.9181
46. 0.2951	D 0.6451	96. 0 8945	D 0.4515
47. 0.0441	I 0.1273	97. 0.4499	D 0.2081
48. 0.9143	I 0.1273	98. 0.9209	I 0.9454
49. 0.5723	I 0 8362	99. 0.5827	I 0.5636
50. 0.6069	D 0.4000	100. 0.4560	I 0.8908

X = Fracción decimal de la longitud total media a lo largo de la carretera, a partir del punto inicial (o fracción decimal de otras unidades).

Y = Fracción decimal de carretera medida desde el borde exterior hacia la línea central (o fracción decimal de otras unidades).

D = Indica medición a partir del borde derecho

I = Indica medición a partir del borde izquierdo

lote. En otras palabras, pueden calcularse el valor medio \bar{X} , la desviación estándar de la muestra s , el coeficiente de variación v , o cualquier otro valor estadístico, para que reflejen las propiedades estadísticas del lote cuando el contratista o proveedor lo presente para un muestreo aceptable.

Ejemplo 2—Muestreo por tonelaje de material

Supóngase que las especificaciones estipulan que se defina un tamaño del lote de 3000 ton, y que deben obtenerse cinco sublotes por lote y un incremento muestral por sublot. Supóngase además, que el proyecto requiere un tonelaje total de 15000 ton. Las muestras se tomarán de las unidades de acarreo en la planta del productor.

Solución

Esta solución sigue el mismo patrón básico visto en el ejemplo anterior. Primero se debe identificar el tamaño del lote, luego determinar el número de lotes y el tamaño del sublot y, finalmente, el punto en que se obtendrán los incrementos muestrales.

1. *Tamaño del lote y número de lotes*—El tamaño del lote estará definido en las especificaciones. Para este ejemplo se ha supuesto que el tamaño del lote es de 3000 ton. Puesto que el proyecto requiere 15000 ton, el número de lotes se determina así:

$$\text{Número de lotes} = \frac{15000 \text{ ton}}{3000 \text{ ton por lote}} = 5 \text{ lotes}$$

2. *Tamaño del sublot*—El tamaño del sublot estará definido en las especificaciones. Por lo anotado atrás, se ha supuesto que las especificaciones requieren cinco sublotes por lote. El tamaño del sublot se determina en la forma siguiente:

$$\text{Tamaño del sublot} = \frac{3000 \text{ ton por lote}}{5 \text{ sublotes por lote}} = 600 \text{ ton}$$

En la Fig. A1-2 se muestra la relación entre tamaños del lote y del sublote

3 **Incrementos muestrales**—El número de incrementos muestrales estará de nuevo definido en las especificaciones. Se ha supuesto que éstas requieren un incremento muestral por sublote. Sin embargo, no se sabe de qué tonelaje (t e , de qué carga) deberá tomarse la muestra para su primer incremento puesto que todavía no se han hecho aleatorios los incrementos muestrales. Con referencia a la Tabla A1-1, se escogen los cinco primeros números aleatorios de la columna X para efectuar este proceso de aleatoriedad. Estos números se multiplican luego por cada uno de los cinco sublotes en la forma que sigue:

Sublote No.	Número aleatorio	Tamaño del sublote (ton)	Tonelada de muestreo
1	0.4721	600	283*
2	0.6936	600	416*
3	0.6112	600	367*
4	0.7930	600	476*
5	0.0652	600	39*

Como se anotó antes, cada sublote contiene 600 ton. Debe obtenerse el primer incremento muestral aproximadamente en la tonelada 283* del primer sublote. Luego debe esperarse hasta que se complete el primer sublote (600 ton) antes de poder seleccionar el segundo incremento muestral en la tonelada 416* del segundo sublote. Se sigue el mismo raciocinio para obtener los tres restantes incrementos muestrales.

De llevar un registro acumulado sobre el tonelaje producido, aparecerá como sigue. La secuencia para la toma de muestras del lote de 3000 ton será

Sublote No. 1:	283* ton
Sublote No. 2:	600 + 416 = 1016* ton
Sublote No. 3:	1200 + 367 = 1567* ton
Sublote No. 4:	1800 + 476 = 2276* ton
Sublote No. 5:	2400 + 39 = 2439* ton

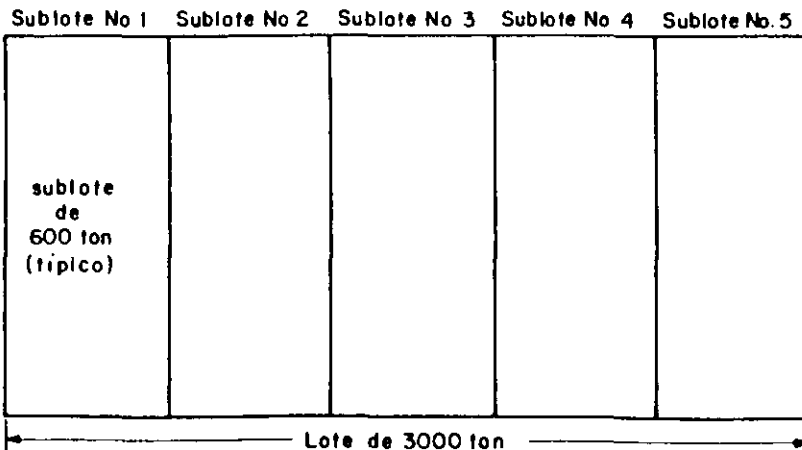


Fig. A1-2—Relación entre lote y sublotes en un intervalo de cantidad.

En la realidad, para tomar muestras del sublote, éstas se extraerán de las unidades de acarreo que contengan las toneladas 283*, 1016*, 1567*, etc

Ejemplo 3—Muestreo del espesor de un pavimento de hormigón

Supóngase ahora que hay que tomar muestras del espesor del pavimento de una carretera. Supóngase también que las muestras tienen como propósito juzgar si se acepta o no el pavimento y que las especificaciones estipulan que el tamaño del lote sea de 1500 m (aprox. 5000 pies) lineales; que el lote se divide en cinco sublotes y que se obtiene un incremento muestral por sublote. Supóngase finalmente, que el pavimento tiene 3.7 m (aprox. 12 pies) de ancho y que el proyecto empieza en la estación 3 + 000 y termina en la estación 9 + 000.

Solución

1 **Tamaño del lote y número de lotes**—Se supone que las especificaciones requieren un tamaño del lote de 1500 metros lineales

$$\text{Lote} = 1500 \text{ metros lineales}$$

Entre las estaciones 3 + 000 y 9 + 000 hay una distancia de 6000 m. El número de lotes resulta así:

$$\text{Número de lotes} = \frac{6000 \text{ metros}}{1500 \text{ metros por lote}} = 4 \text{ lotes}$$

2 **Tamaño del sublote**—La estación inicial para el primer lote corresponde a la abscisa 3 + 000 y este lote termina en la estación 4 + 500. La distancia entre estas estaciones es de 1500 m. Dividiendo los 1500 m en cinco sublotes iguales, resulta:

$$\text{Tamaño del sublote} = \frac{1500 \text{ metros por lote}}{5 \text{ sublotes por lote}} = 300 \text{ metros por sublote}$$

La Fig. A1-3 indica cómo queda dividido este lote.

3 **Incrementos muestrales**—Se debe dar ahora aleatoriedad al punto en que se obtendrá cada incremento muestral. Para efectuar esta tarea, la ubicación debe ser alea-

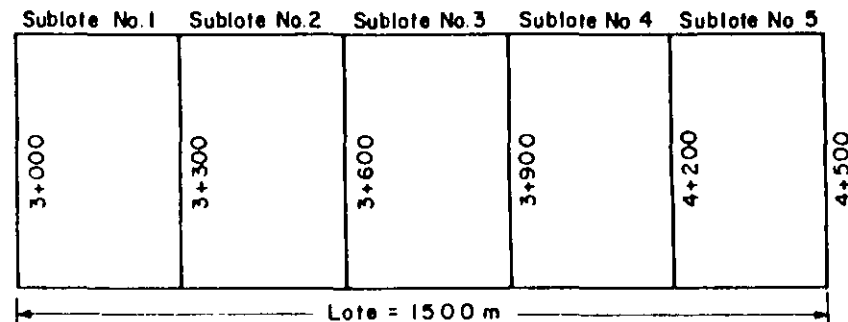


Fig. A1-3—Relación entre lote y sublotes en un intervalo de distancia.

toria, tanto en la dirección longitudinal (X) como en la transversal (Y). Esta localización, mediante coordenadas X-Y, se ilustra en la Fig. A1-4, en la cual tanto la estación como la ordenada se escogieron al azar en operaciones separadas.

Con referencia a la tabla de números aleatorios (Tabla A1-1), supóngase que se van a usar los cinco primeros números aleatorios de las columnas X y Y. Luego, estos números X se multiplican por la longitud de cada sublote y los números Y por el ancho de la capa de rodamiento de la vía (supóngase que el plano muestra un ancho de 30 m).

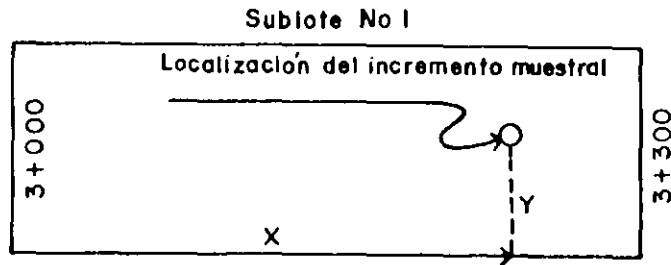


Fig. A1-4—Sistema de coordenadas para un sublote de pavimento.

Sublote No.	Número aleatorio longitudinal	Tamaño del sublote (longitud, m)	Localización de la muestra	
			(m desde el comienzo del sublote)	(m desde el comienzo del lote)
1	0.4721	300	141.6	141.6
2	0.6936	300	208.1	508.1
3	0.6112	300	183.4	783.4
4	0.7930	300	237.9	1137.9
5	0.0652	300	19.6	1219.6

Sublote No.	Número aleatorio transversal	Tamaño del sublote (ancho, m)	Localización de la muestra
			(m desde el borde derecho o izquierdo de la calzada)
1	D 0.2091	30	6.3 del borde derecho
2	I 0.3182	30	9.5 del borde izquierdo
3	D 0.2909	30	8.7 del borde derecho
4	D 0.8908	30	26.7 del borde derecho
5	I 0.4818	30	14.5 del borde izquierdo

Las coordenadas medidas desde el comienzo del lote y el borde derecho de la calzada son:

Sublote 1	X = 141.6 m	Y = 6.3 m del borde derecho
Sublote 2	X = 508.1	Y = 20.5
Sublote 3	X = 783.4	Y = 8.7
Sublote 4	X = 1137.9	Y = 26.7
Sublote 5	X = 1219.6	Y = 15.5

APENDICE 2—CURVAS DE DISTRIBUCION NORMAL

Las Figs. A2-1, A2-2, A2-3 y A2-4 muestran varios ejemplos de curvas de distribución normal y cómo varían, al estar interrelacionadas.

La desviación estándar s y el término relacionado V , coeficiente de variación, son medidas de la dispersión o variabilidad de los datos. Como ilustran las Figs. A2-1 a A2-4, cuando la distribución de frecuencias es larga y plana, s (o V) es grande, lo cual indica amplia variación. Cuando la variabilidad es pequeña, s (o V) también lo es y los datos están agrupados estrechamente. La Fig. 2-4 muestra también que se requiere un valor alto de f_c cuando la variación es amplia.

La Fig. A2-5 define una curva de distribución normal en función de la fracción del área total bajo una curva de distribución normal estándar comprendida entre el promedio (valor medio) y cada paso sucesivo s medido a partir de él. Estas fracciones, correspondientes a $1s$, $2s$ y $3s$, constituyen el fundamento para establecer y evaluar todas las tolerancias permitidas en los valores de los ensayos, sobre una base estadística. Debe notarse, en particular, que menos del 0.3 por ciento de los valores caerá a una distancia del promedio mayor que $3s$, cantidad prácticamente insignificante.

Lo que esta información indica es muy importante y de hecho constituye la clave de la mayor parte del conocimiento estadístico que es posible aplicar a un problema específico. En una distribución normal estándar aproximadamente el 68 por ciento de todos los valores caen a menos de una desviación estándar ($1s$) del promedio. Lo que resulta aún más significativo es el hecho de que aproximadamente el 95 por ciento de todos los valores queda a menos de $2s$ del valor medio y que no se encuentra casi ningún valor de la distribución (menos del 0.3 por ciento) más allá de los límites colocados a $3s$.

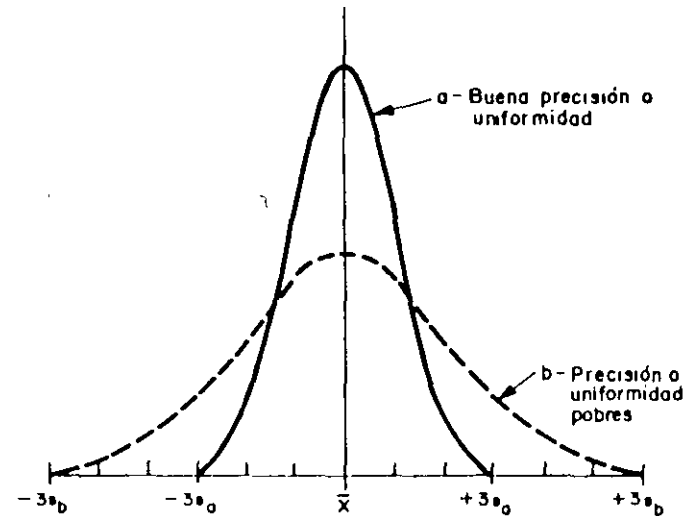


Fig. A2-1—Curvas de distribución normal.

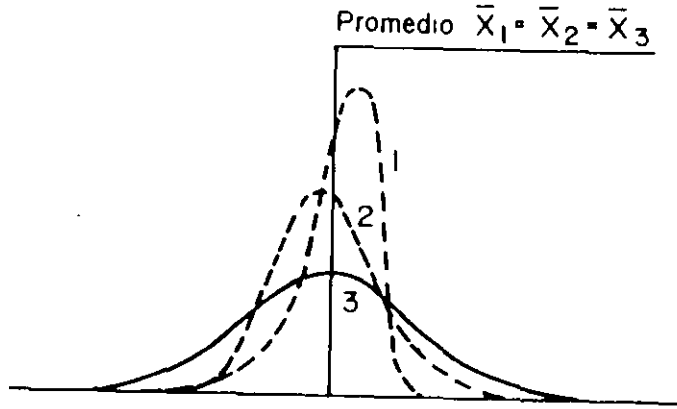


Fig. A2-2—Distribuciones muy diferentes susceptibles de tener el mismo promedio.

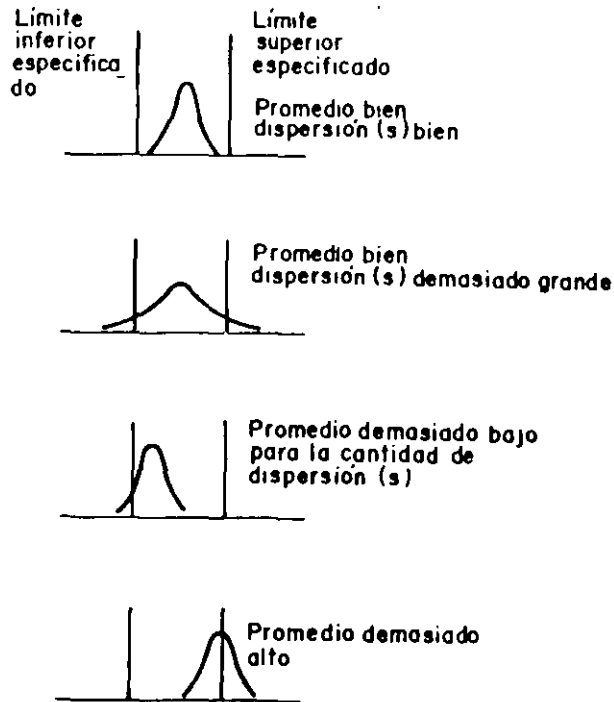


Fig. A2-3—Control del proceso en relación con límites de especificación.

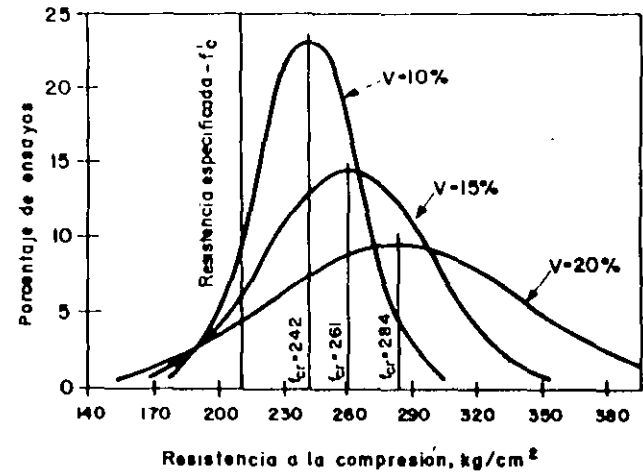
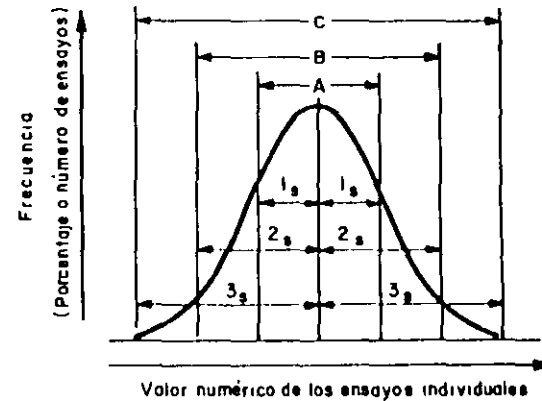


Fig. A2-4—Curvas normales de frecuencias y f_{cr} , exigidos para diferentes coeficientes de variación.



Area	Múltiplo de la desviación estándar (s)	Valor de la tabla	Area real como porción relativa del área total bajo la curva
A	1	3413	2(3413) = .6826
B	2	4773	2(4773) = .9546
C	3	49865	2(49865) = .9973

Fig. A2-5—División de la distribución normal estándar.

APENDICE 3—CALCULO DE LA DESVIACION ESTANDAR Y DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA DEL HORMIGON

La desviación estándar *s* se define como la raíz cuadrada del promedio de las desviaciones de los resultados con respecto a su valor medio, elevadas al cuadrado, y se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$s = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{(n - 1)}} \quad \text{Ec. (1)}$$

en donde X_1, X_2, \dots, X_n son valores individuales de ensayos de resistencia, o, en forma más simple y fácil de adaptar a muchas calculadoras de escritorio:

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n - 1)} \left(\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{2} \right)} \quad \text{Ec. (1a)}$$

en donde $\sum X_i^2$ es la suma de los cuadrados y $(\sum X_i)^2$, el cuadrado de la suma de todos los ensayos individuales

Nótese que aquí se usa $(n - 1)$ en lugar del valor teórico n , aplicable este último a un número ilimitado de ensayos. La razón es que $(n - 1)$ aumenta el valor de *s* y tiende a compensar la menor confiabilidad de un pequeño número de ensayos.

Ejemplos de cálculo de la desviación *s*

Ejemplo 1—Cálculo de *s* mediante la Ec. (1a)

Ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de hormigón:

$X_1 = 233 \text{ kg/cm}^2$	$X_1^2 = 54289^*$
$X_2 = 217$	$X_2^2 = 47089$
$X_3 = 247$	$X_3^2 = 61009$
$X_4 = 204$	$X_4^2 = 41616$
$X_5 = 259$	$X_5^2 = 67081$
$X_6 = 233$	$X_6^2 = 54289$
$X_7 = 218$	$X_7^2 = 47524$
$X_8 = 245$	$X_8^2 = 60025$
$X_9 = 232$	$X_9^2 = 53824$
$X_{10} = 246$	$X_{10}^2 = 60516$
$X_{11} = 205$	$X_{11}^2 = 42025$
$X_{12} = 260$	$X_{12}^2 = 67600$
$X_{13} = 219$	$X_{13}^2 = 47961$
$X_{14} = 266$	$X_{14}^2 = 70756$
$X_{15} = 232$	$X_{15}^2 = 53824$
$X_{16} = 231$	$X_{16}^2 = 53361$
$X_{17} = 218$	$X_{17}^2 = 47524$
$X_{18} = 197$	$X_{18}^2 = 38809$
$X_{19} = 232$	$X_{19}^2 = 53824$
$X_{20} = 246$	$X_{20}^2 = 60516$
$\sum X_i = 4640$	$\sum (X_i^2) = 1083462$

*Aunque aquí se han escrito, con fines ilustrativos, los valores al cuadrado, es innecesario hacerlo si la calculadora permite sumarlos en la memoria, a medida que se calculan

$n = 20$ (número de resultados de ensayos)

$$(\sum X_i)^2/n = 4640^2/20 = 1076480$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i^2) - [(\sum X_i)^2/n]}{(n - 1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{1083462 - 1076480}{19}}$$

$$s = \sqrt{367} = 19 \text{ kg/cm}^2$$

Ejemplo 2—Método aproximado para evaluar la Ec. (1)

La Ec. (1) parece muy complicada de resolver; sin el uso de calculadoras o computadoras, la evaluación de la desviación estándar se vuelve larga y tediosa. Se recomienda especialmente que todo departamento de inspección tenga una de las muchas calculadoras de bolsillo baratas que se encuentran en el mercado y hallan directamente el valor de *s*. Por fortuna, si no se dispone de calculadora, la evaluación de los ensayos de resistencia del hormigón puede hacerse con adecuada precisión mediante métodos aproximados simples. En la Fig. A3-1 se ilustra uno de tales métodos, en el que los valores de los ensayos de resistencia están redondeados y dibujados en grupos. Los grupos se dibujan en incrementos iguales de resistencia por encima o por debajo de la resistencia promedio \bar{X} . De esta manera, el cálculo de $(X_i - \bar{X})^2$ en la Ec. (1) se hace por grupos, con lo cual se reduce grandemente el número de operaciones.

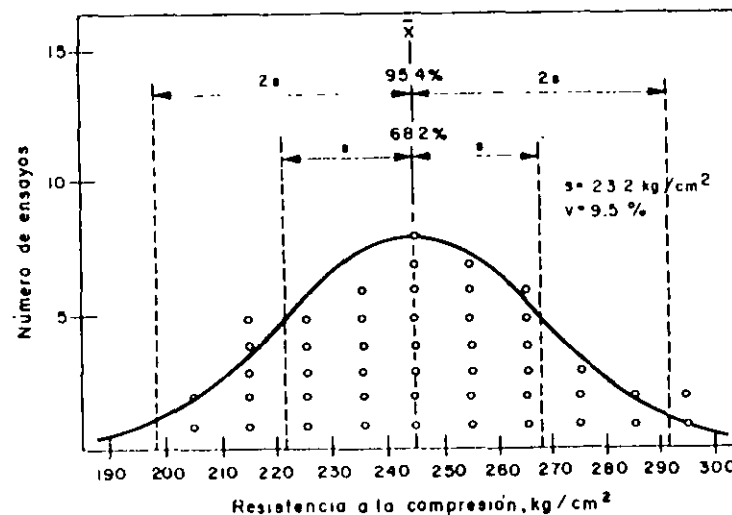


Fig. A3-1—Distribución normal de frecuencias sobre resultados de ensayos

Los siguientes pasos recomendados incluyen la selección de varios valores arbitrarios (y gr, valor de redondeo, tamaño de la celda, divisiones de la gráfica y divisor de las desviaciones) que pueden alterarse sin que se afecte seriamente la precisión del método abreviado

1. Calcúlese la resistencia promedio \bar{X} y redondéese al kg/cm² más próximo.*
2. Como se muestra en la Fig. A3-1, dividase la escala horizontal en celdas de 10 kg/cm² de ancho, haciendo que el punto medio de una celda coincida con el valor medio de los ensayos de resistencia y que los puntos medios de las otras celdas queden localizados a distancias pares, múltiples de 10 kg/cm², a lado y lado de \bar{X} . † Cualquier valor comprendido entre los límites de la celda se dibuja en el punto medio de ésta
3. Las desviaciones de las celdas con respecto al promedio están dadas en múltiplos de 10. Para evitar el tener que trabajar con números grandes, dividanse estas desviaciones por 10, con lo cual quedan convertidas en múltiplos de 1.
4. Cuéntense el número de ensayos que caen dentro de una celda con igual desviación (por encima o por debajo) del promedio. Multiplíquese este número por la desviación elevada al cuadrado.
5. Encuéntrese la suma de los productos del paso 4 y el número total de ensayos n .
6. Calcúlese s utilizando la Ec. (1). La suma de los productos obtenida en el paso 5 constituye el numerador, y $n - 1$ el denominador. Multiplíquese el resultado por 10 para compensar la división hecha en el paso 3

Ejemplo. A partir de la Fig. A3-1, en que aparece un valor medio $\bar{X} \approx 245$ kg/cm²

8 × 0 ² =	0
13 × 1 ² =	13
11 × 2 ² =	44
8 × 3 ² =	72
4 × 4 ² =	64
2 × 5 ² =	50

Suma de los ensayos: 46 243

$$s = 10 \sqrt{\frac{243}{45}} = 21.2 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de la resistencia promedio requerida f_{cr}

Una vez calculada la desviación estándar, se cuenta con información valiosa basada en la curva normal de probabilidad. La Fig. A3-2 muestra una curva teórica típica, en forma de campana, con los valores de s indicados gráficamente. Independientemente de la forma de la curva teórica y del valor de s , el área bajo la curva entre $(\bar{X} + s)$ y $(\bar{X} - s)$ siempre será el 68.2 por ciento del área total bajo la curva, y el área bajo la curva entre $(\bar{X} + 2s)$ y $(\bar{X} - 2s)$ será igual al 95.4 por ciento de la total. Si se considera sólo la mitad de la curva que representa los valores

*Se cambiaron los valores de la obra original para adaptar el método al sistema métrico, el redondeo de 10 psi se aproximó a 1 kg/cm² y el ancho de celda de 200 psi se aproximó a 10 kg/cm² (N del I).

† Si \bar{X} resulta ser un número no redondo, por ejemplo 251 kg/cm², los puntos medios de las celdas quedarían así: 231, 241, 251, 261, 271, etc., kg/cm²

menores que \bar{X} , el 34.1 por ciento del área total estará entre \bar{X} y $(\bar{X} - s)$, quedando por tanto 15.9 por ciento del área bajo la curva para valores menores que $(\bar{X} - s)$.

Estos mismos porcentajes se aplicarán al número de ensayos involucrados, como si se tratara de un área. Por ejemplo, el 15.9 por ciento de los ensayos de cualquier curva normal dará por debajo de $(\bar{X} - s)$.

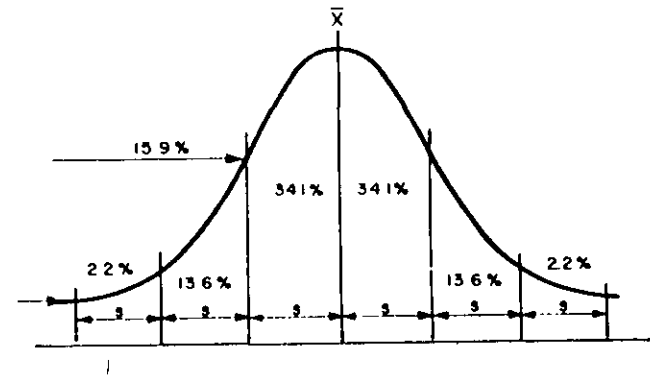


Fig. A3-2—División del área bajo la curva de distribución normal de frecuencias, con base en las desviaciones de \bar{X} , en múltiplos de s .

La Tabla A3-1 es una adaptación de la correspondiente a la integral de la curva de probabilidad normal, que se ha alterado para indicar el porcentaje de ensayos de resistencia del hormigón que dan por debajo de f_{cr} , en función de la resistencia promedio requerida f_c' , a medida que ésta se incrementa con diversos factores de s . Por ejemplo, así como la Fig. A3-2 muestra que el 15.9 por ciento de los ensayos dará por debajo de $(\bar{X} - s)$, la Tabla A3-1 indica que si

$$f_{cr} = f_c' + s$$

entonces

$$f_c' = f_{cr} - s$$

y el 15.9 por ciento de los ensayos dará por debajo de f_c' .

La Tabla A3-1 es útil para establecer la resistencia promedio requerida y también para determinar la probabilidad de que ocurran valores bajos, cuando se conoce s . Con el s calculado, a partir de los datos del proyecto, y establecido f_c' , la Tabla A3-1 proporcionará la información necesaria para calcular la resistencia promedio requerida f_{cr} , con base en las limitaciones impuestas sobre la probabilidad de tener resultados inferiores a f_c' .

Por ejemplo, supóngase que un redactor de especificaciones desea limitar al 5% la probabilidad de que los ensayos den por debajo de 211 kg/cm² y que la desviación estándar esperada del hormigón es de 39 kg/cm². ¿Para qué resistencia promedio debería diseñar el hormigón?

TABLA A3-1 — PORCENTAJES ESPERADOS DE RESULTADOS POR DEBAJO DE f_c'

Resistencia promedio requerida, f_c	Porcentaje de ensayos con resultados bajos	Resistencia promedio requerida, f_c	Porcentaje de ensayos con resultados bajos
$f_c' + 0.10s$	46.0	$f_c' + 1.6s$	5.5
$f_c' + 0.20s$	42.1	$f_c' + 1.7s$	4.5
$f_c' + 0.30s$	38.2	$f_c' + 1.8s$	3.6
$f_c' + 0.40s$	34.5	$f_c' + 1.9s$	2.9
$f_c' + 0.50s$	30.9	$f_c' + 2s$	2.3
$f_c' + 0.60s$	27.4	$f_c' + 2.1s$	1.8
$f_c' + 0.70s$	24.2	$f_c' + 2.2s$	1.4
$f_c' + 0.8s$	21.2	$f_c' + 2.3s$	1.1
$f_c' + 0.9s$	18.4	$f_c' + 2.4s$	0.8
$f_c' + s$	15.9	$f_c' + 2.5s$	0.6
$f_c' + 1.1s$	13.6	$f_c' + 2.6s$	0.45
$f_c' + 1.2s$	11.5	$f_c' + 2.7s$	0.35
$f_c' + 1.3s$	9.7	$f_c' + 2.8s$	0.25
$f_c' + 1.4s$	8.1	$f_c' + 2.9s$	0.19
$f_c' + 1.5s$	6.7	$f_c' + 3s$	0.13

De la Tabla A3-1 para cinco por ciento de ensayos bajos, se obtiene, interpolando.

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= f_c' + 1.65s \\
 &= 211 + 1.65(39) \\
 &= 211 + 64 = 275 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

APENDICE 4—GRAFICOS DE CONTROL DE LOS MATERIALES DEL HORMIGON

Normalmente, la gradación de agregados es la única calidad del material de hormigón a la que se le llevan gráficos de control. Es usual elaborar estos gráficos de control para sólo unos pocos tamices. Sin embargo, cuando la calidad de los agregados es particularmente importante, se pueden llevar gráficos de control sobre los resultados de ciertos ensayos de calidad aunque estadísticamente esto puede tender a ser una aplicación inapropiada. En las Figs. A4-1 y A4-2 se muestran gráficos típicos de control de la gradación de agregados en ensayos individuales y de rango.¹² Generalmente, se considera mejor representar la gradación como el porcentaje individual retenido en el tamiz particular que se está considerando.

Los ejemplos 1 y 2 muestran modelos operativos y gráficos relativos al control del promedio móvil (cinco ensayos) de resultados en ensayos de equivalencia en arena y del agregado grueso que pasa el tamiz de 25 mm (1 pulg.), a partir de la Fig. A4-2 de la Referencia 11.

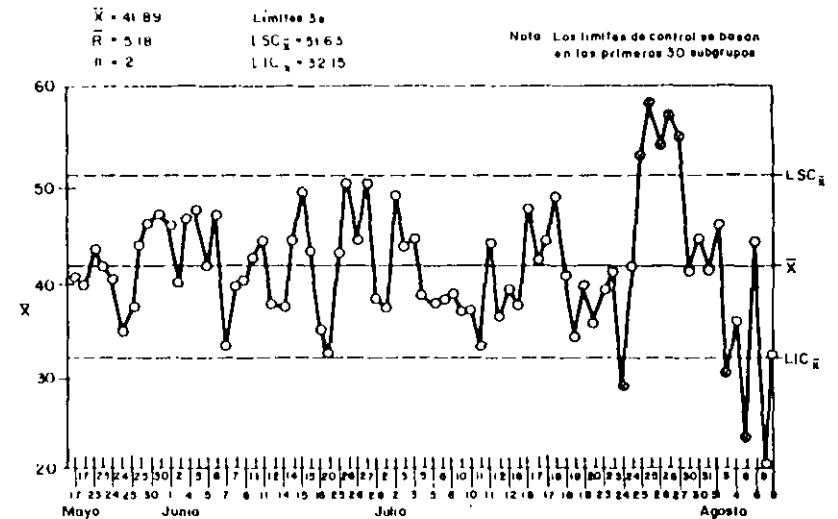


Fig. A4-1—Gráfico de control para el promedio (\bar{X}) del porcentaje que pasa el tamiz de 9.5 mm ($3/8$ pulg.).

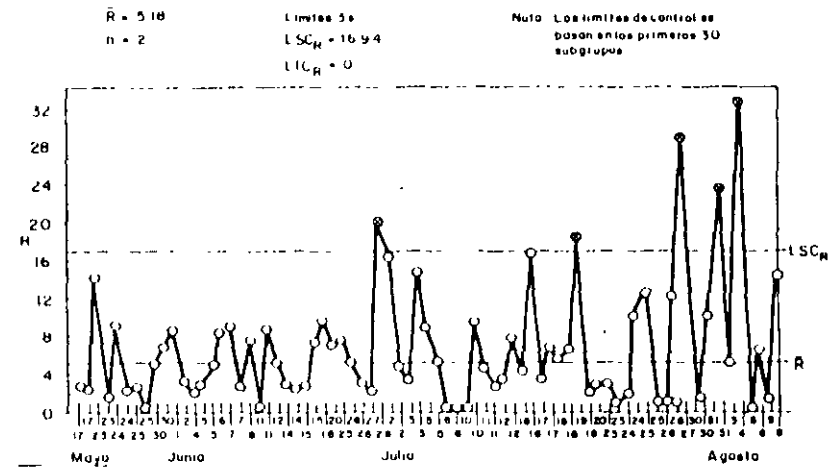


Fig. A4-2—Gráfico de control para el rango (R) del porcentaje que pasa el tamiz de 9.5 mm ($3/8$ pulg.).

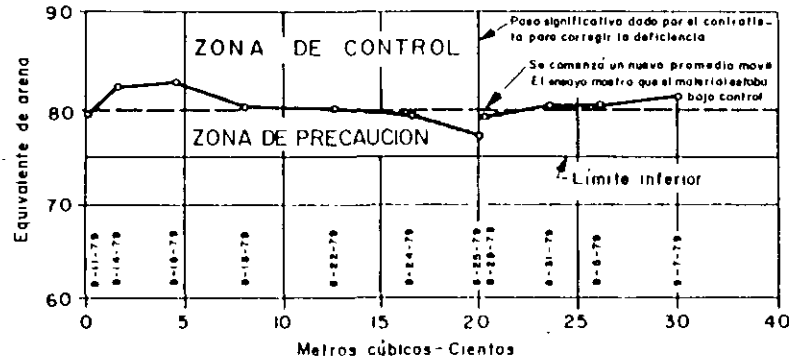


Fig. A4-3—Gráfica de control de los promedios móviles para el equivalente de arena.

Ejemplo 1—Cálculos para determinar promedios móviles del ensayo de equivalencia en arena (Véase en la Fig. A4-3, la representación de los datos).

Supóngase una especificación para el ensayo individual con un límite inferior de 73 y un promedio móvil no inferior a 75. Para este ejemplo se escogió arbitrariamente la zona de precaución entre 75 y 80.

Ensayo No.	Fecha	Resultado del ensayo individual (mínimo 73)	Suma	Promedio móvil* (mínimo 75)	Redondeado
1	8-11-79	79.1	—	—	—
2	8-14-79	85	164	2 = 82.0	82
3	8-16-79	84	248	3 = 82.7	83
4	8-18-79	72	320	4 = 80.0	80
cedido y aceptado por el ingeniero					
5	8-22-79	80	400	5 = 80.0	80
6	8-24-79	75	306	5 = 79.2	79
7	8-25-79	74	385	5 = 77.0	77
8	8-28-79	68	360	5 = 74	

Material rechazado y los resultados no se muestran en los gráficos de control

*Estos resultados se redondearán al mismo número de cifras significativas del resultado del ensayo individual. Cuando la fracción decimal por descartar es inferior a cinco, redondeese hacia abajo; si mayor que cinco, redondeese hacia arriba; y si es cinco, redondeese hacia el par.

† Este resultado se muestra como primer valor en la gráfica de control del promedio móvil

La operación se discontinuó después del ensayo 8 y el contratista tomó medidas significativas para corregir la deficiencia antes que fuera aceptado material adicional.

9	8-29-79	79*	---	---	---
10	8-31-79	80	159	2 = 79.5	80
11	9-5-79	81	240	3 = 80.0	80
12	9-7-79	83	323	4 = 80.7	81

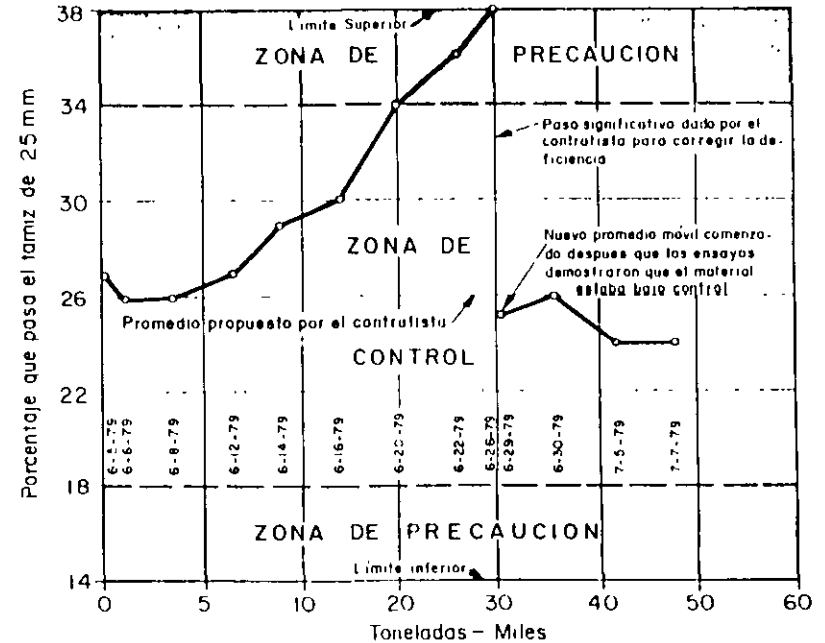


Fig. A4-4—Gráfica de control de los promedios móviles para el análisis de gradación.

Ejemplo 2—Cálculos para determinar los promedios móviles de agregado de hormigón de 38 mm a 19 mm (1 1/2 pulg a 3/4 pulg). (Variación máxima del porcentaje de material que pasa el tamiz de 25 mm (1 pulg). (Véanse los datos de la Fig. A4-4).

Promedio propuesto por el contratista (fórmula de trabajo) = 26 por ciento. Supóngase que las especificaciones permiten una variación en los ensayos individuales de ± 14 por ciento y en el promedio móvil, de ± 12 por ciento del promedio suministrado por el contratista. La zona de precaución para este ejemplo se escogió arbitrariamente entre ± 4 por ciento de los límites inferior y superior.

*Este resultado se muestra como primer valor en la gráfica de control del promedio móvil

Ensayo No.	Fecha	Resultado del ensayo individual (límites del 12 al 40 por ciento)	Suma	Promedio móvil* (límites del 14 al 38 por ciento)	Redondeado a
1	6- 5-79	27.1	--	--	--
2	6- 6-79	24	51	2 - 25.5	26
3	6- 8-79	28	79	3 - 26.3	26
4	6-12-79	29	108	4 - 27.0	27
5	6-14-79	35	143	5 - 28.6	29
6	6-16-79	34	150	5 - 30.0	30
7	6-20-79	42	168	5 - 33.6	34
Cedido y aceptado por el ingeniero.					
8	6-22-79	38	178	5 - 35.6	36
9	6-26-79	40	189	5 - 37.8	38
10	6-27-79	42	196	5 - 39	

Material rechazado y los resultados no se muestran en los gráficos de control.

Se discontinuó la operación y se tomaron medidas significativas para corregir la deficiencia antes que se aceptara material adicional.

11	6-29-79	25.1	--	--	--
12	6-30-79	28	53	2 - 26.5	26
13	7- 5-79	20	73	3 - 24.3	24
14	7-7-79	25	98	2 - 24.5	24

*Estos resultados se redondearán al mismo número de cifras significativas del resultado del ensayo individual. Cuando la fracción decimal por descartar es inferior a cinco, redondeese hacia abajo, si mayor que cinco, redondeese hacia arriba, y si es cinco, redondeese hacia el par.

† Este resultado se muestra como primer valor en la gráfica de control del promedio móvil.

CAPITULO 3 — INSPECCION Y ENSAYO DE MATERIALES

Los materiales se inspeccionan para verificar que cumplan los requisitos de la especificación y que sean almacenados, manipulados y utilizados apropiadamente en la obra. En el caso de que hayan sido sometidos a inspección de aceptación antes de su despacho a la obra, deben someterse a una nueva inspección al llegar a ella, por si han sufrido daño durante el almacenamiento y transporte. Los archivos del contratista referentes a los envíos y a la calidad de los materiales deben estar a disposición del inspector. En el Capítulo 19 se discuten los métodos estándar de ensayo del hormigón.

CEMENTO

La norma C 150 de la ASTM (American Society for Testing and Materials), la Especificación Federal de los Estados Unidos SS-C-192 y la norma M 85 de la AASHTO (American Association of Highway and Traffic Officials) especifican que en las construcciones de hormigón se usen cinco clases estándar de cemento portland, a saber:

- Tipo I* — Cemento de uso general, cuando no se necesitan las propiedades especiales de otros cementos.
- Tipo II* — Cemento de uso general que tiene resistencia moderada a los sulfatos y calor de hidratación inferior al cemento Tipo I.
- Tipo III* — Cemento de alta resistencia a temprana edad.
- Tipo IV* — Cemento indicado cuando se necesita calor de hidratación bajo, como es el caso de construcciones de hormigón masivo.
- Tipo V* — Cemento utilizable cuando se requiere resistencia a los sulfatos, por ejemplo, en estructuras que están en contacto con suelos o aguas freáticas de alto contenido de sulfatos, y en hormigones en contacto con aguas negras domésticas concentradas.

La norma C 150 de la ASTM incluye también especificaciones para cemento incorporador de aire, es decir, que contiene un agente estabilizador de aire. Algunos usuarios prefieren este medio para introducir el agente en el hormigón; a otros les parece más fácil controlar el contenido de aire del hormigón cuando añaden el agente directamente a la hormigonera. (Véase la discusión del Capítulo 7) La norma C 150 de la ASTM especifica tres tipos de cemento incorporador de aire, los IA, IIA, y IIIA, que corresponden a los Tipos I, II y III enumerados antes.

Otros cementos

En algunas localidades se encuentran otros cementos, puros o resultantes de combinaciones, que se usan, en general, por razones económicas. Entre ellos se pueden citar: cemento de escorias, cemento portland de escorias de alto horno y cemento portland puzolámico.

Ciertos materiales, no cementosos por sí mismos o tan solo ligeramente cementosos, se usan a menudo para reemplazar en la mezcla una porción del cemento portland. Se los denomina puzolanas y reaccionan con la cal libre, siempre presente como producto de la hidratación del cemento portland, para formar compuestos cementosos que ganan resistencia lentamente. Las puzolanas se utilizan a menudo por razones económicas en áreas en que son más baratas que el cemento portland. La mayoría de las puzolanas, cuando se usan como reemplazo parcial del cemento portland, producen una mezcla de hormigón caracterizada por la generación más lenta de calor, lo cual es muy ventajoso en la construcción de estructuras masivas; esa mezcla impide o minimiza la reacción entre los álcalis y los agregados, y con excepción de la clase C, resulta, por lo general, en un hormigón más resistente a los sulfatos. Las tres clases generales de puzolanas son:

- Clase N — Materiales naturales, entre ellos tierras diatomeas y ciertas arcillas y pizarras, calcinadas o no.
- Clase I — Cenizas volantes.
- Clase C — Cal con alto contenido de calcio, y, por tanto, parcialmente cementosa, con cenizas volantes, comúnmente producto de la combustión de lignitas o carbones sub-bituminosos.

Requisitos opcionales

La norma C 150 de la ASTM contiene requisitos adicionales que permiten aplicar, a opción del comprador, condiciones de "baja alcalinidad", falso fraguado, resistencia a compresión a los 28 días, calor de hidratación y resistencia a los sulfatos.

Cuando se van a usar agregados con elementos que se sabe reaccionan destructivamente con los óxidos de sodio o de potasio, que son los álcalis secundarios en los cementos, es mejor utilizar cemento de bajo contenido de álcalis para asegurar la durabilidad y funcionalidad del hormigón. El uso de cemento de bajo contenido de álcalis asegura casi siempre que el hormigón esté libre de expansión silico-alcalina objetable. El cemento de bajo contenido de álcalis no tiene, por definición, más que 0.60 por ciento de estos óxidos en forma de óxido de sodio. Se puede obtener indicación de la reactividad alcalina potencial de las combinaciones de cemento y agregado, con el ensayo de una barra de mortero descrito en la norma C 277 de la ASTM, y con menos confiabilidad, mediante el método químico rápido (norma C 289 de la ASTM). El porcentaje de óxidos alcalinos en el cemento, se puede hallar por fotometría de llama, de acuerdo con la norma C 228 de la ASTM. A veces se cree, erradamente, que un contenido bajo de álcalis vuelve al cemento resistente a los sulfatos, lo cual no es cierto.

En el folleto *Cement and Concrete Terminology*¹⁶ se define el *fraguado falso* así: "rápido desarrollo de rigidez en una pasta de cemento portland, mortero u hormigón, recién amasado, de mucho desarrollo calorífico, rigidez que puede eliminarse recuperándose por tanto el estado plástico con un amasado adicional, sin adición de agua." El *fraguado instantáneo* se define así: "rápido desarrollo de rigidez en una pasta de cemento portland, mortero u hormigón, recién amasado, usualmente con generación de mucho calor, rigidez que no puede ser eliminada, para volver al estado plástico con un amasado adicional sin adición de agua." La existencia de fraguado falso o fraguado instantáneo puede determinarse siguiendo las normas C 359 (método del mortero) y C 451 (método de la pasta) de la ASTM.

Si bien las dos propiedades citadas son objetables, el fraguado instantáneo es el más inconveniente, puesto que para volver a obtener plasticidad, es necesario, en este caso, añadir cantidades considerables de agua, lo cual produce pérdida de resistencia y gran incremento del agrietamiento plástico y por contracción de fraguado. El cemento con propiedades de fraguado instantáneo no cumple, por lo general, los requisitos de tiempo de fraguado de la norma ASTM C 150 y no debe usarse en construcciones corrientes de hormigón. El fraguado falso del cemento no produce, por lo general, efectos perjudiciales sobre la calidad del hormigón, especialmente cuando se emplean camiones hormigoneros para su transporte, puesto que el mayor tiempo de amasado restablece la plasticidad sin la adición de agua y, a menudo, sin que el personal se percate de la ocurrencia de dicho fraguado. Sin embargo, con tiempos cortos de amasado, un fraguado falso severo puede requerir la adición de un poco más de agua de amasado, con la consecuente reducción de resistencia e incremento de contracción de fraguado. Con tiempos de amasado muy cortos, el fraguado falso puede ocurrir después que el hormigón ha sido vertido de la hormigonera, causando, en este caso, dificultades considerables.

Las demoras en la obra y el dejar pasar demasiado tiempo entre el amasado y la colocación ocasionan la mayoría de los problemas de pérdida de asentamiento. Sin embargo, éstos pueden agravarse por otras causas: cemento de fraguado rápido, incompatibilidad entre aditivos y cemento (particularmente en clima cálido), cemento con tendencia a fraguado falso; pérdida de agua debido a alta temperatura del hormigón fresco, a entrar en contacto con agregados o subrasantes muy absorbentes, al secamiento en condiciones de exposición a viento y a sol. En clima frío, el fraguado instantáneo puede provenir de recalentamiento de los materiales o de la presencia de excesivo cloro.

El cemento llamado "caliente", es decir, el entregado por la fábrica antes que se enfríe hasta aproximadamente la temperatura ambiente, afecta poco las propiedades del hormigón; en realidad, contribuye a elevar la temperatura de éste, pero en cantidad despreciable.

Muestreo y ensayo

El ensayo del cemento con fines de aceptación es, fundamentalmente, un procedimiento de laboratorio y por eso no se discute aquí. Es usual que la

fábrica tome muestras del cemento que produce y las ensaye, con el fin de emitir informes y certificados de los resultados en planta. La norma ASTM C 150 indica que **todo cemento que permanezca almacenado a granel en la fábrica, por más de seis meses contados a partir de la terminación de los ensayos, deberá ensayarse de nuevo.** Los grandes usuarios, como es el caso de los organismos estatales de autopistas, a menudo se encargan del muestreo y ensayo de cada silo por sí mismos o contratan a un laboratorio independiente para que los hagan. Muchos otros propietarios toman muestras al recibir los pedidos y las hacen ensayar por un laboratorio independiente, según juzguen necesario. El inspector de campo verifica el recibo de los pedidos contra las notas de aceptación y examina el cemento por si hay cualquier signo de pérdida, contaminación o exposición a humedad durante el transporte. En especial, deberá asegurarse de que los sellos de los embarques a granel no hayan sido violados.

Si en la obra se van a obtener muestras del cemento, deberá tenerse sumo cuidado para asegurar que éstas sean representativas del lote en cuestión, de acuerdo con los métodos de la norma ASTM C 183. Las muestras para el ensayo deberán tomarse en cantidades de por lo menos 4.5 kg (10 lb) cada una, o de 2.25 kg (5 lb) si se van a agrupar en una muestra de 4.5 kg (10 lb). Si el cemento viene en bolsas, habrá que tomar una pequeña cantidad de una bolsa de cada cien bolsas o fracción de cien bolsas. Después de mezclar muy bien estas cantidades, se escoge la muestra por medio de un divisor de muestras o por el método de cuarteo.

Cuando el cemento se transporta a granel, las muestras se pueden tomar por cualquiera de los siguientes métodos: (1) usando un tubo ranurado de muestreo o (2) sacando por la compuerta de descarga una cantidad considerable de cemento, de la cual se forma una muestra compuesta como se indicó atrás.

La muestra de cemento debe colocarse en un recipiente metálico seco y limpio, y la tapa cerrarse herméticamente para excluir el aire y la humedad; en el caso de tapas deslizantes, una tira de cinta adhesiva colocada alrededor de toda la junta puede constituir un sello excelente. Por dentro y por fuera del recipiente se debe colocar una completa identificación de la mezcla. La información dada debe incluir fecha, nombre de la obra, nombre del inspector, número del carro o lote, marca de cemento, cantidad de cemento representada por la muestra, parte del trabajo en que se usó el cemento, temperatura en el momento del muestreo, autoridad que toma las muestras, o razón para hacerlo, y ensayos deseados.

AGREGADOS

En general, el trabajo de inspección comprende el examen y prueba de los agregados para su aceptación o rechazo, la realización de los ensayos de control que sean necesarios, el cuidado de que sean manejados y almacenados en forma apropiada, y la verificación de las operaciones de medición. Es importante cuidar que durante la medición no haya variación en los agregados.

Especificaciones

Las normas sobre agregados comprenden agregados ordinarios (ASTM C 33), tamaños recomendados de las existencias de agregados para construcción de carreteras (ASTM D 448) y agregados livianos (ASTM C 330 y C 332). Se requiere, por lo general, que los agregados sean limpios, duros, sanos y durables, y que los tamaños de las partículas estén comprendidos entre los límites establecidos, comúnmente bastante amplios. Sin embargo, especificaciones recientes requieren frecuentemente que la gradación escogida se mantenga razonablemente uniforme, por restricciones sobre el rango del módulo de finura (véase más adelante) de varios envíos. Las diversas substancias perjudiciales quedan restringidas a pequeños porcentajes.

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

<i>Agregado fino</i>	
<i>Item</i>	<i>Razón</i>
Terrones y partículas desmenuzables de arcilla	Estos materiales proporcionan partículas nocivas en el hormigón y también pueden incrementar la demanda de agua de amasado si se parten durante la mezcla.
Material que pasa el tamiz No. 200	Estos materiales también aumentan la demanda de agua de amasado.
Carbón y lignito	Estos materiales perjudican la apariencia superficial y causan dificultad al incorporar aire.
<i>Agregado grueso</i>	
<i>Item</i>	<i>Razón</i>
Terrones y partículas desmenuzables de arcilla	La misma razón dada para el agregado fino.
Partículas blandas	Perjudicial para el comportamiento de pisos de tránsito pesado, donde se requiere dureza superficial.
Pedernal liviano (densidad menor que 2.40)	Perjudicial para la durabilidad del hormigón, en el que causa, en particular, ampolladuras.
Carbón y lignito	La misma razón dada para el agregado fino.

Muestreo

Las muestras por ensayar del agregado terminado deberán ser representativas de la tanda preparada, en las condiciones reales de medición y mezcla. Los métodos de muestreo deben cumplir estrictamente con los requisitos de

la norma D 75 de la ASTM. Como en todo el proceso de producción de hormigón de calidad, es posible que el muestreo de agregados sea el eslabón más débil, debe, por eso mismo, recibir preferente atención.

Es de esperar que haya una cantidad razonable de variación local en la fuente del agregado. El muestreo debe ser de tal naturaleza que no haya lugar a darle excesivo o poco énfasis a los efectos de las variaciones locales en la muestra que se va a ensayar. Al juzgar los resultados de los ensayos debe considerarse la distribución estadística (véase el Capítulo 2) de la cantidad de material indeseable. Por ejemplo, un solo terrón de arcilla en una mezcla no justifica, por sí mismo, el rechazo de una carga completa de agregado, a menos que obviamente la muestra no sea representativa. La aceptación o rechazo debe estar de acuerdo con los requisitos de las especificaciones del proyecto.

Se pueden tomar muestras del material que está en bandas transportadoras, silos, carros, barcazas o pilas de almacenamiento. En el Capítulo 19 se describen los métodos de muestreo de material que se encuentre en bandas, silos y pilas. Esto deberá hacerse, de preferencia, en las bandas transportadoras o en la compuerta de descarga de los silos (Fig. 3-1). La toma de muestras de pilas de almacenamiento es la más difícil de hacer correctamente y deberá evitarse en lo posible. La norma D 75 de la ASTM no cubre el muestreo de dichas pilas. En tal caso, las muestras se tomarán en tres o cuatro puntos a lo largo de la pila y a, aproximadamente, media altura de ella, evi-

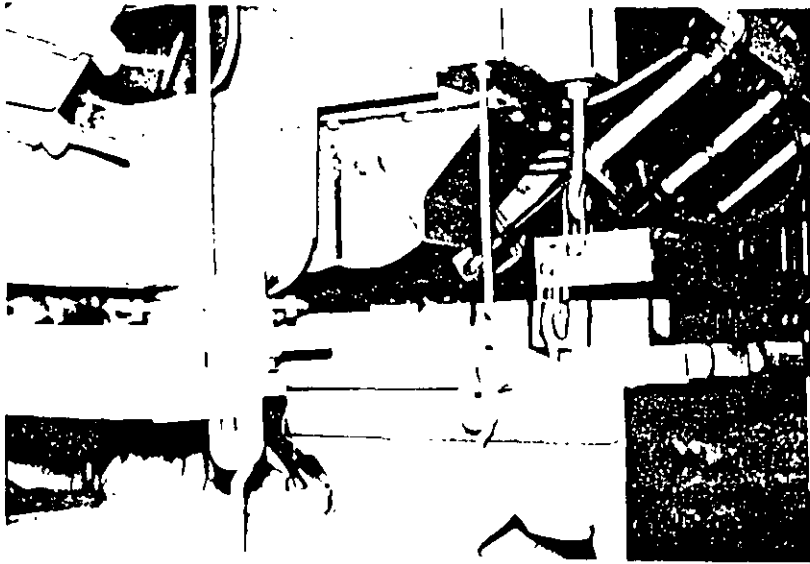


Fig. 3-1— Cuando el acceso es conveniente y seguro, las muestras del material se pueden tomar a la salida de la tolva o silo.

tando el material segregado de la superficie. Un método satisfactorio para tomar muestras de estas pilas consiste en utilizar un cargador de cucharón frontal; con éste se extrae material de la pila y la muestra se toma del material depositado al frente del cucharón. Por lo general, se selecciona una cantidad mayor que la deseada para la muestra, en diferentes sitios o a intervalos, y luego se combinan muy bien estas cantidades para, finalmente, tomar la muestra definitiva de esta cantidad total, como se describe más adelante.

La cantidad de material representada por una sola muestra puede variar ampliamente. Se acostumbra tomar una muestra por carretada.

La muestra que se toma de una banda transportadora es la más representativa de todas. En el caso de la arena, se pueden tomar cucharadas de ella, a medida que pasa en la banda, hasta llenar un balde, del cual se coge la muestra por división o cuarteo.

Si se trata de agregado grueso, sólo se pueden tomar muestras adecuadas cuando resulte factible detener completamente la banda, para remover todo el material transportado en una corta longitud de ella. Si no se puede detener la banda, o ésta no existe en la obra, hay que utilizar otros métodos. El que sigue en bondad consiste en usar toda la descarga momentánea de agregado grueso producida en la compuerta de un silo. Se debe contar al menos con cien litros de material, y la muestra para ensayo se obtendrá de él, mediante cuarteo. Las muestras más representativas se logran cuando es posible efectuar el cuarteo, utilizando materiales tomados de las partes primera, media y última del material que se va a ensayar.

Las muestras de agregado que se toman superficialmente en un silo, carro, barcaza o pila de almacenamiento deben estar constituidas por porciones provenientes de varios puntos separados. Se debe evitar todo material no representativo, como es el caso de finos en el centro, grueso hacia los bordes, y más húmedo o seco en la superficie; en todo caso, el material disponible deberá quedar adecuadamente representado en la muestra. Algunas veces conviene utilizar una tabla, sobre la superficie inclinada del material, para evitar que ruede, mientras se obtiene una muestra del que está bajo la superficie.

Las muestras de arena se tomarán, siempre que sea posible, de material húmedo, para evitar así la segregación que ocurre en arena seca. Las muestras deberán provenir de material no superficial y para ello es preferible usar un tubo de muestreo hincado en la arena en varios puntos separados. Al tomar muestras para ensayos de contenido de humedad se deberá tener en cuenta que una masa de arena húmeda, almacenada o apilada durante unas pocas horas, estará más mojada hacia la base de la pila.

Cuando dos o más arenas o agregados gruesos se pesan por separado y se combinan en la hormigonera para producir una gradación especificada, la toma de muestras y los ensayos deberán efectuarse por separado para cada una, y los resultados para el agregado combinado, calcularse por proporción, a partir de los resultados individuales correspondientes. También se puede, conociendo los datos de cada material, calcular una combinación para obtener la gradación (granulometría) requerida, cuyas proporciones han de ajustarse en caso necesario. El método de cálculo para combinar dos de ta-

los agregados con miras a obtener la granulometría deseada es idéntico al mostrado en la Tabla 3-1, aunque dicha tabla corresponde a la granulometría final de una mezcla de agregados grueso y fino.

El tamaño de la muestra depende de la clase y número de ensayos por hacer; las muestras de arena, en general, contendrán como mínimo 10 kg (aprox. 25 lb) y las de agregado grueso con tamaño máximo de 38 mm (1 1/2 pulg), no menos que 75 kg (165 lb). Los requisitos de tamizado de las muestras se discuten más adelante bajo el encabezamiento: "Ensayos de granulometría".

Se llama la atención del inspector sobre el hecho de que algunas especificaciones federales sobre pavimentos de aeropuertos, exigen límites mucho más estrechos para la cantidad de substancias nocivas, permisibles en agregados gruesos y finos, que los prescritos por la norma C 33 de la ASTM. Tales restricciones pueden ir desde 0.1 por ciento para pedernal y partículas blandas hasta 0.5 por ciento para material que pase el tamiz No. 200. Para proporcionar resultados significativos y lograr control estadístico de los ensayos (Capítulo 2), en forma tal que se cumplan estas estrechas especificaciones, se deben tomar muestras de tamaño mucho más grande.

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

TABLA 3-1 — CALCULOS TIPICOS DEL MODULO DE FINURA

Tamiz	Arena	Agregado grueso Tamices No. 4 a 25 mm (1 pulg)	Mezcla, 40 por ciento de arena y 60 por ciento de agregado grueso*
Porcentaje acumulado de peso retenido			
	76 mm (3 pulg)	0	0
	38 mm (1 1/2 pulg)	3	2
	19 mm (3/4 pulg)	49	29
	9.5 mm (3/8 pulg)	77	46
Porcentaje de tamaño mayor que el tamiz	Nº 4 (4.8 mm = 1/16 pulg)	4	96
	Nº 8 (2.4 mm = 1/12 pulg)	15	100
	Nº 16 (1.2 mm = 1/64 pulg)	37	100
	Nº 30 (.6 mm = 1/128 pulg)	62	100
	Nº 50 (.3 mm = 1/256 pulg)	85	100
	Nº 100 (.15 mm = 1/512 pulg)	98	100
Total	301	725	555
Módulo de finura	3.01	7.25	5.55

* 0.40 x porcentaje de arena más 0.60 x porcentaje de agregado grueso

A menos que un ensayo particular exija cantidad exacta de material, se tomará la aproximada más cercana que resulte del cuarteo o del uso del partidor de muestras. Los ajustes, mediante adición o remoción de material, con el fin de obtener alguna cantidad arbitraria, pueden cambiar las características promedio de la muestra; por consiguiente, nunca deberán hacerse, excepto cuando así lo requiera específicamente el método de ensayo.

Cuando las muestras se envíen a un laboratorio para su ensayo, es preciso que el recipiente esté limpio, puesto que, cualquier pequeña cantidad de algunos materiales (como los que se adhieren a los sacos de azúcar o de fertilizante), pueden causar contaminación seria. Además, el recipiente debe dejarse bien cerrado para impedir, tanto la contaminación como la pérdida de finos. La muestra se identificará claramente, por dentro y por fuera del recipiente, y se darán los siguientes datos: fecha, clase de agregado, cantidad representada por la muestra, sitio y otras condiciones de muestreo, autoridad o razón del ensayo, y clase de ensayo deseada.

Ensayos principales de agregados

A la inspección de hormigón le conciernen, principalmente, tres clases generales de ensayos de agregados:

1. Ensayos iniciales de aceptación, efectuados en laboratorio, sobre granulometría, limpieza (limo e impurezas orgánicas), sanidad y durabilidad, resistencia a la abrasión, materiales nocivos, substancias extrañas y composición mineral.

2. Ensayos secundarios de laboratorio, de muestras aprobadas, para determinar las propiedades físicas que se usan en la dosificación de la mezcla. Se incluyen los de absorción, peso específico aparente, peso unitario, vacíos y expansión.

3. Ensayos de campo para control o aceptación secundaria, entre ellos los de limpieza, materiales nocivos y contenido de humedad.

La Referencia 17 trata sobre la importancia de los diferentes ensayos de agregados.

Ensayos de granulometría

El análisis de tamices de los agregados proporciona la base para controlar su gradación y verificar el cumplimiento de los requisitos especificados de granulometría. El análisis de tamices de los agregados gruesos puede usarse para determinar las proporciones requeridas de cada grupo, a fin de producir combinaciones que se aproximen lo más posible a la granulometría deseada. El procedimiento del ensayo estándar se describe en la norma C 136 de la ASTM.

La cantidad de muestra para el ensayo de análisis de tamices deberá cumplir los requisitos de dicha norma. Con el fin de evitar segregación, la muestra de agregado fino se reducirá, preferiblemente, al tamaño deseado, antes que se la seque.

La muestra se separa por tamaños mediante la serie especificada de tamices, montados de preferencia en una sacudidora mecánica. El tamizado se

hará mediante la combinación de un movimiento lateral y otro vertical de cada criba, acompañada de sacudidas, de tal manera que la muestra se mantenga en movimiento continuo sobre la superficie del tamiz. Los fragmentos que queden sobre los tamices no deberán manipularse a mano, ni añadirse pedazos de metal a ellos, como ayudas para el tamizado. Las cribas, en especial las de abertura pequeña, se conservarán razonablemente limpias y sin agujeros cegados, mediante el uso, cuidadoso y moderado, de un cepillo de buena calidad.

El módulo de finura es un número índice aproximadamente proporcional al tamaño promedio de las partículas de un agregado dado; es decir, que para una criba gruesa sea éste mayor será su módulo de finura. Se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en cada uno de los siguientes tamaños estándares estadimensiones, y dividiendo dicha suma por 100: 76 mm (3 pulg), 38 mm (1 1/2 pulg), 19 mm (3/4 pulg), 9.5 mm (3/8 pulg), 4.8 mm (No. 4), 2.4 mm (No. 8), 1.2 mm (No. 16), 0.6 mm (No. 30), 0.3 mm (No. 50) y 0.15 mm (No. 100), como se muestra en la Tabla 3-1. El módulo de finura es útil para indicar si un agregado es más fino o más grueso que otro, aunque no dé ninguna idea sobre la granulometría y no distinga entre un agregado de tamaño único y otro gradado, que tenga el mismo tamaño promedio. Se utiliza con propósitos de registro y especificación y en particular, como medio para controlar la granulometría y la uniformidad. Se usa, además, en un método de cálculo para la dosificación de agregados. Las normas ASTM requieren que el módulo de finura de un envío de agregado fino no varíe en más de cierta cantidad (en algunos casos 0.20) en cualquier sentido, con respecto al módulo de finura de una muestra preliminar representativa y aceptable.

Los análisis de tamices se harán únicamente con los estándares definidos en la norma ASTM C 136. Aunque es posible convertir, con la ayuda de una gráfica de conversión, el análisis de tamices hecho con una serie dada, a un análisis basado en otra serie (por ejemplo, una que tenga los agujeros circulares en vez de cuadrados, o viceversa), la conversión es tan solo aproximada, y, en caso de disputa, deberán usarse los tamices estipulados en las especificaciones.

Debe reconocerse que los agregados, especialmente los gruesos, varían considerablemente de un punto a otro de los silos y pilas del almacenamiento; por consiguiente, cualquier ensayo, considerado aisladamente, tiene significancia limitada en sí mismo. Cada nueva prueba deberá promediarse con, por lo menos, dos análisis inmediatamente precedentes del mismo material, para obtener un análisis más representativo de su comportamiento general que sirva de base para hacer ajustes en la mezcla, o determinar si se cumplen los requisitos de gradación.

El número de análisis de tamices que deba hacerse para la calificación de los agregados depende principalmente de la homogeneidad del suministro, y, en parte, de la cantidad que va a usarse y de las unidades de transporte. En general, en una obra de tamaño moderado, el ensayo de granulometría se hace una o dos veces al día, y en cualquier otro momento en que parezca que han ocurrido cambios de gradación.

Ensayos del material que pasa el tamiz No. 200

El material mineral extremadamente fino (arcilla, limo, polvo, o marga) que se presenta en la mayoría de los agregados requiere aumentos relativamente grandes en la cantidad de agua de amasado y tiende a aflorar a la superficie del hormigón, ocasionando su agrietamiento, por la contracción de fraguado que se presenta durante el secado. Por otra parte, si los finos se adhieren a las partículas más grandes de agregado, tienden a interferir la adherencia entre éstas y la pasta agua-cemento. Debido a eso las especificaciones limitan la cantidad de tal material a un pequeño porcentaje.

Con propósitos de especificación y ensayo, se considera que el material que pasa el tamiz No. 200 es el que anteriormente se denominaba "limo". El ensayo para determinar el porcentaje de finos en el agregado se describe en el Capítulo 19 y en la norma ASTM C 117. El material fino se tamiza por vía húmeda, a partir de una muestra de agregado, secado al horno, cuyo peso se ha determinado previamente. El agregado remanente se seca de nuevo al horno y se pesa para encontrar la cantidad removida de finos.

La norma ASTM D 2419 proporciona un ensayo de campo estándar para determinar el material mineral fino contenido en la arena. A menudo se utiliza, en operaciones de campo, un ensayo de sedimentación más simple, para determinar la cantidad aproximada de finos de arena. Es preferible no secar la muestra que se tome para el ensayo, puesto que dicha operación puede resultar en pérdida de finos. Se toma una botella o frasco de vidrio translúcido, preferiblemente un frasco volumétrico de 1000 cm³ (32 onzas), y se llena de arena hasta, aproximadamente, la mitad. Luego se añade agua limpia hasta que el contenido alcance un nivel cercano al doble del de la arena inundada. Se agita el recipiente vigorosamente, y se permite la sedimentación del contenido durante 1 hora, aproximadamente. A continuación, se mide la profundidad de la capa de finos que se haya depositado encima de la arena; si excede a un cierto porcentaje permitido, de la profundidad total de arena y finos, será necesario ensayar la arena por el método más preciso indicado en la especificación. Aproximadamente, un 2% en volumen (profundidad) equivale a 1% en peso.

La cantidad de terrones de arcilla o de otras partículas deleznablese determina por los métodos de la norma ASTM C 142. Como se describe en el Capítulo 19, este método usa el material retenido en el tamiz No. 16 del ensayo ASTM C 117. En el caso de agregado fino, se seca el material, se empapa en agua destilada durante 24 horas, y luego, las partículas deleznablese desmenuzan apretándolas entre los dedos índice y pulgar. En el caso de agregado grueso, se seca el material y luego se separa en 4 tamaños, que van desde el tamiz No. 4 hasta el de 38 milímetros (1 1/2 pulg). Después, se empapan los diferentes tamaños obtenidos, sumergiéndolos durante 24 horas en agua destilada, y las partículas deleznablese desmenuzan siguiendo el mismo método utilizado para el agregado fino. A continuación, se separa el residuo de cada muestra mediante cribado por vía húmeda, usando los tamices prescritos y una vez determinada la cantidad de material desmenuzable, se expresa como porcentaje del peso de la muestra.

En los agregados gruesos, la presencia de minerales finos o de polvo de trituración, en cantidades objetables, generalmente resulta evidente a simple vista. La norma ASTM C 33 limita el material que pasa el tamiz No. 200 a 1% del peso. Este límite se puede aumentar hasta 1 1/2%, cuando el material fino no contiene arcilla ni pizarra.

Los ensayos para determinar el material que pasa el tamiz No. 200 se harán, como asunto de rutina, quizá una vez al día o algo por el estilo, siempre que se desee un análisis estadístico, y en cualquier otro momento, cuando haya razón para creer, por la apariencia o el análisis de tamices, que la cantidad permisible de minerales finos está siendo excedida.

Ensayos para determinar la presencia de impurezas orgánicas en la arena

Algunas clases de materia orgánica presentes en la arena, aun en cantidad menor que el 1%, pueden demorar o impedir el endurecimiento del hormigón y reducir apreciablemente su resistencia. La materia orgánica se encuentra en la arena, por lo general, en forma de material vegetal en descomposición. En algunas localidades, el ácido tánico de ciertas raíces de pino, se deposita en la superficie de las partículas y no es removible por el lavado.

Un ensayo de comparación de color, para determinar la presencia y cantidad aproximada de materia orgánica, se describe en detalle en la norma ASTM C 40. La muestra que se tome para el ensayo deberá estar, de preferencia, ligeramente húmeda; un exceso de humedad superficial debilita la solución de ensayo, pero si se seca el agregado, puede perderse algo de materia orgánica durante el manejo, o por combustión durante el secado. La muestra se sumerge en una solución al 3 por ciento (por peso) de soda cáustica, en un frasco de vidrio incoloro. Después de agitar éste vigorosamente, se permite que la muestra permanezca en reposo durante 24 horas. Se observa luego el color del líquido que sobrenada y se compara con una solución de color estándar preparada de acuerdo con la norma ASTM C 40. Si el líquido del frasco quedó incoloro o más claro que la solución estándar, la arena está libre de materia orgánica, a satisfacción. Si, en cambio, el líquido es más oscuro que la solución estándar, esto indica la presencia de impurezas orgánicas; puede ser necesario, entonces, hacer pruebas de comparación de resistencia entre morteros hechos con arena que contenga impurezas orgánicas y con la que no las contenga, de acuerdo con la norma ASTM C 87. Partículas de carbón o de lignito, presentes en la arena, pueden producir color oscuro en el ensayo colorimétrico, y, sin embargo, ser permitidas en los agregados finos, siempre y cuando no excedan los límites admisibles de la Tabla 1 de la norma ASTM C 33.

La frecuencia de los ensayos de materia orgánica depende de la condición y homogeneidad de la arena y de los requisitos de evaluación estadística (Capítulo 2). El ensayo colorimétrico ha de ser diario, aunque, en el caso de arena lavada con registros satisfactorios, puede dilatarse hasta una vez a la semana. Adicionalmente, deberá hacerse, cuantas veces la cantidad de

materia orgánica esté próxima al límite admisible, o se cambie la fuente de suministro, o el hormigón se endurezca con mayor lentitud que la normal.

Ensayo para determinar la humedad y la absorción

Es preciso efectuar ensayos para determinar el contenido de humedad y de absorción de los agregados, en los casos siguientes:

1. Para determinar la cantidad de agua aportada por los agregados a la mezcla de hormigón, o absorbida de ella. Un incremento del 1% en el contenido de humedad de la arena, si no es compensado, aumentará el asentamiento del hormigón hasta en 4 centímetros (aprox. 1 1/2 pulg) y disminuirá su resistencia a la compresión hasta en 20 kg/cm² (aprox. 300 lb/pulg²).

2. Si la medida de los agregados se hace por peso (o volumen), para determinar los ajustes necesarios en uno u otro, según el caso, que aseguren cantidades uniformes de agregados equivalentes a los saturados, secos en la superficie. Cuando la medición se hace por volumen, es necesario conocer el factor de expansión.

En lo que respecta a la humedad, los agregados pueden estar en uno de los cuatro estados que se indican en la Fig. 3-2.

1. *Secados al horno*, esto es, completamente secos y absorbentes del todo.
2. *Secados al aire*, esto es, superficialmente pero con alguna humedad interior menor que la cantidad requerida para saturar las partículas (llamada "capacidad de absorción"); por consiguiente, algo absorbentes.
3. *Saturados y secos en la superficie*; condición ideal, en la cual el agregado no entrega agua a la pasta ni la absorbe de ella.
4. *Húmedos o mojados*, cuando hay exceso de humedad en la superficie de las partículas.

Es necesario entender claramente estas relaciones para poder dosificar y medir apropiadamente los agregados.

De preferencia, todos los cálculos deben hacerse con base en agregado que se encuentre en condición saturada y de superficie seca. No es práctico con-

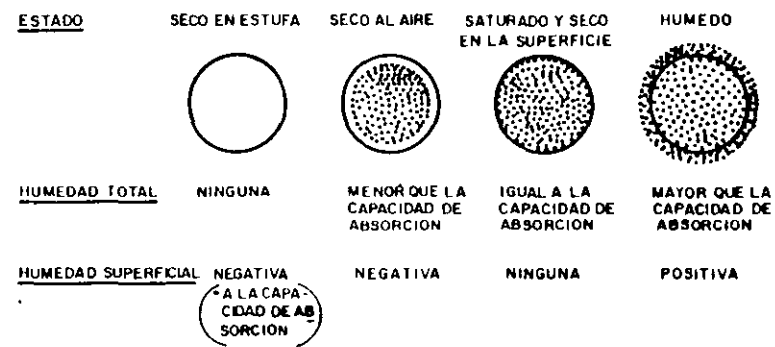


Fig. 3-2—Variación del contenido de humedad en el agregado.

seguir agregados para construcción en esta condición ideal, pero utilizando aritmética simple, las medidas de agregado seco o húmedo pueden convertirse en cantidades equivalentes de agregado saturado, superficialmente seco. Es necesario, tan solo, conocer el contenido total de humedad y la capacidad de absorción de los agregados; por consiguiente

$$\text{Humedad libre o superficial} = \text{humedad total} - \text{capacidad de absorción}$$

Cuando la humedad total es menor que la capacidad de absorción (como es el caso en agregados que se secan al aire), la humedad superficial resulta negativa, y el agregado absorberá parte del agua de amasado.

Hay varios ensayos para determinar el contenido de humedad y la absorción de los agregados, algunos de los cuales se describen en detalle en la Referencia 8 y en las normas C 70, C 127, C 128 y C 566 de la ASTM. La significación de estos ensayos se discute en la Referencia 17. Para propósitos de laboratorio, los ensayos se harán, de preferencia, con tal precisión que produzcan resultados exactos al 0.1 por ciento. Los porcentajes estarán basados en el peso del material secado al horno, y no en el del material saturado y seco en la superficie, ni en el peso del material seco al aire. Sin embargo, los porcentajes de humedad y de absorción son generalmente tan pequeños, que estas diferencias en la base de cálculo producen poco efecto en los resultados numéricos.

Para la determinación en la obra del contenido de humedad de la arena, es más importante la velocidad que el refinamiento del ensayo y de los resultados, y a menos que se disponga de información sobre los cambios en contenido de humedad, a tiempo para hacer ajustes apropiados en la medición, los ensayos tendrán poca utilidad. A este efecto se encuentra en el mercado equipo de medición, electrónico y nuclear, que refleja inmediatamente los cambios significativos en el contenido de humedad de la arena.

Absorción—Para fines prácticos, la capacidad de absorción total de un agregado dado no varía; en los agregados duros y densos llega, generalmente, al 1/2% o menos del peso del agregado; esta cantidad puede ser mayor en algunos agregados naturales, y en escorias de alto horno llegar hasta el 5%. En obras pequeñas, a menudo, se fija el valor de la absorción de un tipo de agregado,¹⁹ pero, cuando se desea control cuidadoso, la absorción deberá determinarse con precisión.

La absorción del agregado grueso se establece por el procedimiento dado en la norma ASTM C 127, con eliminación del pesado en agua, si no se va a determinar también la densidad. Para determinar la absorción, se puede llevar una muestra húmeda a la condición de saturación y superficie seca, se pesa, se seca completamente mediante aplicación de calor, y se vuelve a pesar; la pérdida en peso causada por el calentamiento, representa la capacidad de absorción. La condición de superficie seca puede obtenerse aplicando a las partículas un trapo absorbente.

La absorción del agregado fino puede determinarse utilizando la norma ASTM C 128, suprimiendo el uso del frasco si no se va a medir la densidad. Una muestra húmeda puede llevarse a la condición de saturado y seco su-



Fig. 3-3—Secamiento de la arena en estufa para determinar la humedad total.

perficie seca se determina por medio del ensayo del cono descrito en la norma ASTM C 128, como sigue: de tiempo en tiempo, se apisona suavemente una porción de la arena que está siendo secada (por evaporación o mediante una corriente suave de aire), dentro de un pequeño molde cónico, abierto por encima y por debajo, y luego se levanta el molde verticalmente. Si la pila de arena retiene la forma del molde, hay humedad superficial. En el punto de la serie de ensayos en que la pila empiece a derrumbarse, la arena está saturada y su superficie, seca.

Otro ensayo para determinar el punto en el cual la arena en secamiento se convierte en saturada y seca superficialmente consiste en hallar el momento en que deja de adherirse a una barra o vasija limpia de vidrio. Ninguno de los ensayos para determinar la condición saturada y de superficie seca es satisfactorio completamente en el caso de arena muy gruesa o para ciertas arenas muy angulares.

Humedad—La humedad superficial en agregado fino puede determinarse por medio del frasco de Chapman de acuerdo con la norma ASTM C 70. Para efectuar este ensayo, es necesario conocer la densidad del agregado saturado y con superficie seca.

La humedad superficial puede determinarse, directamente, tanto para el agregado fino como para el grueso, pesando una muestra húmeda, secándola hasta obtener la condición saturada con superficie seca, como se acaba de describir para el caso de la absorción, y volviéndola a pesar. Un método más rápido, descrito en el Capítulo 19 y en la norma ASTM C 566, consiste en pesar la muestra húmeda, secarla por medio de calor, y volverla a pesar (Fig. 3-3); la pérdida en peso representa entonces la humedad total, de la

cual se substraer la capacidad de absorción para obtener la humedad superficial. Los agregados que aparentemente no contengan humedad superficial deben ensayarse por este método de calentamiento; la humedad "superficial" es, en este caso, cero o negativa (indicando que el agregado absorberá agua de amasado). Otros métodos comunes para determinar la humedad de la superficie involucran el pesado del agregado en el aire y luego bajo agua, o el uso de un picnómetro, y su descripción aparece en la Referencia 8.

La frecuencia de los ensayos de contenido de humedad depende de la uniformidad del suministro y de los requisitos del análisis estadístico (Capítulo 2). Por lo común, se hace el ensayo dos veces diarias, con ensayos adicionales, particularmente de agregados finos, siempre que las condiciones cambien mucho. Para minimizar el efecto de las inexactitudes en el muestreo y el pesado, la muestra para el ensayo de humedad debe ser tan grande como lo permita su manejo conveniente, dentro del tiempo disponible.

De su experiencia con la arena de la obra y ensayos rutinarios de humedad, el inspector podrá muy pronto, observando el asentamiento del hormigón y su manejabilidad, juzgar con razonable precisión cualquier cambio significativo que ocurra entre ensayos, y hacer los ajustes apropiados en la medición.

Ensayos para determinar el peso específico

La conversión de un peso dado de agregado a volumen para el cálculo de rendimiento o de un volumen a peso para propósitos de medición, requiere el conocimiento del peso específico del agregado. El peso específico relativo se define como la relación entre el peso de un volumen dado de material al peso de un volumen igual de agua; así, si un bloque de 1 metro cúbico de granito pesa 2640 kg, su peso específico relativo es 2640 dividido por 1000 (que es el peso de 1 metro cúbico de agua), lo cual da 2.64. El peso específico relativo de la mayoría de los agregados es aproximadamente 2.65, aunque la piedra caliza puede tener peso específico relativo de 2.50 o menos, y las rocas ígneas llegar a 2.75 o más. Para un agregado dado el valor es sustancialmente constante, y para la mayoría de los propósitos puede tomarse como constante, sin que se presenten errores serios. Como verificación de rutina, las determinaciones de peso específico se harán quizás una vez a la semana para detectar cualquier cambio o para confirmar que no ha ocurrido ninguno.

Uno de los ensayos para determinar el peso específico del agregado grueso (ASTM C 127) consiste en pesar una muestra saturada y seca superficialmente en el aire, colocarla luego en una canastilla de malla de alambre suspendida de una balanza en forma tal que se pueda averiguar el peso de la muestra sumergida en el agua; en seguida, secar al horno la muestra, y volverla a pesar. La muestra deberá contener por lo menos 0.18 kg por cada milímetro del tamaño máximo de la muestra (10 lb x tamaño máximo en pulgadas); por consiguiente, una muestra de 2.27 kg (5 lb) será el mínimo requerido cuando se trate de agregado de 12.5 milímetros (½ pulg). Con los datos obtenidos se calculan los siguientes valores:

$$\text{Peso específico aparente del material saturado y seco superficialmente (SSS)} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Peso específico aparente del material seco} = \frac{A}{B - C}$$

en donde B es el peso de la muestra saturada y seca superficialmente, C el peso sumergido de dicha muestra, y A su peso después de secada al horno.

Uno de los ensayos para determinar el peso específico del agregado fino (ASTM C 128) consiste en pesar un frasco calibrado lleno de agua, pesar el mismo frasco lleno de agua y de una cantidad conocida de agregado fino saturado y seco superficialmente, secar la muestra de agregado aplicándole calor y volver a pesar la muestra seca. El peso específico del agregado fino puede determinarse, también, pesándolo en aire y luego en agua, como se describió para el agregado grueso. Para los ensayos de humedad, absorción y peso específico, es recomendable hacer uso de un artefacto especial desarrollado por el "U.S. Bureau of Reclamation". En la Referencia 8 se describen éste y otros métodos para determinar la última de las tres propiedades mencionadas atrás.

Cuando en la medición se vaya a trabajar con agregados saturados y secos superficialmente, se usará el peso específico determinado con base en tal condición; si, por el contrario, el material se va a medir después de secado al horno, el peso específico que se use ha de estar basado en la condición similar. Cuando se trate de agregados que contengan cantidades de humedad diferentes de estas dos, el peso de agregado se expresará en función de uno cualquiera de ellos (más el agua de exceso), y en su evaluación se empleará el correspondiente peso específico, ya corresponda a material seco o a saturado y seco superficialmente. Muchos ingenieros prefieren dar las proporciones recomendadas de mezcla con base en agregados saturados y secos superficialmente. La Referencia 7 se basa en material secado al horno para determinar el volumen apisonado seco del agregado grueso. Este volumen seco se convierte a peso por medio del peso unitario apisonado seco, y luego se obtiene su peso saturado y seco superficialmente, añadiendo la cantidad de agua absorbida durante 24 horas (norma ASTM C 127) (véase el Capítulo 6).

Ensayo para determinar los vacíos

El porcentaje de vacíos del agregado se calcula, generalmente, a partir del peso unitario y el peso específico aparente, como sigue:

$$\text{Porcentaje de vacíos} = 100 \left(1 - \frac{\text{peso unitario}}{\text{peso específico aparente}} \right)$$

El peso unitario y el peso específico aparente se toman en kg/m^3 .

La condición del agregado con respecto al contenido de humedad y grado de compactación deberá establecerse siempre en conexión con la cantidad

de vacíos. En el caso de agregado apisonado y seco, el método para determinar la relación de vacíos que se acaba de indicar está descrito en la norma ASTM C 29. Otro método, usado anteriormente para determinar los vacíos, mediante la medición de la cantidad de agua requerida para llenar un recipiente de agregado, está sujeto a error, a causa del aire atrapado.

Ensayos para determinar el peso unitario

La información referente al peso por unidad de volumen de los agregados es útil para calcular su porosidad y proporciones y para convertir volúmenes a peso, o viceversa.

El peso unitario de un tipo dado de agregado, tal como se utiliza en la obra, varía con el grado de compactación y contenido de humedad. En agregado fino, la expansión del material, causada por la película de agua superficial en las partículas, puede disminuir el peso unitario hasta en un 25 por ciento.

Con el fin de proporcionar una base de medida de los agregados ordinarios que sea reproducible uniformemente, la ASTM ha adoptado un método estándar de ensayo para determinar el peso unitario de los mismos (ASTM C 29). Este ensayo consiste en compactar el agregado seco en un recipiente cilíndrico y luego pesarlo. En un método de compactación, el recipiente se llena en 3 capas, cada capa se compacta con una varilla 25 veces, luego el exceso de agregado se quita, dejándolo nivelado con la parte superior del recipiente. Los tamaños estándar de recipiente son los que a continuación aparecen:

Tamaño máximo del agregado	Recipiente		
	Capacidad dm ³ (pie ³)	Diámetro interior mm (pulg)	Altura interior mm (pulg)
25 mm (1 pulg) o menos	9.5 (1/4)	203 (8.0)	292 (11.5)
38 mm (1 1/2 pulg)	14.2 (1/2)	254 (10.0)	279 (11.0)
102 mm (4 pulg)	28.4 (1)	356 (14.0)	284 (11.2)

Cuando se trabaja con agregados de tamaño máximo superior a 38 milímetros (1 1/2 pulg), las capas de agregado se compactan, sacudiendo el recipiente en lugar de apisonar el material con la varilla. Aunque no está estipulado específicamente en el método estándar, el término "seco" deberá interpretarse, ya como saturado y seco superficialmente, o como seco al horno, dependiendo de qué base se emplee en el cálculo de la mezcla.

La norma ASTM C 29 también se refiere a la medida del peso unitario de agregado suelto seco o suelto húmedo. Tales pesos unitarios se determinan llenando de una vez el recipiente estándar en una sola capa, hasta quedar rebosante. Luego se nivela el material en exceso con la parte superior del recipiente, sin ejercer presión hacia abajo, y se procede a pesar el agregado.

El peso unitario de los agregados livianos se determina utilizando el método de colocación sin compactación del material en el recipiente, de la norma ASTM C 29. El agregado se ensaya después de secarlo al horno.

Aunque el ensayo puede hacerse con mayor precisión, los valores de peso unitario de los agregados se consideran, generalmente, exactos dentro del 1 o, quizás, el 1/2 por ciento.

Las pruebas de peso unitario del agregado son indispensables siempre que la dosificación de la mezcla esté hecha sobre esta base, y se observen cambios en el tipo de granulometría del agregado.

Expansión

Excepto cuando se utilice equipo de medición y mezclado volumétrico que cumpla la norma ASTM C 685, se debe evitar, siempre que sea posible, la medición de agregados de volumen, puesto que ocurren grandes fluctuaciones.¹⁹ Cuando es inevitable la medición por volumen, las especificaciones deberán establecer si la base de medida corresponde a volumen suelto húmedo, a suelto seco o a seco apisonado. Para calcular el número de metros cúbicos de agregado suelto húmedo que corresponde a 1 metro cúbico de agregado seco apisonado (relación denominada "factor de expansión"), es necesario determinar el peso unitario en ambas condiciones y calcular el contenido de humedad del agregado húmedo. Entonces:

$$\text{Factor de expansión} = \frac{\text{peso unitario de agregado apisonado y seco superficialmente}}{\text{peso unitario de agregado suelto húmedo}} - \left\{ \begin{array}{l} \text{peso de la humedad superficial} \\ \text{en volumen unitario de agregado suelto húmedo.} \end{array} \right.$$

Substancias y propiedades indeseables de agregados

Los ensayos requeribles por las especificaciones para determinar propiedades y substancias indeseables en los agregados son:

Ensayo	ASTM No.
Partículas livianas	C 123
Terrones de arcilla	C 142
Carbón y lignito	C 123
Partículas blandas	C 851
Durabilidad (ensayo de sulfatos)	C 88
Desgaste	C 131, C 535
Resistencia del mortero (agregado fino)	C 87
Examen petrográfico	C 295
Reactividad alcalina (barra de mortero)	C 227
Reactividad alcalina (química rápida)	C 289
Reactividad a los carbonatos	C 586
Resistencia a las heladas (ensayo de dilatación)	C 682
Cambio de volumen	C 342

En la Referencia 17 se discute en detalle lo relativo a las substancias en el agregado que tienen efecto deletéreo sobre la calidad del hormigón. Los pedernales, "barjas de chocolate" y calizas arcillosas, que sufren cambios considerables de volumen durante el humedecimiento y secamiento, o congelamiento y descongelamiento, causando descascaramiento, pueden determinarse con un examen petrográfico complementado con inspección visual, sorteo y pesado. También causan a menudo altas pérdidas en el ensayo de durabilidad con sulfatos de sodio y magnesio y en los ensayos de congelación y descongelación.

Los pedernales livianos en agregado grueso (peso específico relativo menor de 2.40) contribuyen a provocar "ampollas" en la superficie del hormigón. La norma ASTM C 33 limita tales pedernales a un máximo de 3 a 8 por ciento, dependiendo de las condiciones de exposición. Las partículas planas y alargadas que se juzgan indeseables en algunas condiciones, pueden, en forma similar, sacarse por inspección de la muestra y pesarse, para determinar su porcentaje. El examen petrográfico identificará también elementos presentes en algunos agregados, que reaccionan en forma indeseable con los álcalis del cemento; algunos de estos elementos son la calcedonia opalina, la tridimita y los vidrios volcánicos ácidos o intermedios. Las partículas blandas pueden separarse para su ensayo cuantitativo por medio de la prueba de rayado (ASTM C 851). Los materiales livianos que, junto con los blandos y débiles, usualmente le restan al hormigón resistencia y calidad, pueden separarse rápidamente por flotación en un líquido pesado como se describe en la norma ASTM C 123. Las substancias que afectan adversamente la actividad química (fraguado) del cemento son, en general, orgánicas y pueden determinarse por medio del ensayo de colorimetría.

AGUA

El agua potable es, en la mayoría de los casos, satisfactoria como agua de amasado y este es el criterio de calidad que se especifica usualmente. Por lo general, se conocerá la presencia de cualesquiera impurezas dañinas, como álcalis, ácidos, materia vegetal en descomposición, aceite, aguas de baño, o cantidades excesivas de limo. El agua de calidad dudosa deberá enviarse a un laboratorio para que se efectúen ensayos o pruebas; o, si no se dispone de tiempo, comparar la resistencia y durabilidad de especímenes de hormigón o mortero hechos con dicha agua con las de especímenes de control hechos con agua que se sabe que es satisfactoria. La norma ASTM C 94 permite usar el agua de lavado que queda dentro de las hormigoneras para la mezcla siguiente, siempre y cuando pueda medirse su cantidad con precisión.

ADITIVOS

La norma C 494 de la ASTM es la especificación estándar para los aditivos químicos (plastificantes, retardadores y acelerantes) al hormigón. Esta

especificación considera cinco tipos de aditivos con propósitos diferentes, según se indica a continuación:

- Tipo A*—Aditivos plastificantes
- Tipo B*—Aditivos retardadores
- Tipo C*—Aditivos acelerantes
- Tipo D*—Aditivos plastificantes y retardadores
- Tipo E*—Aditivos plastificantes y acelerantes

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

Un *aditivo* se define como "material diferente de agua, agregados y cemento hidráulico que se utiliza como ingrediente del hormigón o del mortero y se añade a la mezcla inmediatamente antes, o durante el amasado".²⁰ Las especificaciones pueden requerir o permitir el uso de aditivos en el hormigón con uno o más de los siguientes propósitos:*

1. Aumentar la manejabilidad sin aumentar el contenido de agua o disminuir el contenido de agua conservando la misma fluidez.
2. Acelerar tempranamente la rata de desarrollo de la resistencia.
3. Aumentar la resistencia.
4. Retardar o acelerar el fraguado inicial.
5. Retardar o reducir el desarrollo de calor.
6. Modificar la rata o la capacidad de exudación, o ambas.
7. Aumentar la durabilidad o la resistencia, en condiciones severas de exposición, incluyendo la aplicación de sales removedoras de hielo.
8. Controlar la expansión causada por la reacción de álcalis con ciertos constituyentes del agregado.
9. Disminuir el flujo capilar de agua.
10. Disminuir la permeabilidad al paso de líquidos.
11. Producir hormigón celular.
12. Mejorar la penetración y facilidad de bombeo de lechadas y el bombeo del hormigón.
13. Reducir o prevenir asentamientos, o crear expansión ligera en hormigón o mortero utilizados para rellenar espacios en columnas y vigas o en la fijación de maquinaria, llenar los ductos de cable postensionado o los vacíos en agregado precolocado.
14. Aumentar la adherencia del hormigón al acero.
15. Aumentar la adherencia entre hormigones viejos y nuevos.
16. Obtener hormigón o mortero de colores.

* Para información más detallada véanse las Referencias 20 y 21

17. Desarrollar propiedades fungicidas, germicidas e insecticidas en hormigones o morteros.

18. Impedir la corrosión de metales embebidos corroides.

19. Disminuir el costo unitario del hormigón

Por lo general, como parte de calificación de los aditivos, se efectúa un análisis de laboratorio, o se confía en lo que dicen los fabricantes. La inspección de los aditivos incluye: ver que cumplan con las especificaciones apropiadas; que sean almacenados sin contaminación o deterioro; que sean medidos con precisión e introducidos en la mezcla según esté especificado; y que se comporten como se esperaba al hacer la mezcla y por los resultados de los ensayos que se hagan. Por ejemplo, las especificaciones requerirán que el cloruro de calcio (si se usa) sea disuelto antes de añadirlo a la mezcla, para asegurar su buena distribución y una aceleración uniforme de la hidratación en toda la mezcla.

A ser posible, deberán practicarse ensayos de rutina de control de calidad para determinar la densidad, los sólidos y el pH de los aditivos.

ACERO DE REFUERZO

El acero para refuerzo del hormigón se compra, usualmente, según una de las especificaciones ASTM que están en lista en el Capítulo 22. (Véase el Capítulo 17 para lo referente a acero de preesforzamiento). La práctica estándar, en lo que respecta a compra y manejo del acero de refuerzo, está dada en la Referencia 22. En general, ~~las especificaciones de compra cubren~~ ~~requisitos de manufactura, ciertos~~ ~~requisitos químicos, ensayos de tensión~~ ~~de doblez, acabado superficial, marcación o identificación y varia-~~ ~~bles permisibles en peso.~~ Usualmente, el refuerzo es inspeccionado para calificación en la siderúrgica, y enviado al trabajo en atados marcados con etiquetas. ~~El inspector deberá verificar cada embarque para asegurar que pasó~~ ~~la inspección de la siderúrgica y que el acero no ha sido dañado ya sea por~~ ~~doblamiento o por oxidación excesiva durante el almacenamiento o en tu-~~ ~~ra.~~ Si en cualquier momento parece que el refuerzo no cumple con los requisitos de la especificación, es aconsejable enviar muestras a un laboratorio para ensayos de verificación. Una película ligera de óxido rojo no es objetable en el acero de refuerzo ordinario (de hecho su rugosidad mejora la adherencia), pero, en cambio, debe removerse toda capa gruesa consistente de escamas o laminillas, que se caen al doblar o golpear la barra con martillo. El refuerzo ha de limpiarse de cualquier aceite o mortero no adherente que haya sido derramado sobre él.

~~El acero de alto contenido de carbono, clasificado como de grado duro~~ ~~tiene más probabilidad de quebrarse durante el transporte y manejo que~~ ~~los de grado estructural intermedio, especialmente en clima frío.~~ Las pequeñas melladuras y los dobleces pueden causar concentraciones severas de esfuerzo. Se recomienda tener especial cuidado al cargar, manipular y doblar el acero, de manera que no se le cause daño al material. Las barras de refuerzo de este tipo son relativamente susceptibles a la rotura durante el doblaje, especialmente en clima extremadamente frío.

La inspección del corte, doblaje, almacenamiento, manipulación y colocación del refuerzo se describe en el Capítulo 8.

COMPUESTOS PARA EL CURADO DEL HORMIGON

A menudo se especifican compuestos para el curado del hormigón, que forman membrana, en lugar de agua de curado, o para proporcionar el curado final después de un corto periodo de curado con agua. Los compuestos de curado incluyen materiales pigmentados blanco, gris o transparente (con o sin un tinte que desaparece). La norma ASTM C 309 proporciona especificaciones estándar y referencias para los métodos de ensayo de los compuestos de curado.

La aceptación de los compuestos de curado puede basarse en la certificación de fabricantes de confianza o en ensayos de laboratorio, que aseguren el cumplimiento de las especificaciones. La inspección consiste en asegurarse que el material esté bien identificado y que no se halle contaminado, diluido o alterado en forma alguna antes de su aplicación; que el compuesto se mezcle completamente antes de usarlo y se aplique cuando las superficies del hormigón estén todavía completamente húmedas; que el hormigón formado se sature con agua antes de la aplicación; que se logre la rata de cubrimiento especificada, y que la película de compuesto permanezca inalterada durante el tiempo de curado prescrito.

MATERIALES PARA JUNTAS

Las juntas crean aberturas que generalmente deben llenarse o sellarse para impedir la entrada de polvo, agua u otras sustancias indeseables. Durante muchos años solo se disponía de masillas con base de aceite o compuestos bituminosos, y, de materiales metálicos. Los llenantes disponibles eran materiales elásticos tales como tabla de fibra, madera, caucho o corcho. Todos los materiales citados atrás todavía se encuentran en uso en algunos casos.

Para superar las desventajas e inconvenientes de los selladores de juntas tradicionales, se han desarrollado en años recientes muchos nuevos materiales de tipo "elastomérico". Estos materiales se comportan en su mayor parte como elásticos en vez de plásticos, y son flexibles en lugar de rígidos a temperaturas normales de servicio. Los materiales elastoméricos pueden moldearse en el campo o preformarse. La Referencia 23 proporciona una descripción completa y detallada del uso de tales materiales. En esta referencia se dan listas de los muchos tipos de materiales elastoméricos y sus propiedades.

Los materiales para juntas se ensayan y aprueban, por lo general, antes de su remisión a la obra, y el inspector ha de encargarse, principalmente, de verificar, al llegar ellos, que no hayan sido dañados o contaminados, que estén identificados en forma apropiada, y que se almacenen, preparen e instalen adecuadamente. Puede requerirse el envío de algunas muestras a un

laboratorio, para su ensayo, en cuyo caso el muestreo deberá ser representativo.

En la Referencia 8 se dan instrucciones sobre muestreo de los componentes líquidos y secos de masillas para el llenamiento de juntas, que deben mezclarse en obra. Como el componente líquido tiene tendencia a la separación conviene mezclarlo muy bien antes de tomar la muestra. La muestra de componente seco se obtiene mediante un partidador de muestras o por el "método del cuarteo". Todas las muestras se enviarán en tarros sellados herméticamente.

El comportamiento exitoso de cualquier sellador de juntas dependerá grandemente de una instalación apropiada. Cada paso en la construcción y preparación de la junta que va a recibir el sellador, requiere mano de obra cuidadosa e inspección concienzuda. La especificación para la obra debe establecer el tipo de sellador escogido, el método de instalación, y las características especiales requeridas en la construcción y preparación de la junta para su aplicación. La verificación de la limpieza y sequedad de cada junta, antes de colocar materiales imprimantes o selladores, es esencial. Los anchos de la junta y las temperaturas del hormigón deberán ser los supuestos en el diseño, si así se establece en las especificaciones. A falta de especificaciones sobre temperatura, se debe evitar toda instalación por encima de 32 grados centígrados (90°F) o por debajo de 4 grados centígrados (40°F). Se urge al inspector de juntas y de materiales de juntas a que se familiarice completamente con la información proporcionada en la Referencia 23.

CAPITULO 4 — MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES

La calidad del hormigón producido dependerá, en gran medida, del cuidado puesto en la conservación de la calidad de los ingredientes usados. El uso de material contaminado y pobremente gradado, o de cementos viejos sólo puede ocasionar dificultades. Problemas de rendimiento alto o bajo, de resistencia baja, y de deterioro, resultan a menudo del almacenamiento y manipulación pobre de los materiales. En la Referencia 24 se dan recomendaciones extensas en materia de transporte y manipulación.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO

Almacenamiento de cemento a granel

El silo que se utilice para almacenamiento de cemento a granel, debe estar a prueba de intemperie, y recibir ventilación apropiada, para impedir que se acumule la humedad. Su interior ha de ser liso y tener tal forma que permita la remoción de todo el cemento. A este respecto, se prefieren los conos truncados. Tablillas de flujo difusoras de aire, instaladas antes de la operación de llenamiento, constituyen un medio excelente para aflojar el cemento que se ha pegado fuertemente al silo. Se debe tener cuidado en asegurar que los agujeros de ventilación del silo no estén tupidos. La báscula de pesar cemento puede indicar resultados incorrectos cuando el pesaje se efectúa mientras un vehículo está bombeando cemento al silo, con lo cual éste queda presurizado.

Cada silo o compartimiento de almacenaje debe estar equipado con una compuerta y un sistema de transporte para la medición y éste hallarse aislado de los elementos.

En trabajos grandes, los silos deberán desocuparse e inspeccionarse periódicamente, para asegurar que no ha ocurrido un amontonamiento de cemento. Esta inspección tiene también que hacerse en el silo siempre que un nuevo tipo de cemento, o un cemento procedente de otra fuente, se coloca en él. Si en el silo se encuentra acumulación de cemento, habrá de removerse éste antes de proceder al nuevo llenamiento del recipiente.

Durante su almacenamiento y transporte a la obra, el cemento ha de quedar expuesto al aire lo menos posible, puesto que la humedad de éste causa la hidratación parcial del material. Si el cemento se aglutina ligeramente durante el almacenamiento formando terrones, puede permitirse su uso si la mayoría de ellos son suficientemente blandos como para ser aplastados en-

tre el pulgar y los otros dedos, y si los más duros se remueven mediante tamicas; todo esto siempre y cuando, no lo prohiban las especificaciones del proyecto

Transporte a granel del cemento

Si el cemento va a ser transportado en carrotanques, por hornadas, se le debe proteger adecuadamente para evitar que el viento lo disperse. Esta protección adecuada puede lograrse mediante cajas cerradas de cemento o lonas impermeables que se amarran herméticamente. Si se utilizan cajas cerradas de cemento, el inspector tiene que revisarlas periódicamente para verificar que no haya amontonamiento de cemento en ellas y que se esté utilizando una cubierta hermética. El inspector debe verificar también las tolvas de carga o las mangas utilizadas para cargar los carrotanques, o los camiones de hormigón premezclado. Es necesario acomodar bien la manga dentro del compartimento del camión, para minimizar la pérdida de cemento.

Cemento en sacos

El uso de cemento en sacos ocurre normalmente en trabajos relativamente pequeños. Cuando se utiliza cemento empacado así, debiera protegerse tanto de la humedad del terreno como de los elementos. El método preferido de almacenamiento consiste en colocarlo dentro de un edificio cerrado, sobre tarimas puestas en el piso. Si se utiliza almacenamiento externo, el inspector tiene que asegurarse de que todo el cubrimiento sea hermético al agua.

Conviene seguir un procedimiento sistemático para sacar el cemento en sacos del lugar de almacenamiento, en tal forma que el material más viejo se remueva y utilice primero.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO DEL AGREGADO

Los agregados han de mantenerse tan uniformes como sea posible en cuanto a gradación y contenido de humedad, y protegerse de la contaminación. La Referencia 24 contiene recomendaciones para el manejo y medición de los materiales, que se ilustran en las Figs. 4-1, 4-2, 4-3 y 4-4.

Cómo evitar contaminantes en los vehículos

El inspector no olvidará verificar que los vehículos usados para transportar agregados sean herméticos. Es inconveniente utilizar pedazos grandes de agregado, paja, heno o sacos, para remendar vehículos que vayan a destinarse al transporte de agregados. El inspector cuidará de que los vehículos no contengan contaminantes provenientes del transporte de cualquier otro material; de que reciban cuidadosa limpieza, y, que cuando sea necesario, se les lave para eliminar todos los contaminantes, antes de transportar los agregados.

Pilas de almacenamiento de agregado

Si los agregados van a almacenarse en pilas sobre tierra, el piso correspondiente debe estar pavimentado, o en su defecto, ponerse tabloncillos sobre el suelo, o dejar sin remover una capa inferior de varios centímetros de espesor del material. De todas maneras, debe nivelarse y apisonarse el terreno. No se ha de permitir que el cucharón de una grúa que contenga otros agregados de materiales se balancee sobre la pila de agregado. Las pilas de agregado grueso deberán levantarse en capas para impedir la segregación de tamaños y tomarse el material de ellas de tal manera que el agregado no se deslice por las paredes hasta el borde de la pila. La manipulación excesiva tiende a causar segregación y degradación. Hay que buscar que las pilas adyacentes queden claramente separadas, ya sea por un amplio espacio o por particiones bien definidas, y que los agregados provenientes de diferentes fuentes no se mezclen o almacenen en la misma pila, porque esta práctica puede causar variación objetable en el hormigón. Cada agregado deberá utilizarse hasta que se acabe, y para el agregado siguiente se han de ajustar las proporciones, si es necesario. Se prefiere, con mucho, la medición por separado, a la combinación de materiales por medio de cucharones de ostra o de bulldózers. Los resultados obtenidos con estos últimos métodos rara vez son suficientemente uniformes y confiables.

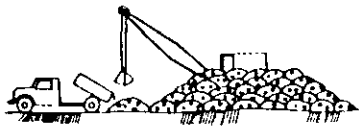


Fig. 4-1—En todas las operaciones de almacenamiento y manejo, los agregados se han de conservar limpios y separados. La segregación debe ser mínima.

No es buena práctica la que permite que el agregado caiga desde una altura en forma tal que las partículas más grandes vayan más allá de las más pequeñas, o que sean separadas por el viento, según su tamaño. Si la altura de caída del agregado es grande se deben utilizar pantallas o ductos escalonados para romper la caída (Fig. 4-2), e impedir de esta manera segregación y rotura excesivas. La segregación del agregado fino que esté lo suficientemente seco como para fluir libremente, puede reducirse, humedeciéndolo.

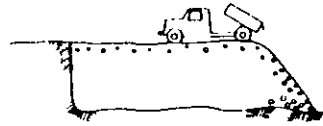
Tamizado final

El tamizado final de los agregados remueve los finos excesivos que estén presentes y ayuda a mantener una gradación uniforme y continua, asegurando, por consiguiente, uniformidad en la producción del hormigón. Se recomienda esta práctica, al menos, para todos los proyectos grandes. Al instalar tamices finales en las plantas de mezcla se eliminan muchas de las preocupaciones asociadas con la precisión del tamizado primario, y con el manejo y almacenamiento en pilas del material. Si, además, se incluyen barras aspersoras, los efectos de contaminación resultan minimizados. Cuando se usa tamizado final, es preciso alimentar las cribas con cantidades aproximadamente proporcionales de cada tamaño de agregado, en lugar de un solo tamaño a la vez. De este modo se logra que la gradación de cada tamaño de agregado en los silos de almacenamiento sea más uniforme, puesto que la separación de los tamices secundarios varía algo respecto a la de los primarios.



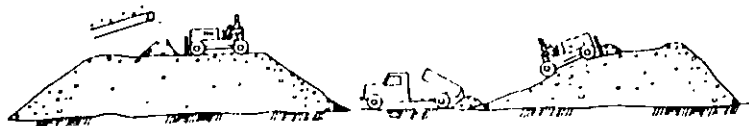
PREFERIBLE

GRUA U OTRO MEDIO DE COLOCAR EL MATERIAL EN LA PILA, EN UNIDADES NO MAYORES QUE LA CARGA DE UN CAMION, EN FORMA TAL QUE PERMANEZCA EN SU SITIO Y NO RUEDE PENDIENTE ABAJO.



OBJETABLE

MÉTODOS QUE PERMITEN QUE EL AGREGADO RUEDE PENDIENTE ABAJO A MEDIDA QUE SE DEPOSITA EN LA PILA, O QUE EL EQUIPO DE ACARRÉO OPERE REPETIDAMENTE AL MISMO NIVEL.

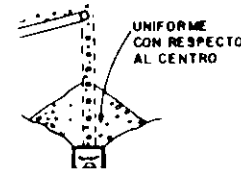


ACEPTABILIDAD LIMITADA - GENERALMENTE OBJETABLE

PILA CONSTRUIDA RADIALMENTE EN CAPAS HORIZONTALES POR UN "BULDOZER" QUE OPERA SOBRE EL MATERIAL A MEDIDA QUE CAE DE UNA BANDA TRANSPORTADORA PUEDE REQUERIRSE INSTALAR UN ESCALONAMIENTO EN EL SITIO.

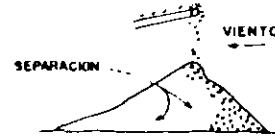
"BULDOZER" QUE APILA CAPAS SUCESIVAS EN PENDIENTES NO MENORES QUE 5:1 ESTOS MÉTODOS RESULTAN TAMBIÉN OBJETABLES, A MENOS QUE LOS MATERIALES SEAN MUY RESISTENTES A LA ROTURA.

Fig. 4-2—Métodos correctos e incorrectos de almacenamiento de agregados.



CORRECTO

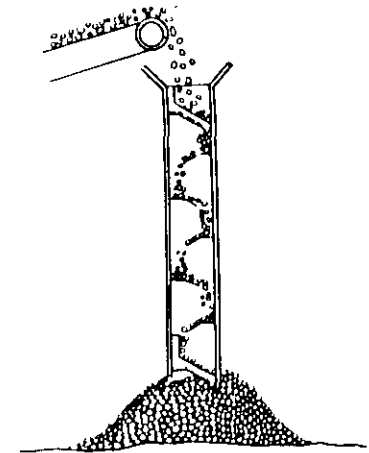
CHIMENEA QUE RODEA AL MATERIAL QUE CAE DEL EXTREMO DE UNA BANDA TRANSPORTADORA, CON EL FIN DE EVITAR QUE EL VIENTO SEPARÉ LOS MATERIALES FINOS DE LOS GRUESOS SE LA PROVEE DE LAS ABERTURAS NECESARIAS PARA QUE LOS MATERIALES SE DESCARGUEN EN LA PILA A DIFERENTES NIVELES.



INCORRECTO

LA CAIDA LIBRE DEL MATERIAL DESDE EL EXTREMO ALTO DE LA BANDA PERMITE QUE EL VIENTO SEPARÉ EL MATERIAL FINO DEL GRUESO

ALMACENAMIENTO DE AGREGADO FINO O SIN PROCESAR (MATERIALES SECOS)



CUANDO SE APILAN AGREGADOS DE TAMAÑO GRANDE, DEPOSITADOS POR BANDAS TRANSPORTADORAS ELEVADAS, LA ROTURA SE MINIMIZA CON EL USO DE ESCALONAMIENTOS.

ALMACENAMIENTO DE AGREGADO PROCESADO

NOTA SI NO ES POSIBLE EVITAR, CON LOS MÉTODOS UTILIZADOS DE APILAMIENTO, LA PRESENCIA DE UN EXCESO DE FINOS EN PORCIONES DE AGREGADO GRUESO, SERÁ NECESARIO EFECTUAR UN CRIBADO FINAL ANTES DE TRANSFERIR EL MATERIAL A LA PLANTA DE DOSIFICACION

Fig. 4-2 (continuación)—Métodos correctos e incorrectos de almacenamiento de agregados.

Almacenamiento de agregados en silos

Se aconseja dar al fondo del silo una forma que facilite la descarga uniforme, y que cuando se está llenando el silo, el agregado caiga verticalmente en la mitad del mismo. Este se ha de mantener, en todo momento, tan lleno como sea posible.

Arena y agregados livianos

Se permitirá que la arena lavada drene por todo el tiempo que sea necesario hasta lograr un contenido de humedad prácticamente uniforme, de acuerdo con la Referencia 24, Sección 2.1.4.

Los requisitos para almacenamiento en pilas de agregados livianos son los mismos que para agregados de peso normal, excepto, que deberá tenerse especial cuidado para asegurar que no ocurra trituration del material. Por la posible alta absorción del agregado liviano y su efecto sobre la pérdida de asentamiento, puede ser necesario empapar las pilas de almacenamiento antes de usarlas o añadir una barra de aspersión sobre las tolvas de carga.

ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE MATERIALES PUZOLANICOS

Las puzolanas y otros materiales cementosos deberán manejarse y almacenarse esencialmente en la misma forma que el cemento. Muchas puzolanas requieren dispositivos de almacenamiento más herméticos para impedir la filtración, pero no son tan susceptibles al deterioro como el cemento.

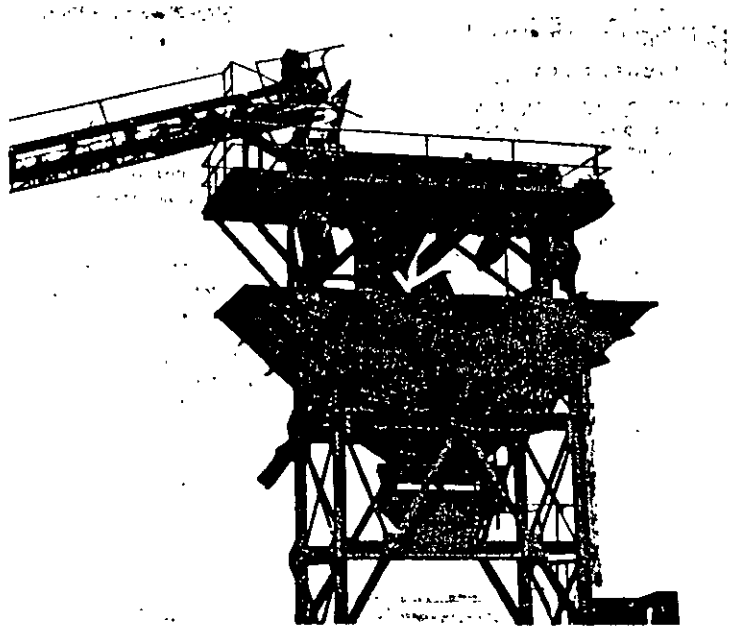


Fig. 4-3—Las variaciones de consistencia se minimizan cuando al agregado grueso se le da un cribado final en la planta de medición y se remueven los tamaños menores por medio de cribas vibratorias que operan horizontalmente.

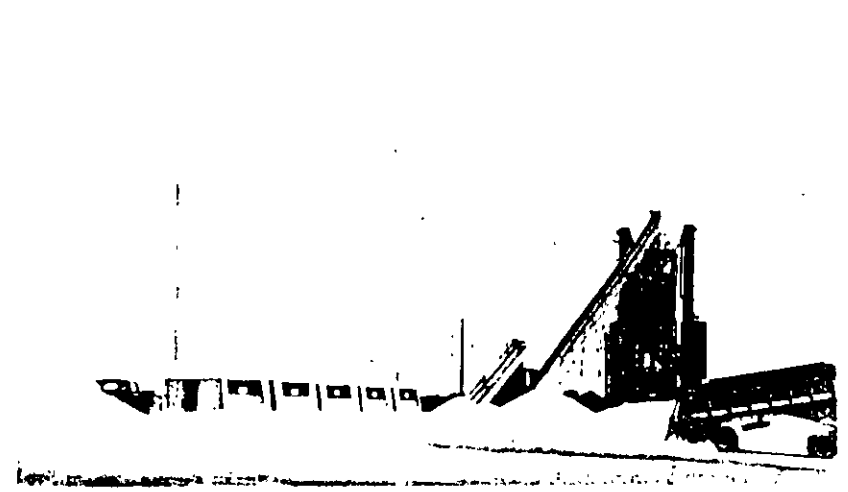


Fig. 4-4—Planta productora de mezclas de hormigón y almacenamiento de agregados. Los silos contienen agregados de diferentes tamaños.

ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE ADITIVOS

Los aditivos fabricados en forma líquida han de almacenarse en tambores o tanques, bien sellados y protegidos del congelamiento. Los aditivos fabricados en forma de polvo se pasan normalmente a forma líquida antes de aplicarlos. Los tanques de mezcla y dosificación deberán equiparse con equipo de agitación para mantener los sólidos en suspensión, puesto que muchos aditivos tienden a asentarse en la solución. La agitación deberá operar antes y durante la operación de medición. Se recurrirá al uso de hidrómetros para verificar que la solución tiene la concentración requerida. A causa de las posibilidades de error que involucra lo anterior, se recomienda más bien el uso de aditivos fabricados en forma líquida.

Los requisitos para almacenamiento de aditivos en polvo serán los mismos que para el almacenamiento de materiales cementosos.

En las Referencias 20 y 21 se dan recomendaciones detalladas para el almacenamiento y manejo de aditivos.

CAPITULO 5 — FUNDAMENTOS DEL HORMIGON

Se ha dicho que el inspector debe "saber de hormigón", o sea que sepa no solo *cómo* hacer las cosas sino también el *por qué*. Esta sección del manual presenta algunos de los hechos básicos del hormigón que afectan el trabajo de inspección. Se recomienda al inspector que, para el estudio detallado de principios y prácticas, acuda a las Referencias 8, 17, 19, 25, 26 y 27.

CLASIFICACIONES GENERALES DE LA CONSTRUCCION DE HORMIGON

La mayoría de las construcciones de hormigón pueden dividirse en: trabajos con formaletas, losas de piso y hormigón masivo. Dentro de estas divisiones generales, se pueden hacer subdivisiones, y los capítulos posteriores tratarán de requisitos de inspección para dichas divisiones. Los fundamentos del hormigón son, sin embargo, aplicables a todos los tipos de construcción, y las tres grandes divisiones generales señaladas aquí serán suficientes para la presentación de los fundamentos comunes.

Los elementos fundidos con formaleta como es el caso de vigas, columnas, paredes, arcos y algunos revestimientos de túneles van, por lo general, reforzados; el espacio para la colocación del hormigón es restringido y, en algunos casos, puede necesitarse un tratamiento superficial después de la remoción de la formaleta. Las losas de pavimento y de piso tienen una superficie expuesta relativamente grande, cuyo acabado y protección debe hacerse tan pronto se la coloque.

Aunque el hormigón masivo en presas, muelles y cimentaciones, tiene una relación superficie-volumen relativamente baja, merece considerarse la adherencia entre las diferentes partes fundidas y la elevación de temperatura debida al calor de hidratación del cemento.

REQUISITOS DEL HORMIGON

Los principales requisitos del hormigón endurecido son: que sus elementos constituyentes estén dispersados uniformemente, que tenga la resistencia requerida, que sea impermeable y resistente al clima, al desgaste y a otros agentes destructores a los que pueda estar expuesto, y que no se contraiga excesivamente al enfriarse o secarse. Puede requerirse que el hormigón endurecido tenga una apariencia o acabado arquitectónico particular, alta resistencia a la abrasión o a productos químicos agresivos; alta impermeabilidad al agua o a otros líquidos. En algunos usos, se requiere que el hormigón cum-

pla requisitos especiales: por ejemplo que sea resistente al fuego, ligero en peso, especialmente liso o que su acabado superficial tenga una textura hecha a propósito. El conocimiento fundamental de las partes esenciales del hormigón capacita al diseñador para cumplir tales requisitos hasta donde sea posible, y aún más al inspector, para que verifique su obtención.

NATURALEZA DEL HORMIGON

En el hormigón recién mezclado todos los sólidos granulares, inclusive el cemento, están separados temporalmente por delgadas capas de agua. Esta separación de las partículas y el efecto lubricante de las capas de agua, junto con ciertas fuerzas entre aquellas, hacen que la mezcla sea manejable.

Es conveniente pensar en el hormigón en términos de su dos componentes principales: pasta (o pegante) y agregado mineral; con las partículas individuales de este último embebidas en la pasta y separadas por ella. La pasta es una mezcla de cemento, aire y agua, como se muestra en la Fig. 5-1. El volumen de toda la mezcla es igual al de la masa de cemento, agua y agregado, más el del aire incorporado, o atrapado, o de ambos. El hormigón puede tener o no, uno o más aditivos.

AIRES 5%	AGUA 15%	CEMENTO 10%	AGREGADO (FINO Y GRUESO) 70%
PASTA			RELLENO MINERAL INERTE

Fig. 5-1—Volúmenes de los componentes de una mezcla típica de hormigón con aditivo incorporador de aire.

Todo hormigón, no importa qué tan bien se compacte durante la colada, contiene algo de aire, conocido como "aire atrapado". Su cantidad en hormigones bien compactados de peso normal es, por lo general, inferior al 2%, en volumen. Con proporciones de mezcla y características de agregado fijas, el contenido de aire atrapado es tanto mayor cuanto más dura sea la consistencia y más pequeño el agregado. Normalmente, el aire atrapado existe en el hormigón en forma de huecos dispersos que, por lo general, tienen tamaños comparables a los de los granos más grandes de arena. Tales huecos son característicos del hormigón y su presencia no es perjudicial ni se puede evitar.

Además del aire atrapado, el hormigón puede contener poros introducidos intencionalmente por medio de aditivos incorporadores de aire. Tales aditivos forman en la pasta de cemento, durante la mezcla, gran número de pequeños huecos esféricos, comparables, en tamaño, a los granos más grandes de cemento y a los más pequeños de arena.

Los poros ayudan a la pasta en su función de hacer que la mezcla sea manejable. La tensión superficial y el agente activo que se absorbe en las fronteras de los poros de aire atrapado, le imparten a la pasta mayor "cuerpo"

y "cohesión", siendo estos efectos tanto más notables cuanto mayor sea la cantidad de aire presente.

El aire atrapado que producen los aditivos incorporadores de aire es esencial para obtener resistencia a las heladas en aquellos casos en que el hormigón endurecido está muy saturado y tiene poca oportunidad de secarse antes de quedar expuesto a temperaturas de congelamiento. Por otra parte, el aire atrapado en el hormigón, aumenta substancialmente su durabilidad, reduce el descascaramiento de los pavimentos, aumenta su cohesión y manejabilidad, mejora ligeramente su resistencia a los sulfatos al reducir la permeabilidad y, disminuye la segregación y la exudación. A lo largo de este manual se dan recomendaciones sobre el uso de hormigón con aire atrapado.

Sedimentación

Después de la compactación del hormigón, si no se le perturba, los sólidos presentes se asentarán lentamente a través de la porción fluida de aquél, dejando en la superficie, por lo general, una capa de agua. A este fenómeno se le conoce con el nombre de *exudación*. Como resultado de la sedimentación, los sólidos de la parte inferior de los miembros quedan más apretados que los de otros sitios. Durante el proceso, la zona compactada aumenta gradualmente en espesor hasta llegar a la superficie, a menos que el fraguado de la pasta de cemento detenga la sedimentación. En este último caso, la parte superior del hormigón queda menos compacta que la inferior, o lo que es lo mismo, su contenido de agua y de poros resulta comparativamente más alto. La sedimentación y la exudación resultante hacen que el volumen del hormigón endurecido sea un poco menor que el que tenía recién colocado y esto debe tenerse en cuenta al cubicar las tandas. La magnitud de la sedimentación y de la exudación resultante están influenciadas por la fricción contra las formaletas, la temperatura y el manejo; también, y mucho, por las proporciones de la mezcla, el aire atrapado, la consistencia y los procedimientos de compactación. Las mezclas dosificadas correctamente y las de bajo asentamiento se sedimentan menos que las mal dosificadas o con alto asentamiento.

El proceso de sedimentación se altera en presencia de aire atrapado, reduciéndose, por lo general, la magnitud y velocidad de la sedimentación. En algunos casos la reducción es tal, que el agua de exudación se evapora a medida que aparece, y de esta forma la incorporación de aire elimina la exudación visible.

En clima cálido y seco, la exudación puede ayudar a prevenir secado superficial y contracción plástica excesivos, pero, por lo general, se prefiere eliminarla. La exudación demora la ejecución del acabado puesto que las operaciones de alisado, bien sea con llana metálica o de madera, no deben hacerse sobre una superficie húmeda. A menos que el hormigón se vuelva a vibrar, lo más tarde posible y que nuevamente adquiera estado plástico por vibración, es probable que la exudación cause la formación de capas de agua y, en últimas, fisuras por debajo de las partículas de agregado y del acero de refuerzo, con las pérdidas consiguientes en resistencia e impermea-

bilidad. De esta consideración se deduce que la exudación no es ventajosa, a pesar de que, en teoría, reduce la relación agua-cemento y que, por lo tanto, debería mejorar la calidad del hormigón. La incorporación de aire reduce, a menudo, la exudación a la mitad y el uso de puzolanas también la baja considerablemente.

Cuando las condiciones de secado son muy severas, la exudación puede continuar por debajo de la superficie de alisado, ya que ésta, por el secamiento, se habría endurecido lo suficiente como para permitir el uso de llanas metálicas o de madera, sin que el hormigón inferior se haya endurecido. Una superficie acabada en tales condiciones es susceptible a descascaramiento, causado por la formación de una delgada capa de agua por debajo de la superficie endurecida, proveniente de la continua exudación de las capas inferiores de hormigón, que se hallaban todavía en estado relativamente plástico mientras que ofrecían una superficie suficientemente dura para el alisado. Cuando se coloque hormigón con superficies alisables en condiciones de secamiento severo, es muy importante aplicar cubrimiento plástico o fumigación fina, para impedir que la superficie se endurezca más rápido que el interior, y el acabado tendrá que demorarse lo más posible. El mismo problema puede ocurrir también en clima frío, cuando se funde una losa de hormigón sobre sub-base en extremo fría, mientras que la superficie está sometida a calefacción artificial.

Composición de la pasta

Puesto que la pasta rodea y separa las partículas individuales de agregado, la resistencia del hormigón está limitada por el más débil de los tres ítems siguientes: resistencia de la pasta, resistencia del agregado y resistencia de la adherencia que se desarrolla entre pasta y agregado.

Al interponerse la pasta, el entrapado de los agregados no contribuye apreciablemente a la resistencia a compresión del hormigón endurecido, pero sí a la resistencia a flexión, que es importante en pavimentos. Cuando los agregados son satisfactorios, el agua de percolación y otros agentes perjudiciales deben actuar sobre la pasta o pasar a través de ella. Algunos de los elementos constitutivos de la pasta endurecida son solubles en agua, y puesto que la rata de disolución de estos elementos disminuye mucho al aumentar la densidad de la pasta, es de desear que ésta sea densa y tenga relación agua-cemento baja, cuando el hormigón va a estar en contacto prolongado con agua blanda o que contenga cloruros, sulfatos, ácidos u otros productos químicos agresivos.

La resistencia y densidad de la pasta dependen principalmente de la relación agua-cemento (véase la Fig. 5-2), y del grado de hidratación que alcance el cemento. Para asegurar que dicha hidratación llegue a un nivel suficiente, es preciso limitar la relación agua-cemento y proporcionar abundante curado.

La relación agua-cemento se expresa a menudo en términos de litros de agua por saco de cemento, pero es mejor indicarla como una relación de pesos, i.e., kg de agua por kg de cemento. En el sistema inglés de unidades, el número de galones de agua por saco (94 lb) de cemento se obtiene multi-

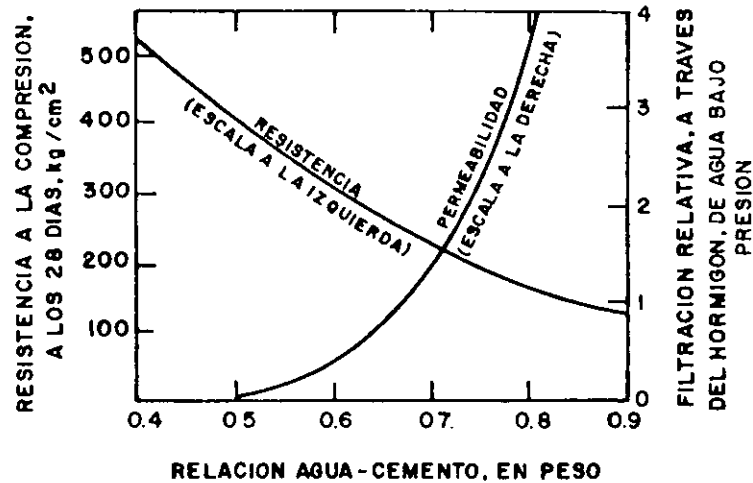


Fig. 5-2—El hormigón de baja relación agua-cemento es más fuerte e impermeable. La gráfica tiene sólo el propósito ilustrativo de mostrar tendencias; los valores varían con los materiales y las condiciones de ensayo.

plicando la relación agua-cemento, expresada como relación de pesos, por 11.27.

El proceso de endurecimiento

En las Referencias 28 y 29 se puede leer una discusión más detallada de los procesos de fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento. Se sabe que el producto principal de reacción del proceso de endurecimiento tiene configuración de gel, formado de agua y los constituyentes reactivos de las partículas de cemento. Si la pasta se mantiene húmeda, este proceso de hidratación del cemento y formación del gel, continúa a velocidades cada vez menores, mientras haya humedad. Si, en cambio, la pasta no se conserva húmeda, la hidratación del cemento cesa tan pronto el agua evaporable se escapa de aquella; de ahí la importancia que tiene un curado adecuado.

Después de un curado inicial adecuado, la hidratación del cemento continúa durante un tiempo variable, que depende de la temperatura ambiente y de la accesibilidad a una fuente externa de agua. Cuando se cura hormigón común durante un mes en condiciones de humedad de laboratorio, más del 80 por ciento del cemento alcanza a hidratarse. El porcentaje de hidratación está influido por la molienda del cemento, alcanzando los cementos más finos una hidratación más completa. Sin embargo, en condiciones de campo, el hormigón colocado en secciones delgadas y el superficial pueden secarse parcialmente en pocos días. De ahí en adelante el cemento puede no tener más oportunidad para hidratarse en forma continua que la proporció-

nada por la lenta migración del agua de una subrasante con la cual se halle un contacto, o por la humedad obtenida durante períodos de lluvia u otras condiciones de humedecimiento. Por consiguiente, sólo si se tienen condiciones favorables de humedad, la hidratación del cemento continuará durante muchos años.

Las ratas de desarrollo de resistencia son algo diferentes de las de hidratación, aunque ambas están relacionadas. A temperatura normal, las primeras etapas de hidratación producen relativamente poca resistencia. En condiciones normales de laboratorio, en la primera semana se alcanza, aproximadamente, la mitad de la resistencia última a compresión del hormigón y al cabo del primer mes, aproximadamente tres cuartos de ella, siempre y cuando se haya usado cemento Tipo I. Puesto que la ganancia en resistencia se debe a un aumento en el grado de hidratación del cemento, el secado impide tanto el desarrollo de resistencia como el progreso de la hidratación. Sin embargo, en sitios en donde se puedan presentar temperaturas inferiores a 0°C, es ventajoso algún secamiento antes de la exposición y después de haber sido protegido para su curado, ya que el hormigón saturado se daña más fácilmente por el congelamiento.

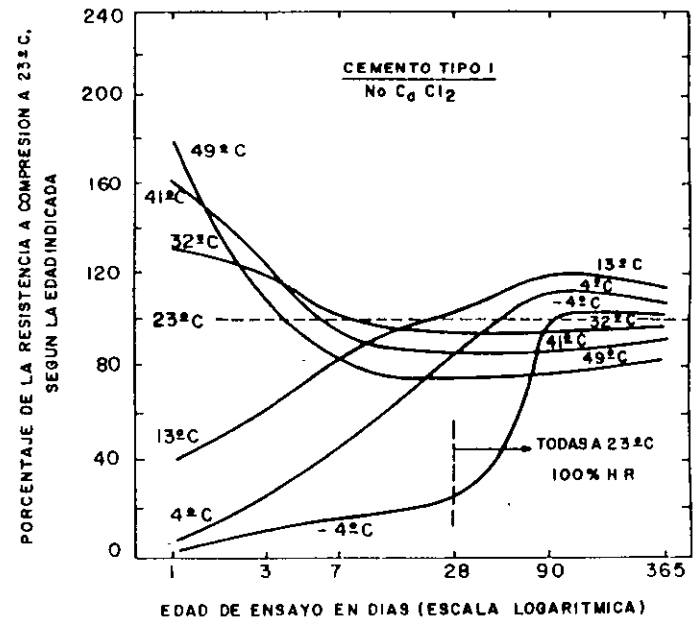


Fig. 5-3—A edades tempranas, mientras mayor sea la temperatura de curado, mayor será la resistencia. Sin embargo, altas temperaturas de curación pueden causar resistencia relativamente bajas en edades posteriores.

El aumento de la temperatura ambiente acrecienta la rata de hidratación. También se modifican las características físicas de los productos de la hidratación; mientras mayor sea la temperatura ambiente, mayor será el cambio, especialmente a edades tempranas. La modificación del gel debida a temperaturas altas aplicadas al comienzo es tal que baja la resistencia última del hormigón (Fig. 5-3).

Calor de hidratación

La reacción entre los elementos constitutivos del cemento portland y el agua está acompañada de liberación de calor; una parte del mismo escapa por la superficie de la masa de hormigón, pero otra queda retenida y se manifiesta con incremento de temperatura. Los aumentos excesivos de ésta son indeseables, pues pueden disminuir la resistencia y colaborar a que se originen esfuerzos causantes de grietas al descender la temperatura posteriormente, en particular, si la masa está restringida parcialmente y existen diferencias de temperatura entre los varios puntos de ella. En la mayoría de las estructuras de hormigón el aumento de temperatura es pequeño y de poca consecuencia. En grandes masas de hormigón, en las que el calor escapa lentamente, la temperatura se eleva en forma similar a la indicada en la Fig. 5-4. Se puede ver que el incremento de temperatura depende del tipo de cemento y es, también, aproximadamente proporcional al contenido de cemento del hormigón.

Para controlar las temperaturas del hormigón en masa, se han adoptado varios métodos, entre ellos: el uso de mezcla pobre, de cemento de bajo calor de hidratación, y de un aditivo plastificante reductor de agua para disminuir el contenido de cemento; el reemplazo de parte de éste por puzolana (véase la norma ASTM C 618), el enfriamiento previo de los materiales o

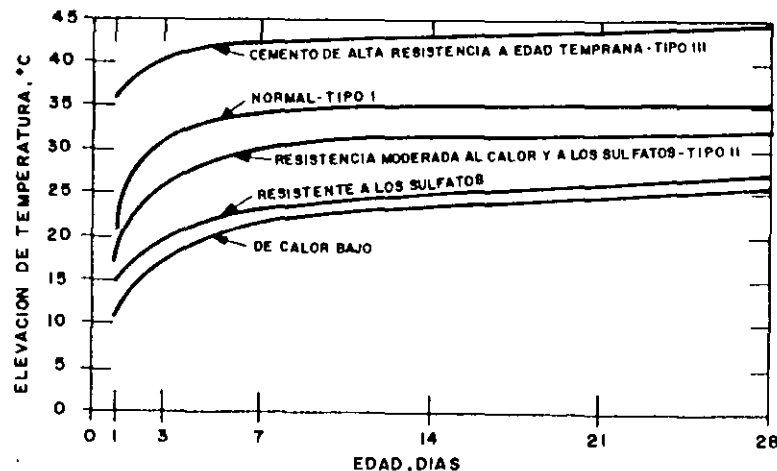


Fig. 5-4—Elevación de temperatura del hormigón, cuando no hay pérdida de calor, para varios tipos de cemento (233 kg/m^3 , 376 lb/yd^3).

el reemplazo por hielo de parte del agua de amasado. Otras medidas consisten en: programar, bien las coladas durante los períodos más fríos del día, o en las estaciones más frías; bien, la colocación del material en forma tal que cada capa pueda enfriarse antes de colocar la siguiente, y en remover el calor por medio de tubos embebidos por los cuales se hace circular agua fría.

Curado y protección

El período de curado positivo que se exige en las especificaciones tiene por objeto asegurar la obtención de la resistencia potencial y prevenir la formación de grietas superficiales, causadas por la rápida pérdida de agua y la contracción resultante que ocurre cuando el hormigón no ha adquirido todavía buena resistencia y es incapaz de resistir los esfuerzos de contracción del fraguado. Poco después de terminado el curado especificado, la hidratación del cemento de vigas de sección delgada, columnas y losas, que no estén en contacto con agua o tierra húmeda, se reduce en tal forma, que se vuelve insignificante en la superficie y sus proximidades.

Cuando un miembro está protegido de la lluvia u otra agua libre, la hidratación puede continuar a ratas significativas, en las partes ya secas del hormigón, únicamente si la humedad ambiente relativa está bastante por encima del 80 por ciento. Por otra parte, los miembros de sección delgada en contacto con tierra húmeda u otro elemento con agua libre, como es el caso de los muros de contención y losas de pavimento, continuarán hidratándose a ratas significativas. En tales circunstancias, el propósito principal del curado especificado es prevenir la rápida extracción de agua al comienzo, que ocasionan las subrasantes secas, el sol y el viento, de manera que se asegure la pronta obtención de la resistencia especificada y se reduzcan los efectos de la contracción del fraguado. Es altamente deseable que la hidratación del cemento ocurra más allá de lo necesario para obtener la resistencia requerida, por el margen adicional de calidad que produce.

La autodesecación (remoción del agua existente en el hormigón por hidratación del cemento) de mezclas muy ricas puede adquirir importancia cuando se cura el hormigón formado por medio de compuestos comerciales de curado, del tipo que forma membrana. Los compuestos disponibles tan solo retardan la pérdida de agua; no proporcionan sellado perfecto ni suministran agua. Sin embargo, cuando se aplican con prontitud y en forma apropiada a mezclas de proporciones ordinarias, pueden retener el agua evaporable durante un tiempo lo suficientemente largo como para que el hormigón alcance su resistencia especificada en un período aceptable, y poco más.

En el Capítulo 10 se da información más detallada tanto sobre el curado como también sobre la protección que necesita el hormigón en condiciones climáticas frías, normales y cálidas.

RESISTENCIA A LAS HELADAS

Entre las causas naturales que pueden desintegrar las estructuras expuestas de hormigón, la más común es la acción de congelación y descongela-

ción, especialmente, cuando el hormigón está saturado en el momento de la primera. En algunas circunstancias resultan vulnerables, tanto la pasta endurecida de cemento como las partículas de agregado.

Naturaleza del daño causado por las heladas

La pasta de cemento normal es vulnerable a las heladas porque, cuando hay saturación de éstas, la expansión del agua congelable produce un incremento en el volumen de la pasta que sobrepasa la cantidad de expansión que puede soportar sin daño. Por otra parte, algunas partículas de agregado que tienen poros lo suficientemente grandes como para permitir la entrada lenta del agua, pero no tanto como para que ésta salga rápidamente, aliviando así la presión cuando comienza el congelamiento, pueden tener más agua congelable en el momento en que se presente la congelación, que la que están en capacidad de acomodar. Inclusive, partículas de agregado que no se verían afectadas de otra manera por el congelamiento, pueden contener agua, virtualmente sellada dentro de sus poros por la densa pasta de cemento que las rodea, que al congelarse no tiene más camino que romper la piedra, o la pasta, o ambas, y en consecuencia, perjudicar al hormigón si efectivamente se congela cuando los poros están llenos o casi llenos.

En la mayoría de los casos el hormigón expuesto no permanece saturado. Por ejemplo, un pavimento o muro de contención que se mantenga en contacto, de un lado con tierra húmeda y del otro con aire, no estará, por lo general, en estado de saturación de agua, puesto que, durante la mayor parte del tiempo, la rata de evaporación supera la rata de recobro de humedad. Mientras menor sea la porosidad de la pasta, mayor será la resistencia del hormigón a las heladas.

Protección con aire incorporado

La pasta producida normalmente en el hormigón, por contener agua congelable, no puede soportar por largo tiempo la acción del congelamiento después de saturarse. Sin embargo, si se procura que dicha pasta contenga gran número de poros de aire, pequeños y muy próximos, mediante el uso de un aditivo incorporador de aire, el congelamiento no dañará la pasta aunque la porción de ella que rodee los poros esté saturada de agua. Para que sean efectivos, los poros inducidos deben ser tan numerosos que la distancia máxima calculada entre cualquier punto de la pasta y la superficie de un poro de aire resulte menor que 0.2 mm.

Normalmente, tal espaciamiento no ocurre en forma natural; así que debe producirse mediante la utilización de agentes aireantes.

En general, la cantidad de aditivo incorporador de aire requerida por un hormigón sujeto a congelamiento severo, es la que produzca, en el hormigón de la hormigonera, los porcentajes totales de aire incorporado que figuran en la tabla siguiente (todos ellos calculados sobre la base de lograr el espaciamiento de poros mencionado atrás, que es lo común con agentes incorporadores de aire de uso normal):

Tamaño máximo del agregado grueso mm (pulg)	Porcentaje total de aire
9.5 (3/8)	7 1/2 ± 1 1/2
19 (3/4)	6 ± 1 1/2
38 (1 1/2)	5 1/2 ± 1 1/2
76 (3)	4 1/2 ± 1 1/2
152 (6)	4 ± 1 1/2

Las opiniones están divididas en lo que respecta a permitir en hormigones de alta resistencia (más de 390 kg/cm², 5500 lb/pulg²), contenidos de aire menores que los dados en la tabla. El Comité 201 del ACI cree que los contenidos de aire se pueden reducir en aproximadamente 1 por ciento, siempre y cuando existan datos experimentales o experiencia que apoye tal decisión, para casos particulares de combinación de materiales, prácticas constructivas y exposición. [Para agregados con tamaño máximo superior a 38 mm (1 1/2 pulg), esta reducción se aplica a la fracción de la mezcla con tamaño máximo inferior al límite indicado.]

CONTRACCION Y EXPANSION

El hormigón se contrae cuando se seca y se expande al humedecerse. Cuando se conserva continuamente húmedo, se expande lentamente por varios años, pero tanto la cantidad total como la rata de expansión son, por lo general tan pequeños, que se considera que el volumen permanece constante. Sin embargo, es usual que el hormigón no se mantenga continuamente húmedo, sino que esté sometido a pérdida de agua y a la subsecuente contracción, en vez de que se expanda. Por otra parte, puesto que una porción de la contracción debida al secado inicial es irreversible, el máximo volumen en la vida de la estructura se presenta, en condiciones ordinarias, cuando el hormigón está recién fraguado.

Tan pronto se haya secado el hormigón hasta tener un contenido constante de agua en condiciones atmosféricas, una disminución de humedad le hará perder agua y un aumento le hará ganarla, lo que significa que la pasta de cemento endurecida es higroscópica. La pasta y el hormigón del cual forma parte se contraerán o hincharán con cada cambio de contenido de agua.

Al cambiar de estado saturado a seco (con humedad relativa del 50 por ciento), un hormigón promedio se contraerá alrededor de 6 cm en 100 m, o sea, 0.06 por ciento. Esto equivale, aproximadamente, a la cantidad de contracción que produce una caída de temperatura de 55°C (100°F).

Muchos factores diferentes (como el cemento o agregado particular en uso, o la porosidad del hormigón) influyen sobre la cantidad de contracción en condiciones dadas de secamiento, pero el más importante es la cantidad total de agua en la mezcla original. Se ha encontrado en mezclas diferentes hechas con los mismos materiales que existe buena correlación entre el contenido total de agua del hormigón fresco y la contracción de secamiento del

hormigón endurecido (Fig. 5-5); se puede ver que el efecto del contenido total de agua es grande.

Cuando un miembro de hormigón está restringido contra el encogimiento, bien sea por la subrasante, el refuerzo, o conexiones estructurales con otros miembros, tiende a agrietarse como resultado de la contracción de secamiento o de los efectos combinados de los cambios térmicos y de secamiento. Más aún, cuando en un miembro estructural la superficie del hormigón endurecido se seca más rápido que el interior, se originan esfuerzos diferenciales que pueden causar la formación de una red de grietas extensibles hacia adentro en una corta distancia, a partir de la superficie. El secado desigual de superficies opuestas de losas delgadas con poco o ningún refuerzo, como es el caso de los pavimentos, puede causar que aquellas se "ondulen", especialmente en los bordes y esquinas (fenómeno descrito a veces como "alabeo", aunque este término es más apropiado para describir desplazamientos similares, causados por movimientos de la subrasante).

Los cambios de volumen del hormigón debidos a variaciones de temperatura son tan importantes para el comportamiento de las estructuras, como

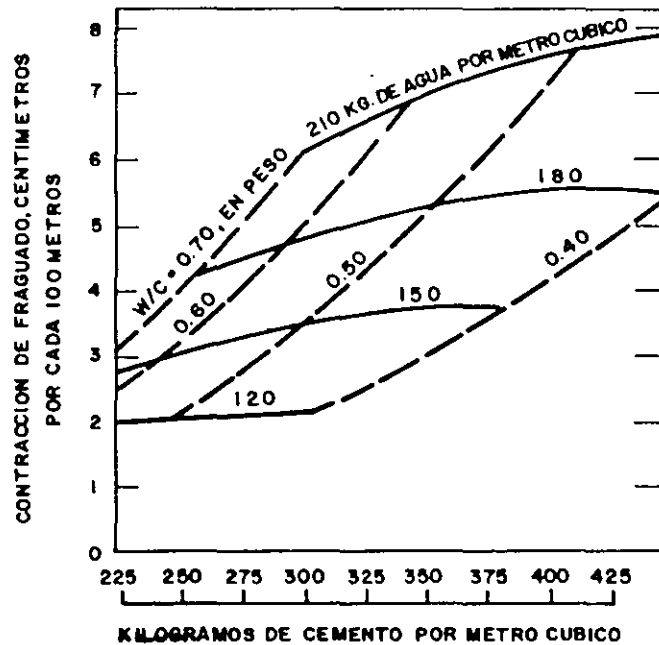


Fig. 5-5—Interrelación entre la contracción de fraguado, el contenido de cemento, la relación agua-cemento y el contenido de agua del hormigón. Sólo tiene propósito ilustrativo, a fin de indicar tendencias; los valores cambiarán con los materiales y las condiciones de secamiento.

lo es la contracción por secamiento. Las magnitudes relativas figuran atrás [una caída de 55°C (100°F) causa aproximadamente la misma contracción que el pasar de un estado saturado a uno seco.] El restringir la contracción térmica puede causar agrietamiento en los miembros estructurales o en las losas; por eso, es necesario tomar medidas para minimizar el agrietamiento térmico. En construcciones de hormigón reforzado, el refuerzo que se emplea para resistir cargas, generalmente, cumple dicho propósito. Sin embargo, en losas con poco o ningún refuerzo, es preciso formar o cortar juntas de adecuada profundidad, a intervalos apropiados, que proporcionen alivio de esfuerzos en sitios planeados y eviten un agrietamiento incontrolado. A menudo se diseñan miembros que no requieren refuerzo estructural, con un ligero "acero de temperatura", simplemente para controlar el agrietamiento térmico, mediante la producción de muchas grietas pequeñas, insignificantes, en vez de unas pocas grandes, objetables.

CAPITULO 6 — MEZCLAS DE HORMIGON, DOSIFICACION Y CONTROL

Al dosificar la mezcla es necesario considerar varios ítems. La durabilidad y la resistencia (a compresión o a flexión), requeridas en las especificaciones del proyecto, fijarán la relación agua-cemento para un conjunto dado de materiales. Los requisitos de durabilidad indicarán también si es necesario tener hormigón denso de alta resistencia, o incorporación de aire. La facilidad de colocación (manejabilidad, consistencia) estará dictada en gran parte por los métodos de hormigonamiento propuestos (canecas, carretillas, bombas, bandas transportadoras, etc.), por las condiciones de colocación (profundidad y dimensiones de la formaleta, cantidad de refuerzo, accesibilidad, etc.) y por el método de compactación (con paletas, vibración interna o externa). La apariencia, como en el caso del hormigón decorativo puede requerir consideración del color del agregado grueso, tipo de cemento, y relación de agregados grueso a fino, particularmente en el caso de hormigón con agregados expuestos. En ocasiones será necesario efectuar ajustes en las características de fraguado del hormigón o en los requisitos de agua; para hacerlos, se requerirá utilizar aditivos químicos, ya sea de tipo plastificante, retardador o acelerante del fraguado o también puede darse el caso de que se exijan o se permitan aditivos minerales (puzolanas).

El uso que se le vaya a dar al hormigón determina qué propiedades debe tener. Tales propiedades se ven a menudo, pero no siempre, reflejadas en las especificaciones de la obra.

En este capítulo se presenta una discusión de los factores que deben tenerse en cuenta y ciertos principios generales que se emplean en la dosificación y control de las mezclas de hormigón. En las Referencias 7, 36 y 37, se cubren procedimientos detallados para la dosificación de mezclas. En la Referencia 20 se discute la dosificación de mezclas de hormigón que contengan uno o más aditivos. En el Capítulo 16 se discute también la dosificación de mezclas de hormigón liviano.

METODOS PARA ESPECIFICAR LAS DOSIFICACIONES DE HORMIGON

Generalmente, las especificaciones requieren que el hormigón desarrolle cierta resistencia a edad dada, dentro de un intervalo limitante de consistencia (asentamiento). A menudo se especifica una relación agua-cemento máximo o un contenido de cemento mínimo, como precaución adicional para asegurar la necesaria durabilidad, impermeabilidad o manejabilidad.

Especificación de resistencia

Con frecuencia, a la resistencia especificada se la denomina "resistencia mínima", y la interpretación *literal* de esta expresión confunde y origina discusiones sobre los resultados de ensayos, ocasionalmente bajos, que pueden ocurrir aunque se use una dosificación satisfactoria de la mezcla de hormigón. Tales discusiones pueden conducir al uso de una mezcla innecesariamente rica, en la que se desperdicia cemento.

La evaluación de los resultados de los ensayos de resistencia del hormigón tiene en cuenta que la producción de éste se halla sometida a variaciones en los ingredientes, en la medición, y en los ensayos. Los códigos modernos de diseño estructural permiten que ocasionalmente se obtengan resultados de ensayos individuales que pueden estar hasta 35 kg/cm² (500 lb/pulg²) por debajo de la resistencia especificada (de diseño). Las recomendaciones sobre los ensayos de resistencia ocasionalmente bajos se discuten en detalle en el Capítulo 2 de este manual y en la Referencia 13.

A causa de la variabilidad en el hormigón, lo mismo que a la correspondiente en los especímenes de prueba y en los resultados de los ensayos¹¹, es necesario dosificar el hormigón de manera que se obtenga una resistencia promedio muy por encima de la especificada f_c' , para que así casi toda la producción de hormigón iguale o exceda de f_c' . La cantidad de "sobrediseño" en resistencia de las mezclas de ensayo deberá calcularse con base en el análisis estadístico de la experiencia previa en la producción de hormigón. Algunas especificaciones requieren hasta 85 kg/cm² (1200 lb/pulg²) de sobrediseño, cuando los datos de las experiencias previas indican variabilidad extrema en la producción, o no se cuenta con datos previos. Cuando las especificaciones no incluyen tales requisitos, el diseño deberá hacerse como se discute en el Capítulo 2. A medida que se acumule la historia de las resistencias de campo resultantes del uso de la dosificación establecida de la mezcla, y se obtenga en la obra un control apropiado de las operaciones, será posible reducir el diseño si así lo indican las gráficas de control de calidad similares a las ilustradas en el Capítulo 2.

(El mismo enfoque se utiliza para el hormigón de pavimentos, excepto que, en este caso, es común evaluar la resistencia del hormigón mediante resistencia a flexión de vigas de ensayo estándar, en lugar de resistencia a la compresión).

Especificación de la dosificación

La dosificación que gobierna la mezcla de materiales se expresa en las especificaciones en una de las siguientes formas:

1. Cantidad fija o mínima de cemento (y de aditivo, si éste se especifica) por m³ de hormigón.
2. Relación fija o máxima de agua a cemento o de agua a cemento más puzolana.
3. Proporciones fijas de cemento, agregado fino, agregado grueso y aditivos.

4. A veces, límites en la relación de agregado fino a agregados totales, por ejemplo, 35 a 50 por ciento.

Los requisitos 1 y 2 son los más típicos y se combinan a menudo. También es típico especificar la consistencia (asentamiento). En el caso de hormigón con aire incorporado, es usual especificar el nivel de aire total en la mezcla de hormigón. Si no se alcanza el asentamiento requerido, con el contenido de cemento mínimo y la relación agua-cemento máxima especificados, se pueden hacer varios cambios para remediar la situación, por ejemplo: aumentar el contenido de cemento, cambiar los tipos de agregado (angular o redondeado) o las proporciones relativas de agregado fino a grueso. También puede lograrse el asentamiento deseado utilizando, a veces, un aditivo plastificante. Si se usan los requisitos 1, 2 y 4, todos los niveles especificados, inclusive el de resistencia, tienen que ser razonablemente consistentes entre sí, así como los niveles especificados de asentamiento deben ser razonables.

METODO DE DOSIFICACION PARA UNA RESISTENCIA O RELACION AGUA-CEMENTO ESPECIFICADA

Cemento

El tipo de cemento que debe usarse está estipulado usualmente en las especificaciones del proyecto. Para usos ordinarios, se emplea cemento portland normal (ASTM C 150, Tipo I) o cemento de combinación (ASTM C 595); para casos especiales, se puede acudir a cementos de calor moderado (Tipo II), alta resistencia inicial (Tipo III) o resistente a los sulfatos (Tipo V). Cuando se utilizan cementos diferentes a los Tipos I o II, la escogencia del tipo estará dictada, en general, por consideraciones diferentes a la de resistencia. Sin embargo, aun bajo tales condiciones también se considera, usualmente, la resistencia a alguna edad. (Véase en el Capítulo 3 la discusión sobre el cemento).

Cualquiera que sea el tipo de cemento que se vaya a usar, la dosificación consiste esencialmente en determinar la cantidad del mismo por volumen unitario de hormigón que, con un curado apropiado producirá hormigón endurecido de la resistencia y durabilidad especificadas. La cantidad de cemento necesaria dependerá de los siguientes factores:

1. Tipo y calidad del cemento.
2. Cantidad y calidad de las puzolanas.
3. Relación agua-cemento máxima.
4. Consistencia de la mezcla.
5. Uso de aditivos, incluyendo entonces incorporadores de aire, simples o en combinación.
6. Tamaño máximo y gradación del agregado.
7. Otras características del agregado, entre ellas, la forma de las partículas y la textura superficial.

Relación agua-cemento

Si no se cambian los otros materiales, la resistencia a compresión potencial del hormigón, hecho con agregados de aproximadamente la misma gradación y tamaño máximo y obtenidos de la misma fuente, es prácticamente constante cuando la relación agua-cemento se mantiene igual. Sin embargo, para una resistencia y asentamiento deseados, el valor necesario de esta relación variará algo para diferentes agregados y diferentes gradaciones (particularmente en lo que respecta a tamaño máximo del agregado) y hasta puede modificarse substancialmente con el uso de uno o más aditivos. No obstante, los valores promedio de la relación agua-cemento con respecto a la resistencia, son, por lo general, suficientemente representativos, para que la dosificación de una mezcla de ensayo de una resistencia dada, se inicie con la determinación de la relación agua-cemento necesaria a partir de tablas publicadas de relaciones agua-cemento y sus correspondientes valores de resistencia.

La Tabla 6-1 (adaptada de la Referencia 7) da las resistencias aproximadas para diferentes relaciones agua-cemento, usando agregados promedio, con y sin un aditivo incorporador de aire. Las resistencias obtenidas con estas relaciones agua-cemento estarán, generalmente, del lado conservador. Si hay historia de utilización de los materiales dados, la revisión de los informes de los ensayos puede proporcionar datos útiles, particularmente en lo que se refiere al requisito de agua y al nivel de resistencia del hormigón.

TABLA 6-1 — CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACION AGUA-CEMENTO Y LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON

Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm ² *	Relación agua-cemento, en peso	
	Hormigón sin aire incorporado	Hormigón con aire incorporado
420	0.41	—
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

* Los valores son estimativos de resistencias promedio de hormigones que no contengan más porcentaje de aire incorporado del mostrado en la Tabla 5.3.3 de la Referencia 7. Para una relación agua-cemento constante, la resistencia del hormigón se reduce a medida que aumenta el contenido de aire. La resistencia corresponde a cilindros de 15 x 30 cm curados húmedos durante 28 días a 23 ± 1.7°C (73.4 ± 3°F), de acuerdo con la Sección 7.3 de la norma ASTM C 31.

La correspondencia supone un tamaño máximo del agregado entre 19 y 25 mm. Si éste proviene de una misma fuente, la resistencia obtenida para una relación agua-cemento dada aumenta (lo mismo que el contenido de cemento) a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado. Véanse las Secciones 3.4 y 5.3.2 de la Referencia 7.

Agregado

Generalmente, el tamaño máximo nominal del agregado está o especificado, o limitado por las condiciones de colocación, las dimensiones del miembro estructural y el espaciamiento y recubrimiento del acero de refuerzo. Los agregados bien gradados de tamaño máximo grande tienen menor volumen total de poros que los agregados de tamaño más pequeño. Por consiguiente, los hormigones hechos con agregados de tamaño mayor, adecuadamente gradados, requieren menos mortero, y, por lo tanto, menos agua por unidad de volumen de hormigón. Por lo general, el tamaño máximo del agregado deberá ser el mayor de que se disponga económicamente y que resulte consistente con las dimensiones de los elementos estructurales y las condiciones de colocación. Cuando se desea hormigón de alta resistencia (en exceso de 350 kg/cm², 5000 lb/pulg²), los mejores resultados se pueden obtener con agregados de tamaño máximo reducido, generalmente 19 o 13 milímetros ($\frac{3}{4}$ o $\frac{1}{2}$ pulgada), puesto que los hormigones con estos agregados tienen normalmente resistencias más altas para una relación agua-cemento dada. Sin embargo, el agregado más pequeño requerirá más agua y, por lo tanto, más cemento.

Siempre que se efectúen estudios de dosificación de mezclas y se hagan ensayos de hormigón para evaluar los materiales, cada material se deberá usar en la forma más ventajosa. Es probable que los mejores resultados para cada agregado se obtengan con gradaciones diferentes, especialmente en lo que respecta a la proporción de agregado fino a grueso. Ha de procurarse mantener mínima la cantidad de gravilla o de agregado grueso, plano y alargado, con el fin de mejorar la facilidad de acabado y de bombeo. No obstante, cualesquiera que sean los agregados seleccionados, se debe determinar la combinación más favorable de agregado fino y grueso que suministre las propiedades requeridas del hormigón. Generalmente, el porcentaje de arena deberá ser tan bajo como resulte práctico hacerlo, siempre y cuando proporcione los tamaños finos necesarios para obtener buena manejabilidad y exudación mínima. El contenido bajo de arena, usualmente, minimiza el requisito de agua del hormigón y da la dosificación más económica. El requisito de agua, sin embargo, aumenta sólo en, aproximadamente, uno por ciento por cada punto de porcentaje de aumento en la relación arena-agregado. La minimización estricta de la proporción de agregado fino no es siempre recomendable, particularmente, si se tiene en cuenta que el hormigón con más agregado fino será mucho más fácil de colocar, compactar y terminar. En hormigón de bajo asentamiento es deseable un contenido bajo de arena para maximizar la resistencia, pero en hormigones de asentamiento mayor se necesitan contenidos de arena más altos con el fin de minimizar la segregación.

Siendo iguales los otros factores, los agregados compuestos de partículas angulares requieren más pasta que los de proporciones iguales de partículas redondeadas y lisas. Sin embargo, cuando el criterio predominante es la resistencia del hormigón, no son siempre preferibles los agregados redondeados, puesto que los triturados normalmente dan resistencia más alta para

una relación agua-cemento dada. Cuando los requisitos de durabilidad no gobiernan la relación agua-cemento, se permite algunas veces, con base en los datos experimentales, usar una relación agua-cemento más alta con material triturado que la que se requeriría con material redondeado. En otras palabras, con agregados distintos, algunas veces pueden usarse relaciones agua-cemento diferentes para lograr la misma resistencia.

Cuando se trata de hormigones diseñados con base en la resistencia a flexión, destinados a pavimentos, los agregados angulares se prefieren por lo general, en el caso que los haya disponibles.

Después de determinar la relación agua-cemento necesaria para producir la resistencia requerida, el siguiente paso consiste en encontrar las proporciones de agregados que proporcionen una mezcla trabajable con cantidad mínima de pasta. Siempre que sea posible, el diseño de la mezcla estará basado en mezclas de ensayo que utilicen todos los materiales de la obra. Todas estas mezclas deben ser trabajables. Los datos necesarios obtenibles de las mezclas de ensayo son: resistencia (a flexión o a compresión), asentamiento, porcentaje de aire y peso unitario.

Cuando no se pueden hacer tales ensayos, es necesario confiar en recomendaciones basadas en la experiencia, como las que se encuentran en las Referencias 7, 8, 19 o 37. Estas recomendaciones no tienen en cuenta, explícitamente, las diferencias en resistencia que pueden surgir de diferencias en las características del agregado o del cemento; sin embargo, son lo suficientemente conservadoras, como para proporcionar resultados seguros. Las proporciones iniciales de la mezcla deberán modificarse en cuanto sea necesario, con base en los resultados de los ensayos y las observaciones hechas durante la producción.

Incorporación de aire

En hormigón normal, con una relación agua-cemento dada, y sin ajuste para aumento en asentamiento, la incorporación de aire reducirá la resistencia en aproximadamente 5 por ciento por cada uno por ciento de aire añadido. Sin embargo, con aire incorporado, se requerirá menos agua de amasado para proporcionar el mismo asentamiento, puesto que las pequeñas burbujas de aire proporcionan lubricación a la mezcla. Por consiguiente si el contenido de cemento permanece constante, se puede usar una relación agua-cemento más baja para lograr el mismo asentamiento, que a su vez compensa parcialmente, por la pérdida de resistencia en las mezclas ordinarias. Usualmente, las proporciones de agregado grueso son las mismas para hormigón con aire incorporado que para mezclas sin él, pero se necesita menos agregado fino, puesto que el aire aumenta el volumen del mortero y ayuda a proporcionar manejabilidad. Con algunas mezclas pobres (bajo contenido de cemento), el uso de aire incorporado, con la reducción consecuente en la relación agua-cemento, puede, en realidad, aumentar la resistencia a compresión.

Calidad del material cementoso

No debe esperarse que el hormigón que contenga cantidades iguales de cemento proveniente de diferentes fuentes (o quizás de la misma fuente pero en épocas diferentes) tenga la misma resistencia. Si se requiere hormigón de alta resistencia será aconsejable especificar que el cemento portland cumpla los requisitos típicos opcionales establecidos en la Tabla 2A de la norma ASTM C 150, y posiblemente que tenga una resistencia a la compresión de los cubos, determinada previamente, mayor que la corriente. Las mismas consideraciones se aplican a los cementos combinados y a las puzolanas. Más aún, probablemente no deberá considerarse cemento incorporador de aire, a menos que se lo necesite por razones de durabilidad. Como se estableció en el Capítulo 3, el cemento que haya permanecido almacenado a granel en la planta, con anterioridad a su embarque, durante más de seis meses después de terminar los ensayos respectivos, deberá volverse a ensayar como lo indica la norma ASTM C 150.

Cantidad de pasta

Con materiales dados, las proporciones "óptimas" de la mezcla se logran cuando el agua total por unidad de volumen de hormigón, necesaria para obtener el asentamiento y manejabilidad requeridos, es mínima. Con relación agua-cemento fija, los costos del material se reducen, al usar mezclas que tengan la mínima cantidad de pasta. Las razones para utilizar esta cantidad mínima son evidentes. El cemento en la pasta es casi invariablemente el ingrediente más costoso del hormigón, y por consiguiente, usar más pasta de la requerida aumenta innecesariamente el costo del hormigón. Sin embargo, cuando se usan agregados de precio extremadamente alto, también se debe considerar su costo. Por otra parte, el agua en la pasta es la causa principal de la contracción del fraguado a medida que el hormigón se endurece y seca. Mientras más agua (i.e., mientras más pasta), mayor es la contracción durante el secamiento. Las acciones subsecuentes de humedecimiento y de secamiento también causan cambios de volumen. El cemento, a medida que se hidrata, produce calor. Por consiguiente, contenidos altos de cemento pueden producir elevación indeseable de temperatura y diferencias de ésta productoras de grietas.

La cantidad de pasta requerida por unidad de volumen de hormigón depende, principalmente, de los siguientes factores:

1. Relación agua-cemento de la pasta.
2. Consistencia del hormigón fresco.
3. Gradación del agregado.
4. Forma y textura superficial de las partículas de agregado.
5. Cantidad de aire atrapado.
6. Aditivos químicos y minerales.
7. Tamaño máximo nominal de agregado.
8. Proporción de agregado fino a agregado total.
9. Cantidad, tipo y calidad de puzolanas.
10. Características del cemento.

Tamaño máximo del agregado, mm (pulg)	Fracción de pasta en un volumen unitario de hormigón	Cemento kg/m ³ *
9.5 (3/8)	0.40	444
19 (3/4)	0.30	335
38 (1 1/2)	0.26	290
76 (3)	0.22	246
152 (6)	0.21	234

* Para una relación agua cemento de 0.58, en peso.

El tamaño máximo nominal de un agregado de buena gradación es la característica principal que determina el requisito de la pasta. Una relación típica se muestra en la siguiente tabla y en la Fig. 6-1.

Se pueden usar con ventaja en hormigón masivo, tamaños máximos nominales de agregado de hasta 150 milímetros (6 pulgadas); pero tamaños ma-

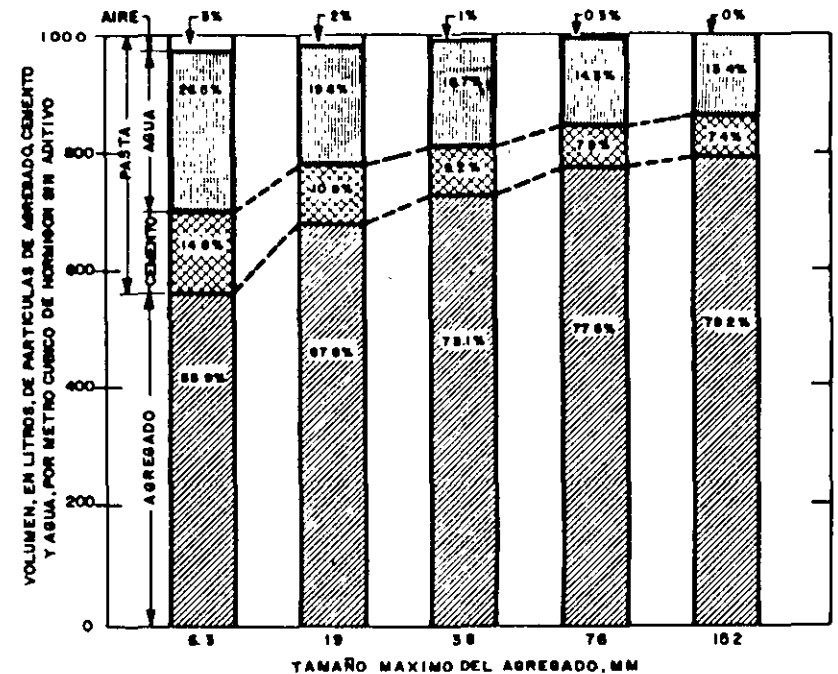


Fig. 6-1—Mientras mayor sea el tamaño máximo del agregado graduado, menor será la cantidad necesaria de pasta para que el hormigón resulte manejable. Relación agua-cemento = 0.58, en peso; consistencia media (asentamiento entre 7.5 y 12.5 cm); arena natural y grava. Hormigón sin aire incorporado; el contenido de aire que figura corresponde a aire atrapado.

yores que éste aumentan las dificultades de manejo, sin que sean suficientes las ventajas compensatorias.

Proporción de agregado fino a grueso

La norma ASTM C 33 permite límites bastante amplios en la gradación de cualquier agregado particular grueso o fino. El requisito principal de toda gradación es que se establezca la proporción óptima de agregado fino a grueso para cada par de agregados que vayan a combinarse, definiéndose aquí como óptimo el porcentaje que da la manejabilidad requerida con la mínima cantidad de agua por unidad de volumen de hormigón y la relación agua-cemento seleccionada. La Fig. 6-2 muestra el efecto típico resultante de variar el porcentaje de arena. Puesto que las curvas son relativamente suaves y poco inclinadas, y una desviación pequeña en porcentaje, con respecto al óptimo, no resultará en variaciones significativas, algunas veces se aconseja usar uno o dos puntos más, en porcentaje, que la proporción óptima, para asegurar manejabilidad adecuada.

Gradación del agregado fino

Un requisito igualmente importante es el de que la arena tenga un porcentaje adecuado de finos para mayor facilidad de terminación y de manejo. El porcentaje requerido depende principalmente de la calidad y composición

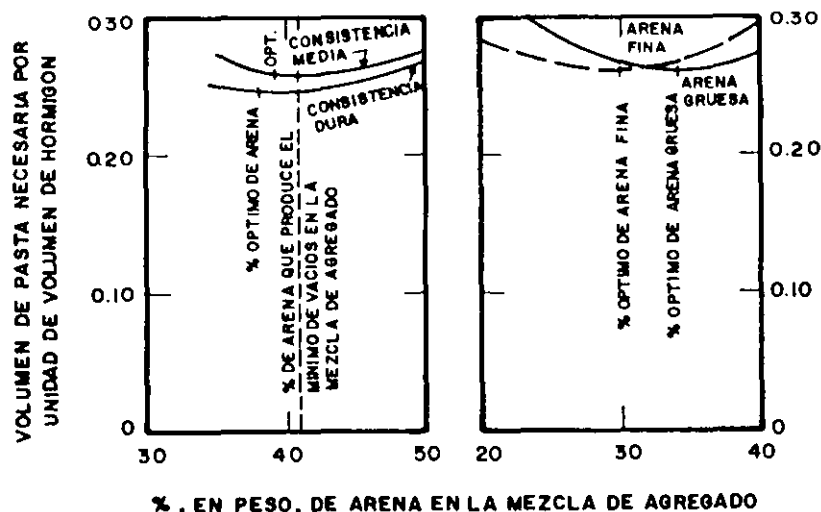


Fig. 6-2—El porcentaje “óptimo” de arena, o sea, el que requiere menos pasta, es algo menor para las consistencias más duras y las arenas más finas. También es menor para las mezclas más ricas y para los mayores tamaños máximos de agregado. (Estos diagramas sólo tienen fin ilustrativo, para mostrar tendencias. Los dos diagramas se basan en series diferentes de ensayos).

de la pasta. En hormigones con contenido de cemento muy alto, las arenas con gradación gruesa son satisfactorias puesto que el cemento ayuda a proporcionar los finos necesarios; pero con hormigones de bajo contenido de cemento se requieren las partículas de agregado fino para obtener buenos resultados. En hormigón con aire incorporado las deficiencias en gradación de la arena afectan la manejabilidad del hormigón menos que en el que carece de aire de tal condición. Los aditivos minerales, como por ejemplo las puzolanas, también afectan las características de la pasta que contribuyen a la manejabilidad del hormigón fresco.

DOSIFICACION PARA OBTENER RESISTENCIA A CONDICIONES DE EXPOSICION VARIABLES

Cuando se necesita resistencia a las heladas, hay que poner especial cuidado en incluir incorporadores de aire y en excluir agregados desintegrables en el hormigón. Para juzgar el grado de durabilidad, se debe obtener, a ser posible, la trayectoria de servicio de agregado. En construcciones críticas es recomendable que un petrógrafo calificado examine el agregado. Las características estructurales de los poros de éste pueden afectar la resistencia al congelamiento y descongelamiento de los hormigones. El comportamiento de diferentes agregados en el hormigón puede compararse con los métodos de las normas ASTM C 666 o ASTM C 682.

Calidad de la pasta

Independientemente de la fuente de agregados, la calidad de la pasta es asunto de principal consideración. Dicha calidad está controlada por la relación agua-cemento. En la Tabla 6-2 se dan los valores máximos recomen-

TABLA 6-2 — MAXIMAS RELACIONES AGUA-CEMENTO ADMISIBLES PARA HORMIGON SOMETIDO A EXPOSICIONES SEVERAS*

Tipo de estructura	Estructura siempre húmeda o expuesta con frecuencia a congelamiento y descongelamiento †	Estructura expuesta a agua de mar o a sulfatos
Secciones delgadas (sardineles, antepechos, retallos, trabajo ornamental) y secciones con menos de 25 mm de recubrimiento del acero.	0.45	0.40 †
Todas las otras estructuras	0.50	0.45 †

* Con base en el informe del Comité 201 del ACI, "Durability of Concrete in Service."
 † Es preciso que el hormigón tenga también aire incorporado
 ‡ Si se utiliza cemento resistente a los sulfatos (Tipo II o V de la norma ASTM C 150), la relación agua-cemento admisible puede aumentarse en 0.05

datos de la relación agua-cemento para diferentes condiciones de temperatura y de exposición a ambientes sulfatados. Véase en la Referencia 38 una discusión completa sobre durabilidad.

Cuando se espera prolongada exposición al agua, hay que usar pasta con bajo contenido hídrico, para reducir la permeabilidad, la absorción y el efecto de lixiviación. También, cuando preocupa la rata de transmisión de humedad del lado de la tierra húmeda al lado expuesto del hormigón, la densidad de la pasta debe ser tal que reduzca esta rata de transmisión, y, por consiguiente, el grado promedio de saturación del miembro de hormigón. Por ser las puzolanas útiles en la reducción de estos problemas merece que se tengan en cuenta; las mismas contribuyen a hacer impermeable la pasta puesto que reaccionan con la cal libre que se encuentra en el hormigón, impidiendo su disolución y proporcionando al mismo tiempo propiedades cementantes.

Aire incorporado requerido

El aire incorporado es necesario para proporcionar resistencia a los efectos de congelamiento del hormigón (Fig. 6-3). Tanto la calidad del agregado, como el contenido de cemento, la relación agua-cemento, la clase y cantidad de aditivos, la consistencia, compactación (densidad), y curado, son todos ítems importantes para la calidad y durabilidad del hormigón pero ninguno de ellos influye tanto en la resistencia a los efectos del congelamiento como el tener la cantidad y distribución apropiada de aire incorporado. El Capítulo 5 da las cantidades deseables de aire incorporado en la sección que trata sobre resistencia a las heladas. La mayor efectividad de los poros producidos por un agente incorporador de aire, en relación con la de los poros de aire atrapado, se debe a su mayor pequeñez relativa, y, por consiguiente, al menor espaciamiento en la pasta, para una cantidad de aire total dada.¹⁹ La función del aditivo incorporador de aire es proporcionar un número grande de poros pequeños (casi microscópicos) en la pasta, de tal manera que la distancia máxima entre cualquier punto de ésta y la periferia de un poro de aire sea menor que 0.2 mm (.008 pulgadas). Este estrecho espaciamiento permite aliviar la presión desarrollada por el agua en el hormigón, a medida que se expande durante el congelamiento.

Proporciones de los agregados

El porcentaje de agregado fino en la mezcla deberá ajustarse de tal manera que, con la cantidad apropiada de aire incorporado, el contenido de pasta de cemento sea mínimo para la consistencia requerida. El procedimiento que por lo general se sigue hasta ahora consiste en: (1) dosificar la mezcla tal como se haría si no hubiera necesidad de agente aireante; (2) teniendo en cuenta el efecto de la adición del agente aireante, reducir la proporción de arena y de agua lo suficiente como para producir hormigón del mismo contenido de agregado grueso y la misma consistencia que se obtendrían sin aire incorporado. Tal procedimiento minimiza la pérdida efectiva de resistencia a la compresión del hormigón causada por la adición de aire incorporado.



Fig. 6-3—Ejemplos de descascaramiento del hormigón, causado por los efectos del congelamiento y descongelamiento, cuando aquél carece de suficiente aire incorporado. Algunas veces un método inapropiado de acabado, o el efectuarlo a destiempo, saca de la superficie superior del hormigón el aire incorporado.

Con una mezcla dosificada de manera que incluya la cantidad apropiada de aire incorporado, la habilidad del hormigón para resistir los efectos del congelamiento depende principalmente de la calidad de la pasta y de la porosidad y características de los poros de las partículas de agregado, en especial, de las de agregado grueso. Para una discusión adicional véase el Capítulo 5.

DOSIFICACION POR VOLUMEN DE PARTICULAS

Si un recipiente se llena exactamente hasta el borde con material sólido como gravilla, arena o cemento, el volumen del recipiente representa el *volumen total* del material que está contenido en él. Las partículas que están dentro del recipiente no encajan exactamente una con otra y, por consiguiente, hay espacios pequeños (vacíos) entre ellas. Así que el *volumen total* es la suma de los volúmenes de todas las partículas más el del total de los espacios entre partículas. Al volumen de las partículas se le llama algunas veces *volumen de sólidos*, o de *desplazamiento*.

La cantidad real de material sólido en un volumen total dado de agregado varía con su gradación y con su grado de compactación. El volumen de las partículas en un peso dado de agregado, cemento, o aditivo mineral, depende de su peso específico. Tratándose de agua, el volumen de partículas es el mismo volumen total.

Cuando se mezclan agregado, cemento y agua para producir una mezcla de hormigón fresco, el mortero de cemento, agua y arena llena los espacios entre las partículas gruesas. Así, si el hormigón se compacta para remover

la mayoría del aire atrapado, el volumen total del hormigón es la suma de los volúmenes de las partículas de los ingredientes más el volumen del agua. Si la mezcla tiene aire incorporado, el volumen de dicho aire se incluye en la suma de los valores absolutos.

Puesto que no es práctico medir agregado, cemento o aditivo mineral, directamente por volúmenes de partículas, los que de éstos se necesitan se convierten a pesos para propósitos de medición. Inversamente, las dosificaciones por peso se pasan a volúmenes de partículas para calcular el rendimiento (por lo general, en metros cúbicos de hormigón fresco). Cuando se dosifica hormigón con base en volúmenes de partículas se supone que el volumen del hormigón fresco compactado será igual a la suma de los volúmenes de todos los ingredientes.

Cálculo del volumen de partículas y del porcentaje de sólidos

El volumen de partículas de una cantidad de material puede calcularse a partir de su peso y peso específico aparente * (En el caso de agregados, se calculará el mismo volumen de partículas, ya sea que se use el peso específico de material seco, o saturado y con superficie seca (SSS), siempre y cuando el peso específico aparente seco se use para agregados secos, y el peso específico aparente saturado y seco en la superficie, para agregados que se encuentren en tal condición.) En los siguientes ejemplos se usa el peso específico aparente del material saturado y seco en la superficie:

$$\text{Volumen de partículas (m}^3\text{)} = \frac{\text{peso (kg)}}{\text{peso específico aparente} \times 1000}$$

Así, 100 kilogramos de cemento que tengan un peso específico aparente, relativo, de 3.15 (valor medio) contienen:

$$\frac{100}{3.15 \times 1000} = 0.0318 \text{ m}^3 \text{ de sólidos}$$

Si se conocen el peso específico aparente y el peso unitario, en kilogramos por metro cúbico, de agregado en condición dada de compactación, los porcentajes de sólidos y de vacíos en el agregado se calculan de la manera siguiente:

$$\text{Porcentaje de sólidos} = \frac{\text{peso unitario, seco superficial (kg/m}^3\text{)}}{\text{peso específico aparente} \times 1000} \times 100$$

luego:

$$\text{Porcentaje de vacíos} = 100 - \text{porcentaje de sólidos}$$

* El adjetivo absoluto se reserva para la masa de material en sí, sin tener en cuenta el espacio entre partícula y partícula, ni los vacíos dentro de ellas. El adjetivo aparente se le aplica al volumen de las partículas, puesto que incluye sus poros. (N. del T.)

Así, un agregado compactado, saturado y seco superficialmente, que pese 1760 kg/m³ y tenga un peso específico aparente, relativo, (SSS) de 2.65 contiene:

$$100 \times \frac{1760}{2.65 \times 1000} = 66.4\% \text{ de sólidos}$$

y

$$100 - 66.4 = 33.6\% \text{ de vacíos}$$

Ejemplo de dosificación por volúmenes de partículas

Quizás uno de los métodos más comunes para dosificar mezclas de hormigón radica en el empleo de volúmenes de partículas. También son populares los procedimientos con base en pesos, descritos en la Referencia 7. Para resumir los procedimientos de dosificación se da a continuación un breve ejemplo de los cálculos con volúmenes de partículas.

Requisitos de la especificación

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 \text{ (3000 lb/pulg}^2\text{)}$$

Asentamiento = 5 a 10 centímetros (2 a 4 pulgadas)

Contenido de aire incorporado = 4 a 6 por ciento

Cemento = Tipo I, ASTM C 150

Condiciones de exposición = máxima, w/c = 0.50 (Tabla 6-2)

Datos de los materiales:

Cemento: Tipo I, peso específico aparente, relativo = 3.15

Agregado fino: natural, peso específico aparente, relativo (SSS) = 2.62, MF = 2.60

Agregado grueso: granito triturado, tamaño No. 57, peso específico aparente, relativo (SSS) = 2.67; peso unitario compactado (SSS) = 1544 kg/m³

Aditivo: A1A

en donde: kg/cm² = kilogramo por centímetro cuadrado; w/c = relación agua-cemento; SSS = saturado, seco en la superficie; MF = módulo de finura; el tamaño No. 57 se refiere a los tamaños estándar de la norma ASTM C 33; kg/m³ = kilogramo por metro cúbico; y A1A = aditivo incorporador de aire.

Datos para la mezcla de ensayo (procedimientos básicos de la Referencia 7)

1. Estímese el requisito de agua con base en experiencias anteriores para los mismos materiales que se van a usar, o utilícese el valor aproximado dado en la Tabla 5.3.3 de la Referencia 7.

El contenido de agua estimado para agregado de 25 mm (1 pulg), y hormigón con aire incorporado, cuyo asentamiento está entre 5 y 10 cm, es de 175 kg/m³ de hormigón.

2. Puesto que se ha especificado una relación agua-cemento de 0.50, el contenido mínimo de cemento, en peso, resulta ser:

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{175}{0.50} = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ de hormigón}$$

Nota: Bien sea que se haya sacado de la experiencia o de la función que relaciona la resistencia a compresión y la razón agua-cemento promedio, la máxima relación agua-cemento especificada indicaría que con ella podría obtenerse la resistencia a compresión prescrita. En realidad, habrá que diseñar varias mezclas de ensayo, variando la relación agua-cemento (y, por consiguiente, el contenido de cemento) hasta el máximo.

3. Las cantidades de agregados se determinan por varios métodos. Se produce hormigón con manejabilidad satisfactoria cuando se utiliza un volumen dado de agregado grueso, sobre la base de que está seco y compactado (o compactado, saturado y seco en la superficie), para un volumen unitario de hormigón. La Tabla 5.3.6 de la Referencia 7 da el volumen aproximado de agregado grueso, seco y compactado, por metro cúbico de hormigón, con base en el tamaño máximo del agregado y en el módulo de finura del agregado fino. Para el material del ejemplo, la relación de volúmenes es 0.69. Por consiguiente, el peso de agregado grueso es igual a:

$$0.69 \times 1544 = 1065 \text{ kg por m}^3 \text{ de hormigón}$$

4. El contenido de agregado fino se determina luego por sustracción, utilizando los cálculos de volúmenes de partículas:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de partículas de cemento} &= \frac{350}{3.15 \times 1000} \\ &= 0.111 \text{ m}^3 \text{ por m}^3 \text{ de hormigón} \end{aligned}$$

$$\text{Agua} = \frac{175}{1000} = 0.175 \text{ m}^3$$

$$\text{Contenido de aire total} = 5\% \text{ de } 1 = 0.050 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{1065}{2.67 \times 1000} = 0.399 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen de partículas} \\ \text{de agregado fino} &= 1.000 - 0.111 - 0.175 - 0.050 - 0.399 = 0.265 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Por consiguiente, el peso del agregado fino será igual a:

$$0.265 \times 2.62 \times 1000 = 694 \text{ kg por m}^3 \text{ de hormigón}$$

HOJA DE TRABAJO PARA DOSIFICACION DE MEZCLAS DE HORMIGON				ANALISIS DE AGREGADOS				DATOS PARA EL CALCULO DE LA MEZCLA						
AGREGADO GRUESO				AGREGADO FINO				MATERIAL						
SUMINISTRO	TAMIZ No.	% RET.	% QUE PASA	TRAMIZ No.	RES.	% QUE PASA	NORMA ASTM	CEMENTO	AGUA	AIRE	TOTAL	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	MEZCLA
Gravito triturado N° 57	75 (3/4")	0.0	100	20 (3/4")	0.0	100	C-33	3.50	175 kg	5%	10.00	1000	694	0.111 m³
	60 (1/2")			40 (1/2")	10.4	89.6	C-33							
	30 (1/4")	0.0	100	80 (1/4")	46.9	53.1	C-33							
	20 (1/4")	1.1	98.9	100 (1/4")	130.4	69.6	C-33							
	10 (1/4")	13.4	86.6	200 (1/4")	265.9	73.5	C-33							
	5 (1/4")	23.4	76.6	400 (1/4")	396.3	60.4	C-33							
	N° 40	38.1	61.9	800 (1/4")	505.8	44.2	C-33							
	N° 60	42.9	57.1	1000 (1/4")	512.5	47.5	C-33							
	N° 80	46.1	53.9	FOUNDO	521.4	48.6	C-33							
	FOUNDO	46.6	53.4	M. D. F.	2.60	97.4	C-33							
	M. D. F.	7.02	92.98	RESISTENCIA	2.62	97.38	C-33							
	RESISTENCIA	2.63	97.37	VALOR			C-33							
	VALOR	96.4	3.6	PARA DETERMINAR EL VALOR DEL M. D. F.			C-33							
	CLIENTE			* ABRADA 400 AL'S RETENIDO EN LOS TA.			C-33							
				** MENOS EL % RETENIDO EN LOS TAMICES			C-33							
				INDICADORES Y DIVIDA LA SUMA POR 100			C-33							
PROYECTO				DATOS DE LA MEZCLA										
				FACTOR MINIMO DE CEMENTO BAL/M³										
				RELACION AGUA-CEMENTO MAXIMA	0.50									
				CONTENIDO DE AIRE ESPECIFICADO	4-6									
				% DE VOLUMEN										

Fig. 6.4—Hoja de trabajo para la dosificación de mezclas de hormigón.

5. Los ingredientes de la mezcla deberán intervenir ahora en esa proporción en una tanda, tamaño de laboratorio, para verificar si las proporciones estimadas dan los resultados apropiados en términos de requisito de agua, manejabilidad, etc. La Fig. 6-4 muestra una hoja de trabajo que podría usarse para resumir los cálculos y estimativos hechos.

CONTROL DE LAS PROPORCIONES DE HORMIGON

En proyectos grandes, por ejemplo los de entidades gubernativas o de servicios públicos, o en estructuras mayores, las mezclas se dosifican en laboratorios centrales, y las proporciones se envían al trabajo como mezclas de comienzo de tanteo, que pueden ajustarse ligeramente, según se necesite, después de ensayarlas en el trabajo. Las mezclas para muchos trabajos más pequeños se dosifican en laboratorios independientes, con control de obra proporcionado por el ingeniero, arquitecto o contratista, o por un laboratorio que les responde a ellos. En algunos casos, las especificaciones indican el contenido mínimo de cemento o la máxima relación agua-cemento admisible, o ambos, y los tipos y cantidades de aditivos que deben usarse.

Muchas normas de hormigón especifican o bien un valor definido de la relación agua-cemento o un máximo. En la mayoría de los casos, el especificar o limitar la relación agua-cemento no permite aprovechar cemento de alta calidad, tipos y gradaciones favorables de agregados, y aditivos para obtener mayor economía. Los valores conservadores de resistencia que pueden obtenerse para varias relaciones agua-cemento aparecen en la Tabla 6-1. Para tener en cuenta las fluctuaciones del campo y evitar exceder una especificación de relación agua-cemento máxima, la dosificación de las mezclas de ensayo ha de conducirse con el asentamiento máximo permisible. El hormigón resultante, con relación agua-cemento más alta, deberá proporcionar una resistencia que exceda a f_c' en la cantidad especificada en "Building Code Requirements for Reinforced Concrete" (ACI 318)⁶ o en "Specifications for Structural Concrete for Buildings" (ACI 301)⁶.

Cantidades de las mezclas de laboratorio

La cantidad de agua que debe añadirse a la mezcla es la estimada con base en agregado saturado y seco en la superficie. Este valor debe corregirse para tener en cuenta la humedad superficial libre contenida en el agregado. El contenido de agua de la solución de aditivos debe considerarse como parte del agua de amasado. (La Tabla 6-3 no incluye aditivos diferentes a los agentes aireantes.)

Si se especifica el contenido de cemento y se conoce la relación agua-cemento, las cantidades de agregados por metro cúbico de hormigón se pueden calcular del modo siguiente: el volumen total de partículas de agregado es igual a 1 metro cúbico menos el volumen de agua, menos el volumen de partículas de cemento, menos el volumen de aire atrapado o incorporado

TABLA 6-3 — CALCULO DE CANTIDADES DE MEZCLA PARA UN HORMIGON CON AIRE INCORPORADO Y CORRECCION POR LA HUMEDAD SUPERFICIAL DEL AGREGADO (relación agua-cemento = 0.50)

Propiedad	Cemento (3.15)*	Agua (1.00)*	Agregado (2.62)*	Agregado (2.67)*	Contenido de aire	Total	Peso unitario calculado kg/m ³
Kilogramos por tanda (agregado saturado y seco en la superficie)	350	175	694	1065	(5% volumen	2284	—
Volumen absoluto, litros	111	175	265	399	50	1000	2284
Humedad total en los agregados, porcentaje en peso (determinado mediante secamiento con calor)	—	—	1.9	1.0	—	—	—
Capacidad de absorción de los agregados, porcentaje en peso (determinado mediante ensayos)	—	—	0.2	0.5	—	—	—
Humedad superficial en los agregados, porcentaje en peso (humedad total menos humedad absorbida)	—	—	1.7	0.5	—	—	—
Humedad superficial en los agregados, kg (porcentaje × peso del agregado ÷ 100)	—	—	12	5	—	17	—
Peso de la tanda, kg	350	158	706	1070	—	2284	2284

NOTAS. 1. En este ejemplo no se considera el uso de aditivos con excepción del agente incorporador del aire.

2. La condición saturada y seca en la superficie corresponde al porcentaje de humedad en que el agregado m extrae agua de mezcla de la pasta m le proporciona agua adicional.

3. Si la humedad superficial de los agregados se determina directamente mediante ensayo, se omiten las líneas de absorción y humedad total.
* Peso específico relativo, SSS

(conocido o estimado). La relación arena-agregado o el contenido de agregado grueso deseados (como se mostró en el ejemplo previo) se usan para determinar las cantidades de los agregados fino y grueso.

Cantidades para mezclas en el campo

Las cantidades de materiales se suministran generalmente a los trabajos de campo en términos del peso de cada ingrediente. Estas cantidades aparecen como proporciones relativas a una porción unitaria de cemento, o, con muchísima más frecuencia, la cantidad de cada ingrediente se establece en peso real por metro cúbico de hormigón, suponiendo que los agregados están en condición saturada y seca en la superficie. Si se dan las proporciones en términos diferentes al peso, deberán convertirse a pesos antes de calcular los de la mezcla.

A causa de condiciones que varían entre la operación de campo y la de laboratorio, puede ser necesario que éste ajuste las proporciones en el campo para lograr la manejabilidad, la resistencia o el contenido de cemento deseados. Para una relación agua-cemento dada, la manejabilidad puede cambiarse alterando la relación de agregado fino a grueso, o cambiando las cantidades de agua y cemento, o utilizando aditivos químicos o minerales.

Después que se hayan hecho los ajustes necesarios para acomodar las proporciones de hormigón a otras condiciones de campo, es necesario que el inspector acomode los pesos de medición de los agregados y del agua para tener en cuenta los cambios en humedad de los agregados, con respecto a la condición saturada y seca en la superficie. La Tabla 6-3 ilustra sobre correcciones para la humedad superficial presente en los agregados. Una corrección tal no es un ajuste de "una sola vez" puesto que los contenidos de humedad de los agregados cambiarán, inclusive durante el día. Por consiguiente, se requieren verificaciones periódicas de los contenidos de humedad de los agregados y ajustes subsecuentes en la medición.

Control de campo de las proporciones seleccionadas

Las proporciones en el hormigón deben seleccionarse de tal manera que se obtenga la manejabilidad necesaria (lo mismo que la resistencia y durabilidad apropiadas) para la aplicación particular. La manejabilidad (incluyendo propiedades para un acabado satisfactorio) encierra características que están implícitas vagamente en los términos *trabajabilidad* y *consistencia*. Trabajabilidad es la propiedad del hormigón recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con la cual el material puede mezclarse, colocarse, compactarse y terminarse. Consistencia es la movilidad relativa o la habilidad para fluir del hormigón recién mezclado. Usualmente, se miden ambas en términos de asentamiento; mientras mayor el asentamiento más húmeda la mezcla, y más afecta la facilidad con la cual el hormigón fluye durante la colocación.

La manejabilidad está condicionada a los requisitos de colocación. Por las variaciones inevitables en los materiales, en el clima y en otras condiciones de trabajo, la consistencia cambia aunque se mantenga estrictamente una

cantidad fija de cada material constituyente (Fig. 6-5). No obstante, mientras más uniformes sean la gradación y el contenido de humedad de los agregados menor será el ajuste requerido. En la práctica, a la obra se debe suministrar hormigón que tenga una consistencia tan uniforme como sea posible. Se deberán ajustar las cantidades de agua añadidas en la hormigonera, según sea necesario para lograr lo anterior, de acuerdo con los procedimientos estipulados para ello en las especificaciones. En aquellos proyectos que requieren que un inspector vigile los procedimientos de medición y amasado, es su responsabilidad asegurar que se hagan efectivamente los ajustes a los pesos durante la medición. Tales ajustes deberán basarse en ensayos para determinar cambios en contenido de humedad, y, si es necesario, gradación de los agregados, de manera que se obtenga hormigón de consistencia casi uniforme. Este deberá también variar tan poco como sea posible en cuanto a relación agua-cemento, contenido de cemento, resistencia, o proporciones básicas de acuerdo con los requisitos de la especificación y la buena práctica. Por consiguiente, la uniformidad de pesos en la medición es muy importante.

En *hormigón con aire incorporado* el contenido de aire debe mantenerse tan uniforme como sea posible; de lo contrario, resultará una variación excesiva en rendimiento, manejabilidad, asentamiento, contenido de agua y de cemento, relación agua-cemento, resistencia y durabilidad. Con frecuencia, se deberán efectuar ensayos, para verificar que esté presente el contenido de aire apropiado. Puede ser necesario efectuar ajustes en la dosificación de los aditivos incorporadores de aire que se añaden en la hormigonera, cuando se presentan cambios importantes en la gradación de los agregados. Cuando haya aumentos en la cantidad de finos del agregado fino, incluyendo el uso de aditivos minerales, puede requerirse un incremento en la dosis del

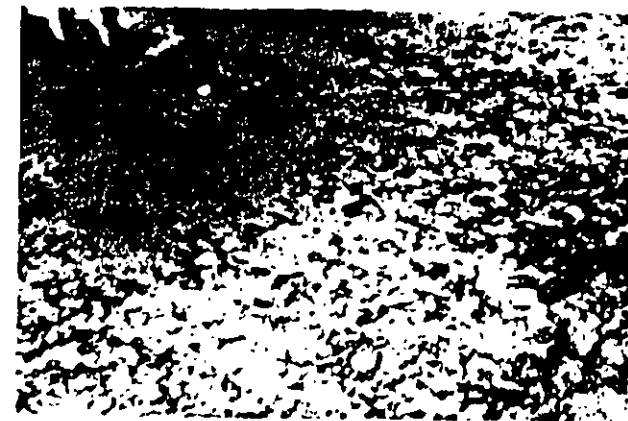


Fig. 6-5—Cuando el hormigón se seca demasiado rápido o su consistencia es demasiado dura, la operación de emparejamiento no permite cerrar la superficie.

agente aireante, con el fin de mantener el contenido de aire especificado. Los aditivos químicos (como, por ejemplo, los plastificantes o retardadores) generalmente incorporan algo de aire; así, si se usan éstos en conjunto con un agente aireante, a veces, la dosis requerida de tal agente es menor a la normal. La que se exige para mantener un contenido de aire específico, aumenta con la temperatura y viceversa. También aumenta con el uso de hormigón de bajo asentamiento (5 centímetros o menos), con altos contenidos de cemento y con hormigones de alta resistencia a edad temprana.

Los *cementos incorporadores de aire* (Tipos IA, IIA y IIIA, ASTM C 150) se producen con un agente aireante mezclado en la fábrica. Aunque resulta conveniente para algunos propósitos, el uso de cemento portland incorporador de aire vuelve difícil y aun incierto el ajuste en contenido de aire necesario para compensar los cambios de gradación de agregados, cantidad de aditivos o temperatura. Si se desea menos contenido de aire, el ajuste tiende a ser complejo, requiriendo menos cemento o un cemento diferente o la introducción en la mezcla de una porción de cemento no incorporador de aire. Aunque los ajustes para lograr el aumento en contenido de aire pueden hacerse mediante la adición de un agente aireante, los cementos incorporadores de aire son muy sensibles a la adición de pequeñas cantidades de los mencionados agentes. Por otra parte, la capacidad de incorporación de aire de tales cementos disminuye con la edad. En consecuencia, resulta difícil el control del contenido de aire del hormigón cuando se usan estos cementos en condiciones variables de campo.

El *contenido de humedad* del agregado en la mezcla, particularmente del agregado fino, debe ser objeto de vigilancia continua y, en lo posible, por medio de medidores de humedad. Se exige que la verificación sea rutinaria, varias veces al día, y siempre que haya indicación de cambios de humedad. Las proporciones de agregado prescritas, o las cantidades de éste para un cierto contenido de cemento, permanecen uniformes sólo cuando los pesos del agregado y del agua en la medición se ajustan para tener en cuenta la cantidad de agua en el agregado. Por ejemplo, el peso de agregado en la mezcla debe aumentarse por encima del peso especificado, seco en la superficie, para compensar con el peso del agua superficial y libre contenida en cada agregado; al mismo tiempo, el peso del agua en la mezcla debe disminuirse en la misma cantidad. Cuando el asentamiento es uniforme, la relación agua-cemento permanece constante con humedad variable del agregado, sólo cuando los agregados conservan uniformidad poco usual, en gradación entre tanda y tanda. Así que, para mantener una relación agua-cemento casi constante cuando el contenido de agua del agregado cambia, es necesario ajustar los pesos del agregado así como el del agua de la mezcla.

CALCULO DEL RENDIMIENTO

El *rendimiento* se define en la norma ASTM C 138 como el volumen de hormigón resultante de una mezcla de cantidades conocidas de los materiales componentes. *Cement and Concrete Terminology*¹⁶ lo define como el vo-

lumen de hormigón recién mezclado producido a partir de una cantidad conocida de ingredientes, o el peso total de los ingredientes dividido por el peso unitario del hormigón recién mezclado. El rendimiento se determina por el método del peso unitario. Los propósitos del cálculo del rendimiento son la estimación del contenido real de cemento y la verificación del volumen solicitado respecto del volumen observado en sitio. Si se obtiene la cantidad total del agua de amasado, se puede determinar la relación agua-cemento con fines de verificación.

Cálculo del rendimiento por medición del peso unitario

El cálculo de rendimiento por el método del peso unitario está descrito en la norma ASTM C 138. En este método estándar, el rendimiento se basa en el peso unitario del hormigón, determinado mediante el peso de una muestra del hormigón fresco. Este método toma en cuenta automáticamente el aire incorporado, o el atrapado, o ambos y es independiente del peso específico relativo de los ingredientes. El hormigón debe consolidarse en el recipiente del ensayo, ya sea por compactación con una varilla, ya por vibración, dependiendo del asentamiento, como lo indica la norma ASTM C 138, a menos que en las prescripciones se exija un método específico u otro cualquiera de ensayo aplicable. El rendimiento, en metros cúbicos de hormigón por tanda, se determina como sigue:

$$\text{rendimiento, m}^3 = \frac{\text{peso total de materiales, kg en la tanda}}{\text{peso unitario del hormigón, kg por m}^3}$$

La cantidad de cemento (o de otros ingredientes) por metro cúbico de hormigón es, entonces, el peso del cemento (o de otro ingrediente) en la tanda dividido por el rendimiento en m³.

Los pesos de materiales en una tanda típica son:

Cemento.....	1340 kg
Arena saturada y seca superficialmente.....	2640 kg
Agregado grueso saturado y seco superficialmente....	4080 kg
Agua.....	670 kg
Total.....	8730 kg

Al determinar el peso unitario del hormigón resultó ser de 2280 kg/m³

$$\text{Rendimiento} = \frac{8730}{2280} = 3.83 \text{ m}^3 \text{ de hormigón}$$

Utilizando el rendimiento calculado y el peso de cemento de la tanda, su cantidad por metro cúbico puede determinarse así:

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{1340}{3.83} = 350 \text{ kg por m}^3 \text{ de hormigón}$$

El método simplificado para hacer estos cálculos en el campo consiste en tomar como base para el contenido de cemento y el rendimiento por tanda, el peso real de una muestra de hormigón recién mezclado, tal como se entrega y los pesos de los materiales utilizados en la mezcla.

Para una tanda de cualquier tamaño:

$$\text{Rendimiento por tanda en m}^3 = \frac{\text{peso total de todos los materiales en la tanda (kg)}}{\text{peso unitario del hormigón (kg/m}^3\text{)}}$$

y el contenido de cemento en kilogramos por metro cúbico es:

$$\frac{\text{peso del cemento por tanda} \times \text{peso unitario del hormigón}}{\text{peso total de la tanda}}$$

o

$$\frac{\text{peso de cemento por tanda}}{\text{rendimiento, m}^3 \text{ por tanda}}$$

Nótese que no es necesario conocer el contenido de humedad del agregado, puesto que se pueden utilizar el peso húmedo de los agregados y el peso real del agua añadida, para calcular el peso total de la tanda.

Para obtener mayor precisión, el peso unitario deberá determinarse sacando el promedio de por lo menos tres mediciones, cada una de las cuales se toma de una muestra de tamaño amplio, y el ensayo ha de tener lugar en un recipiente de por lo menos 0.014 m³ de capacidad. Los proyectos que utilizan hormigón masivo con agregados grandes deben prescribir la determinación del peso unitario en recipientes más grandes, quizás hasta de 0.140 m³. En todos los casos, la consolidación deberá ser representativa de la que se efectúa y obtiene en el trabajo, sin olvidar que es posible sobrevivir el hormigón en un recipiente de muestra. Cada muestra ha de tomarse de la manera apropiada descrita en la norma ASTM C 172, "Muestreo de hormigón fresco", y ensayarse de acuerdo con la norma ASTM C 138 o ASTM C 567 (hormigón liviano), según corresponda.

Cualquiera que sea el método de mezclado o el tipo de hormigonera, o el método de entrega y colocación, a menudo ocurre que el volumen de hormigón endurecido en la estructura es menor que el que se esperaba de la cantidad mezclada, según las determinaciones y cálculos hechos con los ensayos de rendimiento. Parte de tal pérdida de volumen es inevitable, y la cantidad dependerá de la cantidad de sobre-excavación, del ensanchamiento de las formalejas, de la pérdida de aire incorporado, del desperdicio y del material regado, o de cantidades perdidas en el lavado de la hormigonera después de cada carga del camión mezclador. Excepto por esta agua de lavado, no hay otras pérdidas por las cuales deba responsabilizarse al proveedor de hormigón mezclado, puesto que están completamente fuera de su control. Se puede utilizar la experiencia para estimar el hormigón extra que es necesario suministrar, con el fin de compensar las pérdidas posibles en cualquier tipo particular de colocación.

CAPITULO 7 — MEDICION Y AMASADO

La meta de todos los procedimientos de medición y amasado es producir hormigón uniforme que contenga las proporciones requeridas de los materiales. Para lograr esto, es necesario asegurarse de que:

1. Los materiales se mantengan homogéneos y no se segreguen antes o durante la medición.
2. El equipo disponible mida adecuadamente las cantidades requeridas de material y que éstas puedan cambiarse fácilmente, cuando así se requiera.
3. Que se mantengan las proporciones requeridas de materiales entre tanda y tanda.
4. Que todos los materiales se introduzcan en la hormigonera en la secuencia apropiada.
5. Que todos los ingredientes queden completamente entremezclados y todas las partículas de agregado completamente cubiertas con pasta de cemento, durante la operación de amasado.
6. El hormigón, cuando se descargue de la hormigonera, deberá ser uniforme y homogéneo dentro de cada tanda y de tanda en tanda.

La medición puede hacerse en forma manual, semiautomática o totalmente automática. Como el propio nombre lo indica, en el proceso manual todas las operaciones de medición de los ingredientes de hormigón se hacen a mano. Las plantas manuales son aceptables para pequeñas obras con requisitos de producción de rata baja. Los intentos de aumentar la capacidad de las plantas manuales acelerando las tandas pueden conducir a pesadas inexactas. En un sistema semiautomático de medición, las compuertas de los silos de agregado para cargar las tolvas de medición se abren mediante botones o interruptores operados a mano. Las compuertas se cierran automáticamente una vez tiene lugar la entrega de la masa señalada de material. El sistema incluye trampillas que impiden la ocurrencia simultánea de cargas y descargas. En una planta del tercer tipo, la medición automática de todos los materiales se logra eléctricamente mediante la activación de un solo interruptor de arranque (Fig. 7-1). Sin embargo, el sistema interrumpe el ciclo de medición cuando la escala no vuelve a una posición que esté a menos de + 3 por ciento del cero de la balanza o cuando se excedan las tolerancias de pesado, previamente establecidas.

El amasado generalmente se hace en plantas centrales o locales, en hormigoneras de camión, hormigoneras de pavimento, hormigoneras portátiles en el sitio de colocación, o en una combinación de dos tipos. La medición y el amasado se cubren totalmente en la publicación "Recommended Practice for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete" (ACI 304).

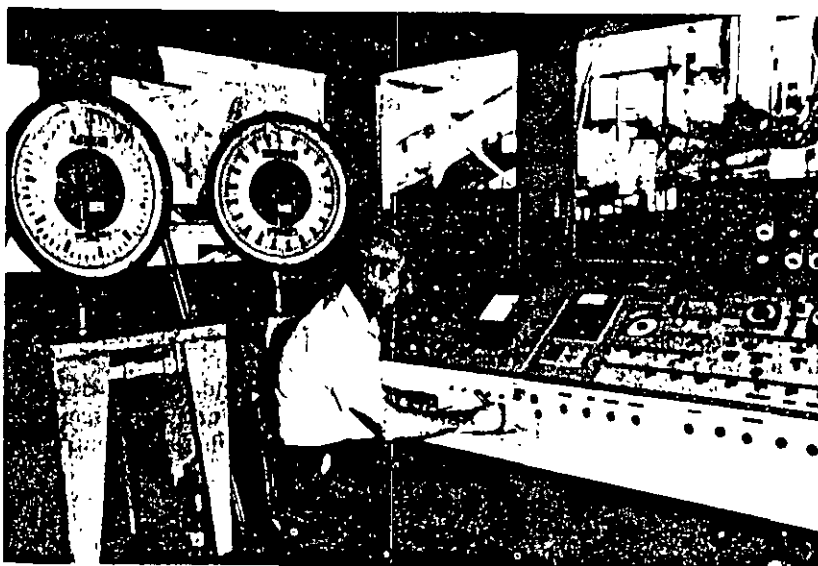


Fig. 7-1—Consola de control de una planta automática de dosificación.

OPERACIONES DE MEDICION

Tolerancias en la medición

Hormigón premezclado—Las tolerancias de las mediciones de ingredientes en el caso de hormigón premezclado aparecen en la norma ASTM C 94. La tolerancia admisible en el pesado del cemento depende de la cantidad que se vaya a pesar. Si ésta excede 30 por ciento de la capacidad total de la báscula, la tolerancia en la medición es ± 1 por ciento del peso requerido. Si se van a medir pesos menores, la tolerancia es como sigue: no menos de la cantidad requerida ni más del 4 por ciento en exceso de ella.

Si los agregados se pesan en medidores individuales, la tolerancia admisible en la medición es ± 2 por ciento del peso requerido, pero si se miden acumulativamente, la tolerancia es ± 1 por ciento del peso requerido acumulado, cuando éste excede el 30 por ciento de la capacidad de la báscula. Si los pesos acumulados de agregados son menores que el 30 por ciento de la capacidad, la tolerancia admisible es la menor entre ± 0.3 por ciento de la capacidad de la báscula y ± 3 por ciento del peso acumulado requerido.

Como se especifica en la norma ASTM C 94, el agua que se añade a la mezcla debe medirse y colocarse en el compartimiento con una precisión del 1 por ciento del agua total de amasado requerida (incluyendo la humedad superficial y el agua de los aditivos). El agua total debe medirse con una pre-

ción de ± 3 por ciento. En el caso de aditivos, la tolerancia de medición será la mayor entre ± 3 por ciento de la cantidad requerida y \pm la dosificación para 45 kilogramos de cemento.

Hormigón amasado en obra—Las tolerancias de los pesos de medición para hormigón amasado en obra figuran en "Specifications for Structural Concrete for Buildings" (ACI 301)⁴⁰. Se requiere que las básculas para pesar los ingredientes del hormigón tengan una precisión no inferior a ± 0.4 por ciento de sus capacidades totales. Las tolerancias de medición para los ingredientes, son:

Cemento	± 1 por ciento
Agua	± 1 por ciento
Agregados	± 2 por ciento
Aditivos	± 3 por ciento

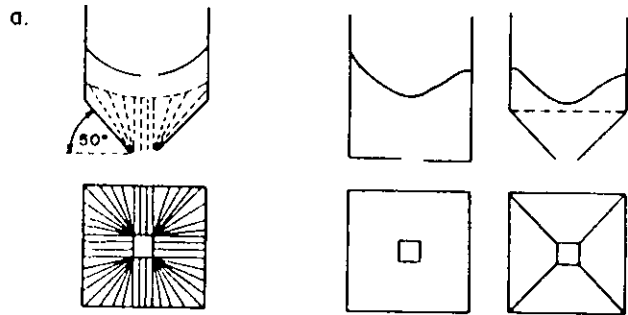
Equipo de pesaje

Las tolvas de pesaje deberán construirse de tal manera que los materiales se descarguen fácil y completamente por la acción de la gravedad, sin que se presenten acumulaciones de material que se pegue a ellas.

En todas las plantas semiautomáticas y automáticas, deberán proveerse trampillas de manera que: (1) el mecanismo de carga pueda abrirse o cerrarse únicamente cuando la báscula indique carga cero y cuando esté cerrada la compuerta de descarga de la tolva de pesaje, y (2) la compuerta de descarga pueda abrirse únicamente cuando el peso deseado esté completo dentro de la tolva y cerrado el mecanismo de carga. En máquinas automáticas que miden pesos acumulados, las trampillas se utilizan para asegurar que la báscula vuelva a cero antes de comenzar la medición y que cada material esté dentro de la tolerancia antes que se pese el siguiente. El operario de medición nunca deberá interferir los mecanismos de las trampillas.

Las tolvas de pesaje de agregados tienen que construirse de manera tal que se pueda inspeccionar fácilmente el material depositado en ellas y que el agregado pueda ser objeto de muestreo. En casos en que las muestras de agregado no se puedan tomar de las tolvas, han de serlo de la banda del sistema de transporte. En la Fig. 7-2 se muestran disposiciones deseables e indeseables de las tolvas de medición. Todas las partes que trabajan, en especial los apoyos de cuchilla, deberán estar en buena condición, libres de fricción, accesibles fácilmente para inspección y limpieza, y protegidas de que les caiga o se les adhiera material o sufran cualquier otra contaminación. Todas las tuercas susceptibles de aflojarse durante la operación estarán protegidas mediante artefactos de fijación. Las tolvas y compuertas de pesaje deben ser herméticas contra filtraciones.

Se exige hacer provisiones para ajustes en la cantidad de materiales de una tanda dada y para la fácil remoción del material en exceso de cualquier tanda. El mecanismo de pesado y los tableros indicadores deben disponerse de manera que faciliten una conveniente observación por parte del operario y del inspector, e indiquen el momento en que la cantidad correcta de material



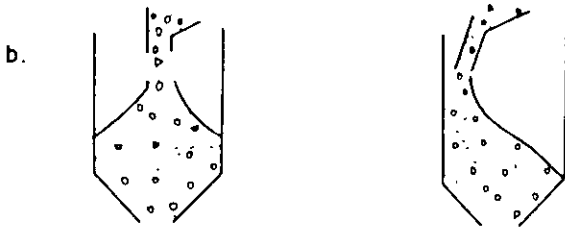
CORRECTO

EL FONDO COMPLETO FORMA UN ANGULO DE 50° CON LA HORIZONTAL, EN TODAS LAS DIRECCIONES QUE CONDUCEN A LA SALIDA, CON LAS ESQUINAS DEL SILO REDONDEADAS EN FORMA APROPIADA PARA QUE INTEGRO EL MATERIAL SE MUEVA HACIA ELLA

INCORRECTO

SILOS CON FONDOS PLANOS O CON LAS PENDIENTES DISPUESTAS DE MANERA QUE PRESENTAN ESQUINAS O AREAS EN QUE EL MATERIAL NO FLUYE FACILMENTE HACIA LA SALIDA, A MENOS QUE SE USE PALA

PENDIENTE DEL FONDO DE LOS SILOS DE AGREGADOS



CORRECTO

EL MATERIAL CAE VERTICALMENTE EN EL SILO, DIRECTAMENTE SOBRE EL ORIFICIO DE DESCARGA, A FIN DE PERMITIR QUE AQUEL SALGA, EN GENERAL, MAS UNIFORME

INCORRECTO

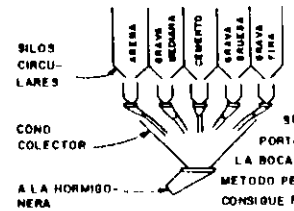
EL MATERIAL SE DESCARGA EN ANGULO CON LAS PAREDES DEL SILO EL QUE NO CAE DIRECTAMENTE SOBRE LA ABERTURA NO SIEMPRE SALE DE MODO UNIFORME.

LLENAMIENTO DEL SILO DE AGREGADOS

Fig. 7-2—Métodos correctos e incorrectos de dosificación.

c.

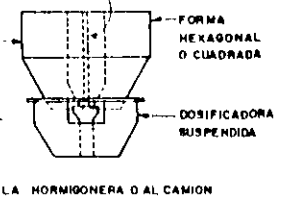
SILOS DE BRAVA DISPUESTOS CONCENTRICAMENTE ALREDEDOR DE LOS SILOS DE CEMENTO



ARREGLO PREFERIDO

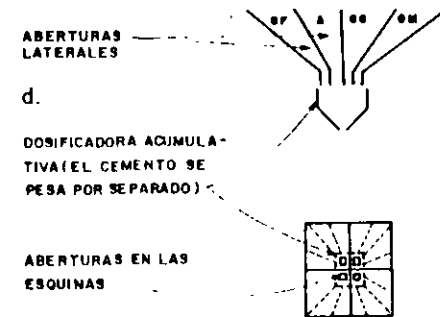
SE PESA AUTOMATICAMENTE CADA INGREDIENTE EN DOSIFICADORAS INDIVIDUALES Y SE DESCARGA A LA HORMIGONERA, POR MEDIO DE UN CONO RECOLECTOR LA DESCARGA DE LA DOSIFICADORA DE CEMENTO SE CONTROLA DE MANERA QUE ESTE PLUYA MIENTRAS SE VIERTE EL AGREGADO LAS DOSIFICADORAS, AISLADAS DE LA VIBRACION DE LA PLANTA, PERMITEN QUE SE CORRIGAN LAS SOBRECARGAS

SILO DE CEMENTO, SEPARADO EN EL CENTRO



ARREGLO ACEPTABLE

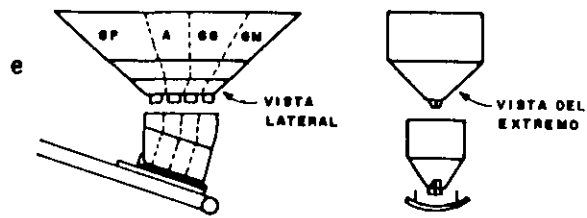
LOS AGREGADOS SE PESAN EN FORMA AUTOMATICA, BIEN POR SEPARADO, BIEN ACUMULATIVAMENTE. LAS DOSIFICADORAS ESTAN AISLADAS DE LA VIBRACION DE LA PLANTA Y EL EQUIPO REGISTRADOR DE PESAJE QUEDA CLARAMENTE A LA VISTA DEL OPERADOR ES NECESARIO QUE LOS MATERIALES SE DESCARGUEN EN LA SECUENCIA APROPIADA Y QUE SE EVITE EL FLUJO CONTINUO DE AGREGADOS SOBRE LA PARTE SUPERIOR DEL MATERIAL DE LOS SILOS ESTA DISPOSICION NO PERMITE CORRIGIR LAS SOBRECARGAS



ARREGLOS POCO CONVENIENTES

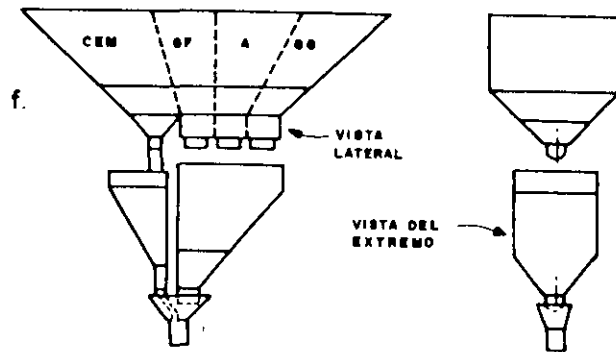
CUALQUIERA DE ESTOS ARREGLOS, CON LAS TOLVAS DE DESCARGA DE LOS SILOS MUY PROXIMAS, OCASIONA PENDIENTES PROLONGADAS DE MATERIAL EN LOS SILOS, QUE A SU VEZ CAUSAN SEPARACION Y PERJUDICAN LA UNIFORMIDAD

Fig. 7-2 (continuación)—Métodos correctos e incorrectos de dosificación.



ARREGLO PREFERIBLE

LOS AGREGADOS, LUEGO DE PESARLOS AUTOMATICAMENTE, EN FORMA ACUMULADA, SE CONDUEN A LA HORMIGONERA, POR MEDIO DE BANDA TRANSPORTADORA. EL CEMENTO SE PESA POR SEPARADO Y SE CONTROLA SU DESCARGA PARA QUE HAYA UN FLUJO SIMULTANEO CON EL SUMINISTRO DE AGREGADOS



ARREGLO ACEPTABLE

SE PESAN AUTOMATICAMENTE LOS AGREGADOS, EN FORMA ACUMULATIVA, EL CEMENTO SE PESA POR SEPARADO Y SU DESCARGA SE CONTROLA PARA QUE EL FLUJO OCURRA SIMULTANEAMENTE CON EL SUMINISTRO DE AGREGADOS.

Fig. 7.2 (continuación)—Métodos correctos e incorrectos de dosificación.

está en la tolva. Mayores detalles sobre las tolvas de pesaje se suministran en la Referencia 18.

Las básculas para el pesaje de los ingredientes de hormigón en la medición pueden ser de balancín, o de tablero pero sin resortes, y han de estar de acuerdo con las secciones aplicables de la última edición de la Referencia 41. Son también aceptables otros métodos de pesaje (eléctrico, hidráulico, celdas de carga, etc.), que cumplan con las tolerancias de pesaje establecidas atrás. Las básculas de balancín deben estar equipadas con un indicador de balanza suficientemente sensitivo para que acuse movimiento al colocar en la tolva de medición un peso igual al 0.1 por ciento de la capacidad nominal de la báscula. El viaje de la aguja indicadora deberá ser como mínimo de un 5 por ciento de la capacidad neta certificada de la mayor viga de pesaje en el caso de pesos por debajo, y de un 4 por ciento, en el caso de sobrepeso.

Cada planta ha de estar provista de por lo menos 10 pesos estándares de 25 kg (50 lb) que cumplan los requisitos del "National Bureau of Standards" sobre calibración y ensayo de equipo de pesaje; por medio de estas pesas de ensayo, el inspector deberá verificar las básculas hasta la cantidad total de las mediciones. Primero, se balanceará la báscula con carga cero, y luego de verificarla hasta el limite de los pesos, se removerán éstos; después se colocará suficiente material en la tolva de pesaje para producir la misma marcación en la báscula, a la cual se le volverán a aplicar pesos, para verificar su comportamiento con cargas mayores. Al paso que se registran las lecturas de la báscula para cada incremento de peso, se ajusta la propia báscula para que lea correctamente.

Por lo menos dos veces durante cada turno, las básculas operadas manualmente deben ser objeto de balanceo en carga cero. Los medidores automáticos con trampillas en el cero, requieren verificación para ver si suspenden el suministro en forma apropiada. La báscula y las tolvas de pesaje tienen que inspeccionarse frecuentemente en busca de juegos indebidos, o señales de desgaste, imprecisión o daño, o, de materiales que se pegan y no se descargan.

Ensayos de verificación—En plantas equipadas con dispositivos automáticos de alimentación y corte de la misma, y con registradores gráficos o digitales, un modo de comprobación consiste en aplicar cargas conocidas, en incrementos, con la ayuda de pesas de prueba (después de colocar la báscula en cero) y comparar la carga real con las lecturas correspondientes de la báscula o de la carátula del registrador. Luego se ajusta el mecanismo de la báscula de tal manera que la lectura esté de acuerdo con el peso real dentro de las tolerancias especificadas. El mecanismo de corte de carga se puede probar durante las operaciones regulares de medición, llevando el marcador que detiene la báscula hasta su posición normal en varios incrementos, durante un número de tandas sucesivas, y comparando las lecturas de la carátula en cada detención, con las posturas del marcador que se habían fijado antes. En algunas plantas será necesario ajustar tanto la alimentación principal como la de "goteo". El registrador y el mecanismo de corte deben ajustarse conforme a las tolerancias admisibles de pesaje.

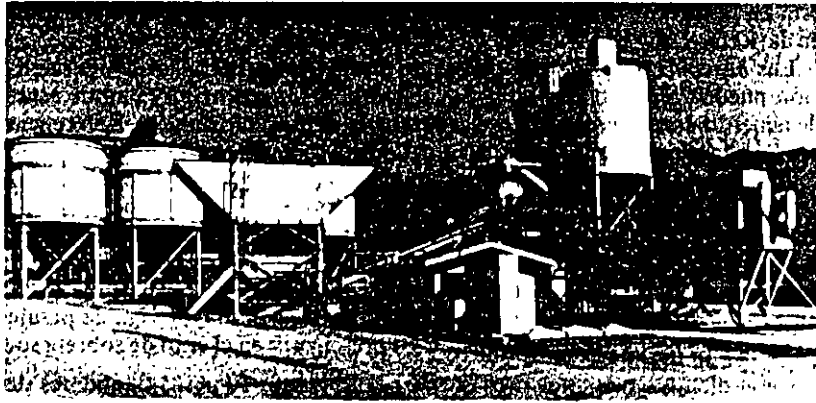


Fig. 7-3—Una planta bien organizada es de gran ayuda para el control adecuado de las proporciones. (En esta planta se lleva el agregado gradado de la tolva dosificadora de agregados, en el centro, a la tolva de amasado. El cemento se bombea desde los silos que se ven a la derecha).

Equipo de dosificación

En la Fig. 7-2 se muestran disposiciones deseables e indeseables del equipo de dosificación para grandes instalaciones. La planta de dosificación debe planearse en tal forma que esté de acuerdo con el tamaño del proyecto.²⁴ Los silos de la planta de dosificación han de tener tamaño adecuado para acomodar efectivamente la capacidad productiva de la planta, y sus compartimientos separar en forma adecuada los varios materiales del hormigón; en cuanto a la forma y disposición de los silos de agregados debe ser tal que prevenga la segregación y rotura del agregado (Fig. 7-3). Las tolvas de pesaje tienen que cargarse a través de compuertas de fácil operación, de cucharón de almeja o de tipo radial. Las compuertas utilizadas para cargar medidores semiautomáticos o automáticos han de operarse por motor y estar equipadas con un control apropiado de goteo para obtener la precisión deseada en el pesaje.

Los silos para cemento y puzolanas tendrán un sellador de polvo entre el silo y la tolva de pesaje. El sellapolvero se instalará de tal manera que no afecte la precisión de pesaje. Los silos de agregados deberán tener compartimientos separados propios para el agregado fino y para cada tamaño requerido de agregado grueso. Cada compartimiento deberá estar instalado de manera que la descarga se produzca libre y eficientemente, con segregación mínima, dentro de la tolva de pesaje.

Medición del agua—En las plantas de dosificación, por lo general, el agua se pesa, o se mide con un medidor (Fig. 7-4). En plantas más antiguas, el agua puede medirse volumétricamente en un tanque calibrado. El tanque o medidor se calibra midiendo o pesando muestras de tandas de agua, sacadas con varias marcaciones del aparato. Los medidores modernos operan bien

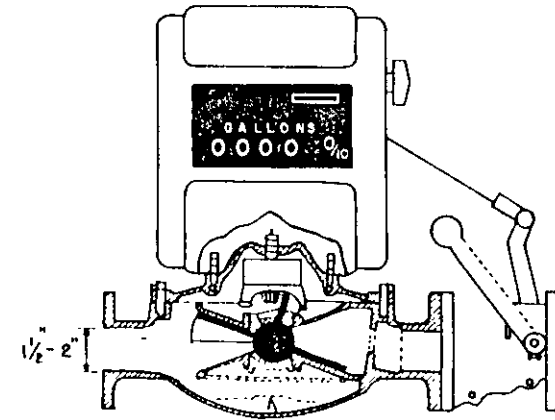


Fig. 7-4—El contador muestra la cantidad de agua suministrada a la hormigonera. Algunos medidores suspenden automáticamente el flujo al completarse la cantidad deseada.

en un amplio rango de presiones, pero son poco precisos a tasas de flujo muy bajas. No deberá haber ninguna filtración en el tubo que conduzca a la hormigonera, proveniente del medidor o de cualquier conexión o válvula, ni usarse ninguna disposición de válvulas que permita que agua no medida fluya en el mezclador de un tanque durante el cargue o descargue.

Si la hormigonera no se va a mantener nivelada en todos los momentos, como es el caso de hormigoneras de pavimentación que viajan sobre la subrasante, el tanque deberá calibrarse con pendientes e inclinaciones laterales que lleguen hasta los máximos a que pueda estar sometido en la obra. El tanque deberá ser, de preferencia, uno cuyas lecturas no se afecten con los cambios ordinarios de inclinación, como, por ejemplo, uno de cilindro vertical con descarga de sifón central.

Para el control apropiado del agua de amasado, es necesario tener en cuenta el agua libre del agregado. A menudo se usan medidores o sondas de humedad para vigilar el contenido de agua de los agregados finos. Las sondas de humedad deberán calibrarse comparando sus lecturas con los datos obtenidos del pesaje de cada muestra de agregado, antes y después de su secamiento al horno o sobre una parrilla de calefacción (ASTM C 566). El inspector tiene que estar seguro de que su muestra sea representativa.

Los *aditivos* en forma líquida han de suministrarse a la hormigonera ya por peso ya por volumen. Algunos fabricantes de aditivos líquidos suministran dispensadores que inyectan la dosis apropiada en el agua de amasado o en el agregado fino. En cualquier caso, el equipo dispensador tiene que cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 94; permitiendo una confirmación visual del volumen correcto para cada tanda, y descargas lo suficientemente lentas como para eliminar cualquier posibilidad de una doble

dosificación inadvertida. Véase también el Capítulo 2 de "Guide for Use of Admixtures in Concrete".²² Cuando se usa aditivo líquido concentrado, se asegura mejor precisión si se prepara en solución diluida antes de la dosificación.

Cuando se emplean dos o más aditivos en el hormigón, éstos deberán agregarse en forma separada para evitar que se mezclen entre sí, antes de combinarse con el agua de amasado que ya esté en contacto con el cemento. Esta precaución tiene por objeto impedir cualquier posible interacción química que podría causar solidificación parcial de los aditivos, disminuir la eficiencia de cualquiera de ellos, o afectar adversamente al hormigón. Los aditivos líquidos (y los aditivos en polvo que se disuelven en agua antes de usarlos) tienen que incorporarse al flujo del agua de amasado que está dosificándose a la mezcla. Es necesario agitar constantemente los tanques de suministro de aditivos durante las operaciones de dosificación, para prevenir el posible asentamiento de materiales, cuando el aditivo es material que tiende a sedimentarse en la suspensión.

Hay que pesar los aditivos en polvo que se usan sin disolverse primero en agua, pues ocurren grandes fluctuaciones cuando la medida se hace por volumen. La mayoría de las especificaciones prohíben la dosificación de estos aditivos por volumen. Los aditivos en polvo que se vayan a usar en pequeñas cantidades deben empacarse con anterioridad. Sin embargo, hay que desestimular el uso de aditivos en polvo, a menos que sea absolutamente necesario, puesto que son difíciles de dosificar y de combinar en forma apropiada con la mezcla.

Dosificación y mezclado por volumen

Hoy en día se encuentra en el mercado equipo moderno de dosificación volumétrica combinada con mezclado continuo. La medición y mezclado volumétrico puede ocurrir no sólo en plantas fijas, centrales, o en la obra, sino también en camiones que llevan agregados, cementos y otros ingredientes en compartimientos separados y mezclan hormigón fresco en el sitio de colocación. La norma ASTM C 685, da especificaciones para la dosificación y mezclado volumétricos. Deberá vigilarse cuidadosamente la rata de producción de tales hormigones mediante verificaciones frecuentes (Véase el Capítulo 6) de la cantidad de hormigón producida durante algún número especificado de revoluciones del equipo, o por algún otro indicativo de producción. Con este fin, se recomienda descargar entre 70 y 85 dm³ (2 ½ a 3 pies³) de hormigón en una caneca de 130 a 210 dm³ (35 a 55 galones), que a su vez pueda colocarse en una báscula. Esa cantidad de hormigón pesará entre 160 y 230 kg (350 y 500 lb). Las tolerancias de medición son las mismas que para la dosificación por peso.

Medición de los materiales—El cemento, los agregados finos y gruesos, el agua y los aditivos tienen que medirse con precisión y alimentarse a la hormigonera en flujo uniforme. Siempre que se emplee dosificación por volumen, es preciso disponer de contadores, aperturas calibradas de compuerta o medidores de flujo que permitan controlar y determinar la cantidad de in-

gredientes descargada. Los mecanismos de dosificación y los indicadores se han de verificar individualmente, siguiendo las recomendaciones del fabricante del equipo en lo que se relaciona con cada unidad individual de dosificación y mezclado de hormigón. Deberán seguirse también las recomendaciones del fabricante en lo que respecta a la operación del equipo y al uso y calibración de los varios medidores: contador de revoluciones, indicador de velocidad y demás artefactos de control.

Mecanismo de mezclado—El mezclado continuo deberá efectuarse mediante una hormigonera del tipo de tornillo sin fin, o de cualquiera otro apropiado para la mezcla de hormigón que cumpla los requisitos requeridos de consistencia y uniformidad de la norma ASTM C 685.

OPERACIONES DE MEZCLADO

Son requisitos esenciales para el mezclado satisfactorio del hormigón que los materiales queden distribuidos uniformemente en toda la mezcla y que todas las superficies de agregado resulten bien cubiertas con la pasta agua-cemento. Para lograr esto en tiempo razonable hay que buscar que la hormigonera esté limpia y en buenas condiciones, tenga un diseño apropiado, particularmente en lo que respecta a las cuchillas, no se sobrecargue sino que se cargue en forma correcta y se opere a la velocidad óptima recomendada por el fabricante. Las válvulas que controlan el agua de amasado no deberán permitir que ésta se filtre a la hormigonera.

Amasado central o en el sitio

Un poco antes que empiece el amasado del hormigón, deberá examinarse la hormigonera para ver que las paletas de mezclado y el interior del tambor estén limpios; que aquellas no aparezcan desgastadas en más de un 10 por ciento, y que el reloj de dosificación y el contador de revoluciones (si se especifican) funcionen en forma apropiada. El tambor de la hormigonera debe ser hermético.

Es necesario que haya una placa de referencia donde aparezca la capacidad máxima de la hormigonera y la velocidad de amasado (Fig. 7-5).

Carga de la hormigonera—El agua deberá suministrarse a la hormigonera, de preferencia, durante todo el periodo de carga del material seco, empezando un instante antes y terminando inmediatamente después de la carga de los materiales secos. Todos éstos han de introducirse al mismo tiempo, ojalá de manera que fluyan como "cintas" y tan rápidamente como sea práctico. No hay que permitir que haya pérdidas de materiales, ya sea por derrame o por pulverización, durante la carga.

Cuando los agregados se dosifican por peso, hay que ajustar los pesos de la tanda de cuando en cuando durante la operación, para compensar las variaciones en el contenido de humedad del agregado. Mediante especificaciones o instrucciones complementarias es preciso indicar claramente en qué condiciones de agregado se basó la dosificación de la mezcla y si agregado

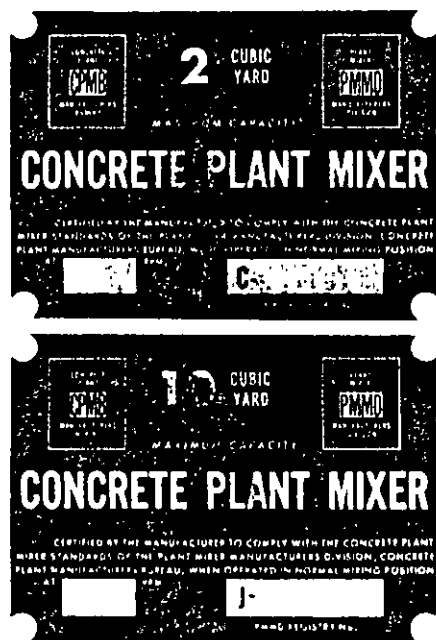


Fig. 7-5—La placa de clasificación de la hormigonera de planta muestra la capacidad máxima de mezcla de hormigón y la velocidad de rotación del tambor.

“seco” significa seco al aire, seco al horno, o saturado y seco en la superficie. La base seleccionada deberá usarse en todos los cálculos de dosificación.

Al comienzo de una tanda es posible que la cantidad de humedad de los agregados difiera del valor promedio puesto que, usualmente, el agregado se extrae de la parte inferior del silo. Deberá hacerse ajustes de sentido común para compensar estas variaciones mientras se logra estabilizar las condiciones; o mejor aún, deberán desocuparse los silos y volverse a llenar con agregado de contenido de humedad conocido.

Temperatura del agua—El agua caliente puede estar a cualquier temperatura que no conduzca a problemas de fraguado o de formación de bolas de cemento y se usa de tal manera que se produzca hormigón de características uniformes a la temperatura requerida. Otras causas de formación de bolas en el cemento son: la introducción de éste antes del agregado grueso, paletas desgastadas de la hormigonera, cemento o agregado caliente, y demora en el mezclado en las hormigoneras de camión.

Tiempo de amasado—El tiempo necesario de amasado varía con el tamaño y un poco con el tipo de hormigonera. En ausencia de especificaciones de tiempo de amasado, los requisitos comunes para las hormigoneras estacionarias son los contenidos en la norma ASTM C 94, que requiere un tiempo de amasado mínimo de un minuto para tandas de un metro cúbico o menos, y quince segundos adicionales por cada metro cúbico adicional o fracción del mismo. Si se desean tiempos de amasado más cortos, éstos deberán

determinarse a partir de los resultados de ensayos de comportamiento, tal como se describe en la norma ASTM C 94, siempre y cuando el tiempo sea suficiente para producir hormigón uniforme.

En caso necesario, tendrá que haber tiempos de amasado mayores para lograr que los resultados de los ensayos de comportamiento estén a la altura del estándar. Algunas veces se requieren esos tiempos más largos de amasado al emplear equipo pobre o sucio, aunque el uso de un tal equipo no debería permitirse. En hormigoneras centrales grandes y modernas, la falla en obtener hormigón bien mezclado entre 45 y 75 segundos es, en la mayor parte de los casos, debida a un procedimiento o secuencia de carga ineficiente. Las paletas desgastadas también afectarán la eficiencia. El inspector deberá utilizar un control de tiempo para verificar a menudo el amasado, puesto que la hormigonera es, por lo general, el cuello de botella en el trabajo. Habrá que descargar la tanda completa antes de volver a cargar la hormigonera (excepto cuando se trata de hormigoneras de pavimentación de tambor múltiple).

Debe entenderse claramente el tiempo efectivo del ciclo en el cual se considera que empieza el amasado y la descarga, puesto que la diferencia de unos pocos segundos por tanda puede afectar el costo considerablemente. Programando en forma apropiada las cargas y descargas, se pueden obtener altas ratas de producción sin descuidar el tiempo de amasado. La hormigonera deberá operarse a la velocidad recomendada por su fabricante.

Ocasionalmente, cuando se presentan demoras en el proceso es deseable continuar el amasado de la tanda durante varios minutos. Aunque se considera benéfico el amasado adicional durante unos pocos minutos por lo que añade en uniformidad y resistencia, el amasado excesivo es perjudicial puesto que hay alguna acción de molienda durante la mezcla, particularmente cuando se trabaja con agregados blandos. Deberá establecerse un tiempo máximo de amasado real permisible;²⁴ si la tanda se va a demorar más tiempo, la hormigonera deberá operarse sólo a intervalos. Si bien algunas especificaciones limitan el tiempo después del amasado durante el cual puede utilizarse el hormigón, no hay razón para tal límite de tiempo siempre y cuando que el hormigón pueda colocarse apropiadamente y consolidarse del todo, sin adición de agua.

El efecto del tiempo de amasado sobre el contenido de aire requiere atención especial. De acuerdo con la Referencia 43, el contenido de aire en porcentaje total se aumenta en aproximadamente 1 por ciento cuando el tiempo de amasado se aumenta de 1 a 5 minutos. Luego permanece constante durante los cinco minutos siguientes de amasado; pero al cabo de 10 minutos, el aire se pierde gradualmente si se continúa la mezcla. El Capítulo 5 discute las diferencias entre aire incorporado, atrapado, y total. El *incorporado* es el que debe retenerse en el hormigón.

Es indispensable suministrar controles para asegurar que la tanda no pueda descargarse hasta que haya pasado el tiempo de amasado requerido. Por lo menos tres cuartos de dicho tiempo deberán transcurrir después de haber añadido la última parte del agua de amasado.

Segregación en la hormigonera—Si la última porción de una tanda descargada de la hormigonera contiene exceso de agregado grueso, tal condición debe corregirse ajustando la hormigonera, la secuencia de carga, o el tamaño de la tanda. Cuando esto ocurre en forma aislada, el ingeniero puede permitir que la porción segregada de una tanda se conserve hasta la siguiente, con la corrección apropiada para el menor rendimiento. La uniformidad se determinará lavando muestras que se toman de diferentes porciones de la tanda a medida que se descarga ésta; la cantidad de agregado grueso en una parte no debe diferir grandemente de la obtenida en la otra.

En la norma ASTM C 94 se recomiendan límites de uniformidad. Esa norma pone en lista seis ensayos de dos muestras de hormigón, representativas de las porciones primera y última de la tanda que está siendo ensayada. En la Tabla 7-1 se presentan los ensayos y las diferencias máximas permisibles entre las muestras.

Cuando los resultados de cinco de los seis ensayos del ejemplo en la norma ASTM C 94 están dentro de los límites, esto indica que el hormigón es uniforme. Puede dársele aprobación tentativa a la hormigonera, pendiente de los resultados de los ensayos de resistencia a compresión a los 7 días.

Las Referencias 8 y 44 indican ensayos de uniformidad para la hormigonera que son algo diferentes. El "Bureau of Reclamation" exige que se tomen sendas muestras al principio y al final de la tanda, en forma similar a lo requerido por la ASTM C 94. Las muestras se ensayan por si hay variaciones en la cantidad de agregado grueso y en el peso unitario de mortero libre de aire. El Cuerpo de Ingenieros exige, que se tomen sendas muestras, al comienzo, mitad y final de la tanda. Dichas muestras se ensayan para determinar el peso unitario del mortero libre de aire, la cantidad de agregado grueso, el contenido de agua, y el contenido de cemento. En dichas normas se indica, también, un ensayo abreviado para hallar la cantidad de agregado grueso y el peso unitario de mortero libre de aire.

Equipo de transporte—El hormigón mezclado en planta central puede transportarse en hormigoneras de camión, o en agitadoras móviles, o en recipientes apropiados que no lo agitan, aprobados por el comprador. El equipo que no agita debe tener cuerpos metálicos, lisos y herméticos con compuertas para controlar la descarga, y estar provistos de cubiertas para proteger al hormigón de la intemperie. Los requisitos de uniformidad para el hormigón no agitado son los mismos que se discutieron atrás. En la siguiente sección, que trata de hormigón premezclado, se discuten los requisitos para agitadores y hormigoneras de camión.

Hormigón premezclado

Hormigón premezclado es el que se amasa en planta central fija, o en camión, o el que proveniente de mezcla empezada en planta fija y terminada en tránsito, se fabrica para su entrega al comprador en estado plástico, sin endurecer.¹⁶ La norma ASTM C 94 se aplica al hormigón premezclado. Detalles adicionales hay sobre esto en las Referencias 18, 42 y 45. La discusión previa en este capítulo, referente al amasado central y en el sitio, se aplica

TABLA 7-1 — DIFERENCIAS PERMITIDAS ENTRE ENSAYOS

Ensayo	Máxima diferencia permitida
Peso unitario del hormigón (calculado libre de aire)	16 kg/m ³
Contenido de aire (porcentaje en volumen)	1 por ciento (diferencia numérica en unidades de porcentaje)
Asentamiento 10 cm o menos 10 a 15 cm	2.5 cm 3.8 cm
Contenido de agregado grueso (porcentaje en peso)*	6.0 por ciento (diferencia numérica en unidades de porcentaje).
Peso unitario de mortero libre de aire**	1.6 por ciento (diferencia en porcentaje)
Resistencia a compresión (a los 7 días)	7.5 por ciento (diferencia en porcentaje)

*Razón entre el peso del agregado retenido al lavar éste sobre tamiz N° 4 y el peso total de la muestra de hormigón.

**Véase el método en la Referencia 8 (designación 26)

a las operaciones de premezclado que utilizan una planta de amasado central. Esta sección se dedicará al hormigón amasado en camión o cuya mezcla se empieza en planta y se termina durante el tránsito, y que se entrega en la obra en camiones hormigoneras o agitadoras. Los ensayos de uniformidad de la hormigonera, discutidos atrás, se aplican también a las hormigoneras de camión.

Métodos para ordenar hormigón premezclado—La norma ASTM C 94 da tres métodos alternos para hacer los pedidos. El comprador especifica el sistema de pedido que usará, lo mismo que el tamaño máximo de agregado, el tipo de éste (normal o liviano), el asentamiento y el contenido de aire. Cada sistema de hacer pedidos asigna diferentes responsabilidades para determinar la dosificación que proporcione la calidad de hormigón requerida.

La alternativa 1 de la norma ASTM C 94 se aplica cuando el comprador asume la responsabilidad de la dosificación del hormigón. En este caso, además de los requisitos anteriores, el comprador debe especificar el contenido de cemento, el máximo contenido de agua admisible, incluyendo la humedad superficial del agregado, y los tipos, nombres y límites de dosis de los aditivos, en caso de que se utilicen.

La alternativa 2 se aplica cuando el comprador exige que el fabricante asuma responsabilidad total por la dosificación del hormigón. Además de los requisitos de asentamiento, tamaño de agregado, etc., el comprador debe especificar la resistencia a compresión requerida en el punto de descarga.

El fabricante debe proporcionar al comprador la dosificación planeada de la mezcla y evidencia de que los materiales y proporciones allí establecidos suministrarán la resistencia requerida (resultados de la mezcla de ensayo o registros de producciones anteriores).

La alternativa 3 se aplica cuando el comprador especifica un contenido mínimo de cemento pero requiere que el fabricante asuma la responsabilidad de la dosificación del hormigón. En este caso, además de los requisitos de asentamiento, tamaño de agregado, contenido de aire, etc., el comprador debe especificar también la resistencia a compresión requerida en el punto de descarga, el contenido mínimo de cemento y los tipos, nombres, y límites de dosis de los aditivos si se utilizan éstos. Si así lo solicita el comprador, el fabricante deberá proporcionarle la dosificación de la mezcla planeada y evidencia de que los materiales y proporciones resultarán en hormigón de la resistencia exigida. Cualesquiera que sean las resistencias requeridas, la cantidad de cemento usado no será menor que la mínima especificada.

En las alternativas 1, 2, y 3, cada dosificación deberá tener un rótulo distintivo para facilitar la identificación de cada mezcla que se entregue en el proyecto. Esta designación se mostrará claramente en el tiquete de entrega. La Sección 15 de la norma ASTM C 94 indica 10 ítems obligatorios de información y 8 adicionales (si así lo exigen las especificaciones de la obra) que han de suministrarse en el tiquete de entrega.

Requisitos para hormigoneras y agitadoras de camión—La norma ASTM C 94 establece que cada hormigonera y agitadora de camión debe tener adosada una placa metálica (Fig. 7-6), con la siguiente información: volumen bruto del tambor, capacidad de amasado de hormigón, velocidades rotatorias mínima y máxima del tambor, y de las cuchillas o paletas. Cuando el amasado se efectúa en tránsito, el volumen amasado de hormigón no debe exceder el 63% del volumen total del tambor o recipiente. Si el hormigón se amasa en una planta fija central, el volumen de hormigón en la hormigonera o agitadora de camión no ha de sobrepasar el 80% del volumen total. La hormigonera o agitadora de camión debe tener contadores u otros medios de verificación del número de revoluciones antes de la descarga. En la Referencia 45 se encuentran estándares para hormigoneras y agitadoras de camión.

Todas las hormigoneras de camión deben ser capaces de combinar completamente los tres ingredientes en una masa uniforme dentro del tiempo o número de revoluciones especificadas, así como las agitadoras, de conservar el hormigón mezclado en una masa uniforme y de descargarlo después con un grado satisfactorio de uniformidad. Se pueden tomar muestras, después de la descarga de aproximadamente un 15 a un 85 por ciento de la carga, para hacer ensayos de asentamiento y verificar la uniformidad. Si estas difieren más de lo requerido en el test de uniformidad discutido atrás, debe efectuarse el ensayo completo de uniformidad y corregirse tal condición, o, de lo contrario, se requerirá un tiempo de amasado más largo, una carga más pequeña o una secuencia más eficiente de carga.

Las hormigoneras y agitadoras han de examinarse frecuentemente para detectar cambios en su condición, debidos a acumulaciones de hormigón en-



Fig. 7-6—En un camión-hormigonera no se debe amasar ni transportar una mezcla por encima de la capacidad indicada en su placa de clasificación. Cuando sólo se opera como agitador si puede transportarse una cantidad mayor.

durecido, o a cuchillas desgastadas. También, es preciso examinar que no haya fuga de agua del tanque respectivo a la hormigonera del camión.

Comunicación—Es preciso que se establezca una comunicación efectiva entre el punto de descarga del hormigón premezclado y la planta de amasado o dosificación central, a fin de efectuar rápidamente cualquier cambio sobre dosificación necesario para obtener la manejabilidad o consistencia apropiadas.

INSPECCION

Inspección de la planta

En las plantas de amasado, ya sea en sitio, ya en centrales, el inspector deberá verificar que se usen el tipo y cantidad de cementos especificados, hacer los ensayos necesarios de calificación de los materiales, los cambios indispensables en la dosificación, observar la medición y mezclado en la central y verificar la precisión de los artefactos de medida. Si se requieren ensayos de masa unitaria, contenido de aire, o asentamiento en el sitio de la planta, éstos han de estar a cargo del inspector. De la misma manera, si se requiere en el sitio de la planta la toma de especímenes de resistencia el inspector de-

berá hacerla y cuidar de que éstos se almacenen apropiadamente para entregarlos al laboratorio de pruebas en el momento oportuno.

El control del contenido de agua es medio importante de asegurar la calidad del hormigón. El inspector de planta deberá observar continuamente el suministro de agua para asegurarse de que tenga lugar en forma apropiada como se discutió atrás, y haciendo los ajustes necesarios para tener en cuenta el contenido de humedad de los agregados. Algunas plantas están equipadas con medidores de humedad para hallar la de los agregados. El inspector ha de asegurarse de que dichos medidores estén bien calibrados y se usen correctamente. Algunas plantas también usan medidores de consistencia o de momento torsor. Estos también deberán tener correcta su calibración y ser usados con buen criterio. (Véase más adelante el subpárrafo que trata sobre el control de consistencia).

Fuente de variación en cuanto a consistencia, son las fluctuaciones en presión del agua, puesto que en ocasiones, cuando dicha presión es baja, el estanque de medida no se llena completamente antes de la descarga. Esto puede evitarse con el uso de entrecierres efectivos, o de otros medios, como se discutió previamente.

Control de contenido de aire—Es más fácil obtener contenido de aire correcto cuando se usa un aditivo inclusor de aire, cuidadosamente medido. El uso de cementos incorporadores de aire lleva a menudo a contenidos de éste más bajos y erráticos, y hace más difícil aumentar su volumen con la adición de un agente aireante, por ser tales cementos muy sensibles a dosis muy pequeñas de dichos agentes.

Cuando se requiere incorporación de aire los porcentajes máximo y mínimo se especifican, por lo general, para cada tamaño máximo del agregado que contenga el hormigón. Las cantidades pertinentes se discuten en el Capítulo 5, además, puede haber recomendaciones específicas en las Referencias 7, 36 y 40, o en las especificaciones del proyecto. Por lo general, la cantidad de aire requerido es menor para agregado de tamaño máximo mayor, puesto que el contenido de pasta es menor. (Véase el Capítulo 5, para aclarar la diferencia entre aire total, aire atrapado y aire incorporado). Se necesita menos aire (del orden de un 2 a 3 por ciento menos) cuando sólo se desea mejorar la manejabilidad y cohesión de la mezcla, y no su resistencia a la congelación y descongelación. En algunas aplicaciones, las especificaciones del proyecto pueden permitir que exista aire incorporado pero no requerirlo. En otras aplicaciones, las especificaciones pueden prohibir su uso; esto ocurre, por lo general, cuando se requiere máxima densidad o resistencia muy alta.

En vista de los muchos factores que afectan el contenido de aire y puesto que el asentamiento es sensible a los cambios en él, la uniformidad de este último se afecta adversamente cuando se usa aire incorporado. Algunas veces, cuando no se necesita aire incorporado para incrementar la durabilidad, se encontrará que es también innecesario desde el punto de vista de la manejabilidad. Esto es particularmente cierto cuando las proporciones de la mezcla son favorables y cuando se utilizan aditivos plastificantes o puzolanas que incorporan una pequeña cantidad de aire.

Cualquiera que sea la cantidad seleccionada de aire incorporado, es importante que el hormigón contenga uniformemente una cantidad de aire próxima a la cantidad deseada, tanda tras tanda y día a día. Esto es importante porque de una parte, la presencia de demasiado aire disminuye innecesariamente la resistencia sin que se presente una mejora en durabilidad que haga la suficiente compensación, y de otra, si hay muy poco, no proporcionará la manejabilidad y durabilidad deseadas. Si la arena y el contenido de agua son mínimos para una cierta cantidad de aire incorporado, una caída en contenido de aire puede causar una pérdida seria de manejabilidad.

Las variaciones del contenido de aire, obtenido en la obra para una cierta dosis de agente incorporador de aire, pueden resultar de uno o más factores. Muchos de éstos son reconocibles cualitativamente, pero todos varían en forma cuantitativa. El inspector debe aprender a anticipar los cambios en contenido de aire resultantes de condiciones variables. La cantidad de aire incorporado con una dosis dada puede variar como resultado de cambios en fortaleza del agente, marca o tipo de cemento, puzolana u otro aditivo, temperatura de la mezcla, asentamiento, o duración del amasado. Una dosis dada producirá menos aire según que se eleve la temperatura de la mezcla, que el amasado se prolongue excesivamente en los camiones hormigoneras, que el asentamiento sea más bajo, que haya un aumento en finura del cemento o de la puzolana. Es previsible que el uso de cloruro de calcio afecte la cantidad de aire incorporado. La dosis deberá aumentarse o disminuirse, según sea necesario, para mantener el contenido de aire del hormigón en la cantidad correcta.

En cada turno se prescribe hacer uno o dos ensayos de rutina, o más a menudo si hay razón para sospechar un cambio, con el fin de verificar que se estén obteniendo las cantidades correctas de aire. Cuando se deseen indicaciones frecuentes y rápidas del contenido aproximado de aire, se puede utilizar un pequeño medidor de bolsillo (Chace), pero el resultado no ha de servir como base para aceptar o rechazar las tandas. En caso de duda, el hormigón deberá ensayarse por uno de los métodos aprobados. La pérdida de manejabilidad puede provenir de una reducción drástica en contenido de aire, así como la excesiva lisura y superfluidez, de excesivo aire incorporado. El contenido de aire del hormigón puede determinarse por tres métodos, cuya descripción y ventajas individuales se discuten en el Capítulo 19. Existen en el mercado varias clases de instrumentos que miden directamente el contenido de aire de una muestra representativa de hormigón, colocada en forma correcta en un recipiente. Los métodos de medida volumétricos y de presión se describen en el Capítulo 19 y en las normas ASTM C 173 y C 231.

La cantidad de aire que realmente importa es la que queda en el hormigón colocado después que éste se consolida. Las pérdidas de aire que ocurren tanto en el manejo y transporte como durante la vibración del hormigón después de colocado, pueden no reflejarse en los ensayos de contenido de aire de muestras tomadas en la hormigonera, salvo por el grado en que la consolidación de la muestra, en el recipiente del medidor de aire, represente la consolidación que se lleva a cabo en las formaletas. Afortunadamente, el primer

aire que se pierde como resultado de estas manipulaciones son las burbujas más grandes de aire atrapado, que no contribuyen a la durabilidad. Sin embargo, hechos tales como agitación o amasado largos en las hormigoneras de camión, o vibración excesiva, pueden reducir seriamente la cantidad de aire efectivo incorporado, en especial, cuando la cantidad inicial de éste es menor que la recomendada en el Capítulo 5.

Ocasionalmente, y en particular cuando resulta previsible que haya ocurrido una pérdida significativa, deberá hacerse un ensayo del contenido de aire en el hormigón después de vibrado en su sitio. Es de especial importancia que la superficie y la porción superior de las losas de pavimento y de tableros de puente, lo mismo que las superficies expuestas de las estructuras hidráulicas, contengan la cantidad especificada de aire incorporado. Entonces hay que hacer ensayos frecuentes del mortero de la superficie con un medidor de aire del tipo de bolsillo. Si se ha perdido más de la cuarta parte de la cantidad observada cuando el hormigón estaba en la hormigonera, deberán corregirse las prácticas que causan pérdidas excesivas o incorporarse, inicialmente, aire adicional que compense dicha pérdida.

Control de temperatura—Como se anota en el Capítulo 9, la alta temperatura dentro del hormigón plástico puede causar evaporación excesiva y dificultades en la colocación y acabado. Las altas temperaturas del hormigón combinadas con ciertos factores atmosféricos, como fuertes vientos y baja humedad, conducen a veces también a secamiento excesivo o demasiado rápido y a contracción plástica. De acuerdo con esto, la mayoría de las especificaciones limitan la temperatura del hormigón en el momento de colocarlo. Así que es esencial medir la temperatura de la mezcla con anterioridad a su colocación. Hay en el mercado varias clases de termómetros tipo aguja, apropiados para este ensayo. Se debe registrar la temperatura cada vez que se efectúe un ensayo de asentamiento, o de contenido de aire, o cuando se hacen cilindros de hormigón para ensayo. Si se espera que las temperaturas del hormigón plástico sean menores de 10°C (50°F), y si la temperatura baja está causando dificultad, se puede utilizar agua tibia como agua de amasado. Sin embargo, vale la pena anotar que las temperaturas bajas que no causen peligro de congelación, son ventajosas para la calidad última del hormigón y su no agrietamiento. (Véase en el Capítulo 16 el efecto de las altas temperaturas en grandes secciones de hormigón, como las que se encuentran en el hormigón masivo).

El hielo es mucho más efectivo que el agua fría en la reducción de las temperaturas de la mezcla de hormigón, principalmente porque el hielo absorbe calor cuando se derrite (80 calorías/gramo de hielo). El agua resultante de la fundición absorbe calor adicional a una tasa de 1 caloría/gramo por cada grado C de cambio cuando su temperatura se eleva de 0°C a la final de la mezcla. El agua fría, en cambio, no solamente no tendrá la absorción de calor que se presenta durante el cambio de fase, sino que, desde el punto de vista práctico, comenzará en alguna temperatura más alta que la de congelación, por ejemplo 2 o 4°C y absorberá 1 caloría/gramo por cada grado C de cambio hasta la temperatura final de la mezcla.

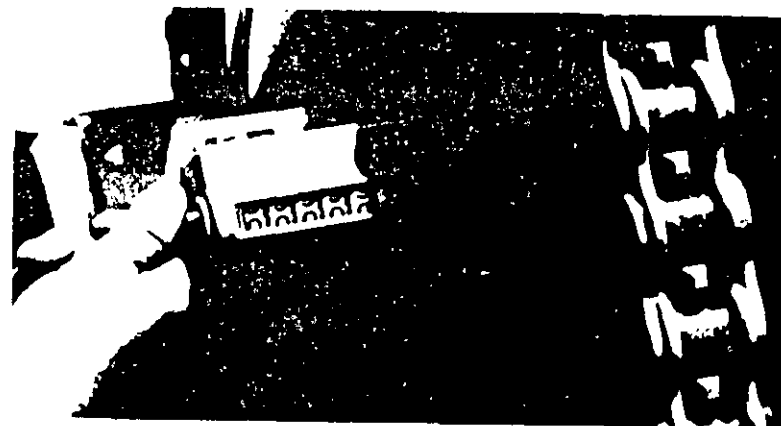


Fig. 7-7—El contador de revoluciones de la hormigonera ayuda a conservar uniforme la consistencia del hormigón. Para hormigón premezclado se permite girarla entre 70 y 100 revoluciones, a la velocidad de amasado prescrita.

Inspección de la colocación

El inspector del hormigón premezclado deberá verificar el contador de revoluciones de la hormigonera de camión (Fig. 7-7), para confirmar que el número de revoluciones a la velocidad de amasado está dentro de los límites prescritos (por lo general, 70 a 100), y que las otras revoluciones son sólo a velocidad de agitación: asimismo, determinar la consistencia del hormigón entregado, y tomar los especímenes de prueba requeridos. Por lo demás, sus deberes son similares a los establecidos para el hormigón amasado en obra.

La *pérdida de asentamiento* durante el intervalo de tiempo entre amasado y colocación es, algunas veces, problema serio cuando se usa hormigón premezclado, pues requiere, a menudo, la adición de agua extra que resulta en un aumento del contenido de agua por unidad de volumen. Algunas especificaciones requieren que la pérdida de asentamiento no exceda de 25 milímetros (1 pulgada). Las pérdidas de asentamiento mayores son objetables porque crean, en general, una demanda de contenido de agua inicial más alto para proporcionar un mayor asentamiento inicial que compense la pérdida del que ocurrirá antes de la colocación. La pérdida de asentamiento aumenta con el tiempo transcurrido desde el comienzo del amasado hasta la colocación, y se agrava con temperaturas altas, agregados absorbentes, fraguado falso severo del cemento, mezclas ricas, o uso mal aconsejado de un acelerante.

Las correcciones en pérdidas de asentamiento deben hacerse atacando las causas. Si las temperaturas son altas, entre los métodos prácticos para bajar las del hormigón y sus alrededores están: poner hielo en el agua de amasado, rociar los agregados, formaletas y subrasantes con agua, sombrear los

materiales y trabajar únicamente de noche o durante las primeras horas de la mañana. Si la culpa radica en un transporte demasiado largo, deben hacerse arreglos para que el agua se añada y el amasado se efectúe sólo después que los camiones lleguen al sitio de las formaletas, o por lo menos, para que se demore el amasado hasta pocos minutos antes de la llegada. Si hay demasiada demora entre la descarga de la primera y la última parte de cada tanda, es aconsejable reducir el tamaño de las tandas así como verificar que el cemento se mantenga tan frío como sea posible y libre de cualquier tendencia hacia el fraguado falso. La relación agua-cemento deberá verificarse cuidadosamente, así como aumentarse los requisitos de cemento en lo que sea necesario, para corresponder con los aumentos en contenido de agua unitaria.

Control de consistencia—Como se estableció en el Capítulo 6, es deseable mantener constante la consistencia del hormigón para una clase dada de trabajo, con el fin de simplificar las operaciones de transporte, colocación y acabado. La colocación de hormigón en sitios profundos exige el uso de una consistencia más seca cerca a la parte superior para compensar en algo los efectos de la exudación. Si el suministro de agregados varía en gradación o contenido de humedad, o si se requieren diferentes consistencias para partes diferentes del trabajo, es preciso hacer ajustes en las dosificaciones de uno o más materiales. Una de las obligaciones más importantes del inspector consiste en observar la consistencia del hormigón en la hormigonera, en los mecanismos de transporte y, especialmente, en las formaletas. De estas observaciones deberá determinar si está empleándose la consistencia práctica más seca, juzgando desde el punto de vista de su manejabilidad en las formaletas y, en particular, de la respuesta del hormigón a la vibración. En ocasiones, el inspector tendrá, él mismo, que palear o trabajar el hormigón, para determinar si es apropiado o no. Es preciso contar con comunicación telefónica o de radio entre el sitio de la formaleta y la planta, a fin de que se ejerza el mejor control sobre la consistencia, especialmente, si se usan camiones hormigoneras.

Es tendencia general de algunos trabajadores hacer la consistencia del hormigón tan húmeda como sea posible, puesto que una consistencia así reducirá el trabajo de colocación (pero no necesariamente el requisito de trabajo total). Sin embargo, el uso de una consistencia más húmeda resulta, bien en menor resistencia del hormigón, bien en un requisito mayor de cemento, dependiendo de si se diluye la pasta agua-cemento, o se añade más cemento para mantener la relación agua-cemento en el nivel requerido. A mayor contenido de agua, mayor contracción del hormigón. Más aún, los hormigones con mucha agua tienen una tendencia mayor a la segregación. De ahí que la mezcla sólo ha de contener la cantidad de agua que sea absolutamente necesaria para su apropiada colocación.

Por lo general, la consistencia se regula variando la cantidad de agua añadida en la hormigonera, con base en la consistencia observada o en la proveniente de ensayos o en experiencia de tandas previas. Si los agregados tienen contenido de humedad y gradación uniformes, habrá poca necesidad de va-

riar la cantidad de agua añadida. No obstante, el contador de agua no deberá fijarse en una cantidad determinada, puesto que las variaciones inevitables en la humedad de los agregados resultarían entonces en consistencia variable. El promedio del contenido de humedad de los agregados y el promedio del requisito de agua adicional en la hormigonera demostrarán si la mezcla promedio cumple o no con las especificaciones, en lo que respecta a la relación agua-cemento. Si no ocurre así, la mezcla (no la consistencia) deberá ajustarse, según esto, cambiando los volúmenes apropiados de sólidos, para mantener el mismo rendimiento por tanda.^{7,8} Deben verificarse también los extremos de alto contenido de agua; y si ellos resultan en valores más altos que los admisibles de relación agua-cemento, hay que usar una mezcla más rica, o bien tomar acción efectiva para controlar los finos en el agregado grueso. El tamizado final en la planta de medición, el mantenimiento de las pilas de almacenamiento y de los silos de la planta de medición tan llenos como sea posible, y la limpieza y desecho rutinarios de la acumulación de finos en la parte inferior de los silos ayudarán enormemente a prevenir variaciones en los agregados, y, por consiguiente, en el requisito de agua de amasado. Es preciso que el contenido de humedad de los agregados se mantenga tan constante como sea posible.

Es necesario hacer ensayos de consistencia de cuando en cuando para llevar un registro y poder determinar el cumplimiento con los requisitos de las especificaciones, pero la manejabilidad del hormigón y la adecuación de su consistencia tienen que juzgarse desde el punto de vista de cómo está respondiendo el hormigón al trabajo y vibración en las formaletas, y no únicamente por los resultados del ensayo. Habrá que proceder también a hacer un ensayo, y el registro del mismo, cuando se rechaza hormigón con demasiada agua. El ensayo usual para registro de la consistencia es el de asentamiento hecho de acuerdo con la norma ASTM C 143 (Fig. 7-8). El resultado de un solo ensayo de asentamiento no ha de constituir base de rechazo, puesto que el ensayo mismo está sujeto a variación considerable, particularmente si los técnicos que lo efectúan no han sido entrenados en forma adecuada. Por ejemplo, el asentamiento indicado puede ser demasiado si la base está sometida a sacudimiento, o indicar que es demasiado rígido si la base es tosca o seca. En ausencia de requisitos de especificación, habrá que establecer tolerancias permisibles en el asentamiento, en lugar de un valor fijo único.

El ensayo de consistencia con bola Kelly es tan simple y rápido que se puede hacer inclusive en las formaletas, y consiste en observar la penetración de una bola metálica de 15 cm y 13.6 kg en el hormigón fresco (ASTM C 360) (Fig. 7-9). En condiciones normales, la penetración es muy próxima a la mitad de la que se obtiene con el ensayo de asentamiento, pero esta relación no se mantiene necesariamente para todas las condiciones de ensayo.

De preferencia, los ensayos de consistencia y de contenido de aire del hormigón han de hacerse simultáneamente, puesto que los aumentos en contenido de aire aumentan el asentamiento, y viceversa.

Cuando se aprueba una hormigonera de camión para amasado y entrega de hormigón, no tiene por qué añadirse agua alguna después de la introducción inicial de agua de amasado para la tanda, excepto cuando el hormigón

llega al sitio de la obra con menor asentamiento del especificado. Corresponde sólo al usuario autorizar la adición de agua en el sitio; tal adición deberá registrarse por el inspector y anotarse en el tiquete de entrega. El agua que se añade para que el asentamiento quede dentro de los límites especificados, pero sin exceder la relación agua-cemento de diseño, deberá inyectarse en la hormigonera en las condiciones de presión y flujo necesarias para cumplir los requisitos de uniformidad de la norma ASTM C 94. Es imprescindible que se hagan girar el tambor o las cuchillas unas treinta revoluciones adicionales, o más, a velocidad de amasado, hasta que la uniformidad esté dentro de los límites. En ningún momento posterior ha de añadirse agua a la mezcla.

Las primeras tandas de hormigón tienden a ser erráticas puesto que las condiciones de medición no se han estabilizado todavía y porque el mortero o la pasta se pegan a la hormigonera o a los dispositivos de transporte. Para eliminar esta tendencia, usualmente la primera tanda tendrá más arena y será algo más rica y húmeda que lo normal; estos tres efectos pueden lograrse

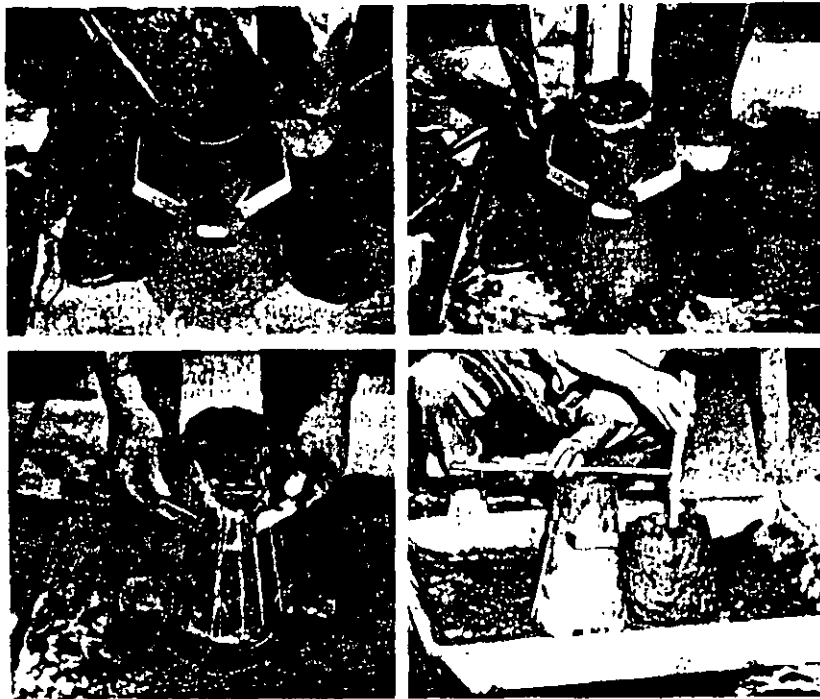


Fig. 7-8—El ensayo de asentamiento se hace sobre una superficie lisa, no absorbente, por ejemplo, una lámina metálica. Debe alisarse la superficie para que no se vea sacudida por la presencia de un equipo cercano. El cono se mantendrá en posición sosteniéndolo entre los dos pies.



Fig. 7-9—El ensayo de penetración de la bola se efectúa bajando ésta suavemente sobre una superficie nivelada del hormigón y observando cuanto penetra en él, mediante la guía de un estribo que descansa sobre la superficie.

convenientemente con sólo sacar parte del agregado grueso, elaborando la nota pertinente de la respectiva reducción en volumen de la tanda. Un cambio tal en la relación de los tamaños del agregado debe hacerse bajo supervisión apropiada. En ningún caso se ha de permitir que las tandas iniciales del hormigón tengan consistencias en la parte seca del asentamiento especificado.

Si el tiempo entre las operaciones de amasado del hormigón y de su colocación final en las formaletas es demasiado largo, la mezcla probablemente se ha hecho tan rígida que no sea posible consolidarla satisfactoriamente. El grado de rigidez más allá del cual no puede consolidarse el hormigón dependerá de la naturaleza de la colocación y de si se utiliza o no vibración efectiva. Cuando apenas se inicie la rigidez, deberá procederse a hacer las correcciones necesarias si el tiempo no es reducible suficientemente. Por lo general, la causa puede ser achacable a la evaporación excesiva del agua de amasado por el sol o el viento, a una alta absorción, no anticipada, del agua de amasado por los agregados, a alta temperatura de uno o más de los ingredientes, al uso de un acelerador inapropiado, o a características de rigidez prematuras del cemento. Algunas veces el comportamiento defectuoso de los vibradores da una falsa indicación de rigidez.

Medición de la cantidad de hormigón—El hormigón puede medirse: por volumen en las tolvas de recepción, o en las formaletas; por peso, o por la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua, aire y agregados. De

acuerdo con la norma ASTM C 94 que rige el hormigón premezclado, la base de la venta es el rendimiento en volumen de la tanda, determinado mediante el cociente entre el peso total de los materiales medidos y el peso unitario del hormigón fresco sin fraguar. Al paso que tales medidas son de interés principalmente para el productor y el contratista, sirven como verificación de las cantidades de dosificación de la tanda y, por tanto, del contenido de cemento. Véase el Capítulo 6.

CAPITULO 8 — INSPECCION ANTES DE HORMIGONAR

El inspector tiene que comprender la importancia de efectuar una inspección cuidadosa antes que tenga lugar el hormigonado. Debe verificarse la condición de la preparación de la tierra en cuanto a compactación apropiada y contenido de humedad, así como mojarse completamente el material de fundación, de tal manera que proporcione humedad al hormigón durante el curado. Por otra parte, no han de permitirse charcos de agua puesto que éstos aumentarán la relación agua-cemento del hormigón que esté en contacto con la tierra. La colocación inapropiada del refuerzo puede conducir a agrietamiento severo, a corrosión del acero, y a deflexiones excesivas, (inclusive, a fallas). El hermetismo y alineación de las formaletas, el aceitado para su fácil remoción, y la limpieza, son todos requisitos para obtener no sólo superficies expuestas estéticamente agradables, sino también hormigón sano. Cualquiera de las imperfecciones comunes y resultados decepcionantes en las construcciones de hormigón pueden atribuirse a menudo a que no se le puso atención suficiente a la preparación adecuada para el trabajo.

ESTUDIO PRELIMINAR

Al llegar por primera vez a la obra, el inspector tiene que familiarizarse, tan pronto como sea posible, con los planos y especificaciones y con los requisitos esenciales de cualquier código de construcción y especificación relacionados con la misma o a que se haga referencia. Si no hay un grupo de ingeniería separado, el inspector deberá ver que todos los planos se correspondan unos con otros, con las especificaciones y con cualquier instrucción especial; examinar todos los planos de fabricación y de montaje o colocación, y verificarlos con los planos del contrato. También deberá verificar el acero de refuerzo y demás detalles por si hay problemas potenciales de construcción.

Igualmente, el inspector está obligado a observar el conjunto general de la obra, así como la planta del contratista, su equipo y organización; a prestar atención particular al equipo y a los procedimientos de compactación de la subrasante; a las facilidades de medición y amasado y transporte del hormigón, a la planeación y limpieza de las juntas de construcción; y al equipo de vibración del hormigón. También es de su competencia revisar los métodos que se van a usar para el curado, desformaletrado, apuntalamiento y desapuntalamiento, y los procedimientos propuestos de ensayo; el familiarizarse con las condiciones en el sitio (linderos, rasantes, cimentaciones); con la localización de los derechos de vía; con carreteras, corrientes, tuberías, alcan-

tarillados, postes, cables y otros servicios públicos, subterráneos o aéreos, que podrían verse afectados por la construcción; con las disposiciones regulares y especiales de tránsito; y los reglamentos de seguridad.

INSPECCION DEL TRABAJO PREPARATORIO

Antes de colocar el hormigón en una sección dada del trabajo deben inspeccionarse la excavación, las formaletas, los entibados, el refuerzo y los elementos embebidos para asegurar que cumplan con los requisitos de la especificación. También, antes de comenzar la colocación del hormigón, el inspector debe asegurarse de que se han hecho los preparativos necesarios para formar las juntas de construcción y para curar y proteger el hormigón. Con el objeto de mantener mínimas las demoras, la inspección tiene que ser continua, a través de las tres etapas de trabajo, como se indica a continuación.

Preliminar—La inspección preliminar ha de ocurrir cuando se haya completado la excavación y construido las formaletas. Si las dimensiones y estabilidad de éstas son satisfactorias, el contratista puede proceder entonces a limpiar la cimentación, a aceitar el encofrado, y a instalar los refuerzos e incrustaciones.

Semifinal o de "limpieza"—Cuando todo está en su sitio y listo para el hormigonado, es el momento de hacer una inspección detallada de las cimentaciones, formaletas y refuerzo, y de todas las piezas o equipo que vayan a quedar embebidos en el hormigón. Si las instalaciones son satisfactorias, el trabajo queda listo para la limpieza final.

Final—La inspección final se hace inmediatamente antes de colocar el hormigón y sin que las formaletas y las armaduras hayan sido desplazadas. Es preciso que las superficies estén limpias, y que se las humedezca, si tal cosa quedó especificada. Todos los ítems pertinentes contenidos en el formulario de verificación descrito al final de este capítulo, deben diligenciarse en forma apropiada.

Suponiendo que se hayan cumplido todos los requisitos referentes a la adecuación de los materiales, proporciones y condiciones de trabajo (clima, hora, iluminación, equipo, protecciones para el curado, etc.), el contratista puede entonces proceder a la colocación del hormigón.

Excavación y cimentación

Las superficies excavadas contra las cuales se vaya a colocar hormigón (Fig. 8-1) deben estar de acuerdo con la localización, dimensiones y forma especificadas y con los correspondientes requisitos de compactación y humedad. También ha de dejarse previsto drenaje cuando sea necesario. Véase el Capítulo 13 para la discusión de las cimentaciones de pavimentos.

Cuando se trata de construir losas sobre el terreno, la subrasante debe compactarse según las especificaciones del trabajo. El tipo de material de la subrasante dictamina el tipo de equipo de compactación requerido. Los materiales cohesivos (arcillas) se compactan mejor por medio de rodillos o de equi-

po apisonador, y los materiales sin cohesión (arena y materiales granulares), utilizando equipo vibratorio de compactación. El inspector está obligado a prestar atención particular a la compactación a lo largo de los bordes de las paredes de cimentación. Deben eliminarse las zonas blandas y dársele consideración especial a toda porción susceptible a quedar posteriormente sometida a asentamiento o a hinchazón. Entre estas se cuentan las fisuras, las capas inclinadas, las capas de arcilla y las capas de arena que contienen agua. Es indispensable compactar muy bien los rellenos de zanjas y baches.

En las cimentaciones de edificios, la excavación ha de continuar hasta que se llegue a material firme; en cuanto al suelo de cimentación debe tener la capacidad requerida en el diseño, y ser el suelo original, sin perturbar, o un suelo compactado adecuadamente. Cuando se excava hasta llegar a roca, la superficie de ésta deberá estar sana, completamente expuesta y quedar, en general, en posición normal a la dirección de la carga, además de tener la capacidad requerida en el diseño. En caso de requerirlo así, habrá que encajonar las cimentaciones en la roca. Cuando se requiera efectuar voladuras, las cargas deben controlarse de tal manera que no reciban daño las otras cimentaciones o el trabajo terminado. En el caso de cimentaciones impor-



Fig. 8-1—Una zanja cuidadosamente excavada servirá de formaleta para vigas de hormigón apoyadas sobre el terreno, sin necesidad de un encofrado de madera. El refuerzo se colocará a nivel apropiado antes de vaciar el hormigón.

tantes, se exige, generalmente, la aprobación del ingeniero residente, antes que pueda procederse a colocar el hormigón.

Las superficies contra las cuales se va a colocar hormigón deberán estar limpias y húmedas, y si se trata de la subrasante, ésta no puede ser blanda. Las superficies de cimentaciones en roca se limpian de preferencia con chorros de agua o de agua y aire, seguidos por chorro de aire para quitar el exceso de agua. Es necesario remover los charcos de agua que se formen.

Si se va a colocar hormigón contra superficies viejas del mismo material, o encima de ellas, la superficie del hormigón vaciado previamente deberá limpiarse de aceite, grasa, nata u otra materia extraña, de preferencia, mediante chorro de arena húmeda. También resulta apropiado el lavado con chorro a presión ultra alta. Las especificaciones requieren, algunas veces, que se le dé aspereza a la superficie. La rugosidad en sí misma no es necesaria para obtener adherencia, si se obtiene una superficie muy limpia comparable en limpieza a la de un corte fresco. Lo mejor para una buena adherencia es una superficie de junta limpia cuyo aspecto se aproxime al de sequedad sin agua libre. (Véase en la Referencia 8, pp. 271 y 292, lo concerniente a superficie "seca" para una junta óptima).

Colocación bajo el agua—No es aconsejable colocar hormigón bajo agua, excepto por permiso expreso de las especificaciones o del ingeniero. En tal caso, la excavación y limpieza de la cimentación deberá hacerse con mayor cuidado que el ordinario, puesto que es una operación difícil de realizar y de inspeccionar. Para mayores detalles sobre el hormigonado bajo agua véase el Capítulo 15.

Cimentaciones con pilotes—Cuando el hormigón va a soportarse por medio de pilotes, el inspector deberá verificar el número, localización y penetración de cada uno de ellos. Después de hincar los pilotes, habrá que informar sobre cualquier desviación respecto del alineamiento teórico que se haya salido de la tolerancia especificada.

Formaletas para edificios

Las formaletas para edificios no se soportan el hormigón, para que se pueda verificar el número y posición en el sitio correcto, y que se asegure que tengan las dimensiones correctas antes de la colocación. Los puntos gobernantes de alineación y pendiente quedan a cargo del grupo de ingeniería, pero es posible que el inspector tenga que hacer mediciones adicionales desde estos puntos y en otros intermedios. En muchos casos, una plantilla hecha en casa servirá como medio conveniente y preciso de verificar dimensiones y alineación; y siempre habrá que tener a mano una regla precisa de longitud apropiada. Las irregularidades son detectables mediante una inspección visual cuidadosa. En ocasiones, será necesario colocar la plomada o establecer líneas de alineación. Las formaletas tendrán que verificarse tan pronto termine su montaje, de manera que sea factible corregir los errores con mínima demora.

Es previsible que la localización y dimensionamiento de las formaletas después de haberlas llenado de hormigón difieran de las que tenían cuando fueron construidas y colocadas, puesto que el peso del hormigón, de los trabajadores y del equipo empleado en la colocación del material puede haber ocasionado su asentamiento, desplome o pandeo. El inspector tendrá que verificar que se utilicen en las formaletas amarres y arriostamientos idóneos, para prevenir que ocurra cualquier fenómeno de pandeo. Este también exige que se controle, mediante el uso de miembros suficientemente rígidos que prevengan su ocurrencia. Tal vez sea necesario proporcionar apuntalamientos a intervalos más próximos que los previstos, para impedir el combamiento de las bases de las formaletas. El asentamiento de los puntales es evitable cuando se proporcionan áreas adecuadas de apoyo en el terreno. En algunos trabajos, puede ser necesario ajustar los puntales (por medio de gatos de tornillo) para mantener las elevaciones apropiadas. La publicación "Specifications for Structural Concrete for Buildings", ACI 301, administra tolerancias para las dimensiones del hormigón fraguado. Estas tolerancias se aplican al hormigón recién terminado, no a las formaletas. Estas deberán construirse y colocarse tan exactamente como sea posible, respecto de las alineaciones, pendientes y dimensiones indicadas, excepto cuando sea necesario construir con contraflecha como se discute en el párrafo siguiente.

El asentamiento y la combadura son controlables cuando se proporciona una ~~regla precisa~~ **una regla** ampliamente usada consiste en ~~que se asegure que las formaletas de pisos de vigas de hormigón estén~~ **Las contraflechas en las formaletas son responsabilidad del contratista. En vaciados de hormigón de cualquier tamaño o importancia, deberán instalarse dispositivos "testigos" (cuerdas de alineación y de plomada puestas en sitio durante las operaciones de colocación) en varios lugares de formaletas, particularmente en aquellos donde pueda esperarse asentamiento o deflexión. Estos testigos darán advertencia oportuna de cualquier movimiento o deflexión de las formaletas. Se pueden tomar, entonces, acciones inmediatas para detener tales movimientos o deflexiones, o al menos para controlarlos dentro de los límites prescritos. Se necesita que haya un trabajador dedicado todo el tiempo de colocación del hormigón a verificar estos testigos; así como cualquier filtración para detenerla, y a verificar y apretar las formaletas, accesorios y arriostamientos según se requiera. Los puntales que soportan pisos sucesivos tienen que colocarse directamente debajo de los que están debajo) y el número total de pisos encimbrados ha de ser el adecuado para soportar las cargas totales involucradas. Se debe proceder con generosidad en el amarre y arriostamiento de las formaletas (Fig. 8-2), ya que es usualmente imposible volver a colocar en posición una formaleta que se haya combado o deslizado al llenarse.**

El hormigón fresco ejerce, al ser vibrado, presiones máximas del orden indicado en las Tablas 8-1 y 8-2 correspondientes a la Referencia 46.

Si hay cualquier duda sobre la seguridad y rigidez de las formaletas y no cabe tomar ninguna acción correctiva, el constructor deberá consignar por escrito en una nota, la posibilidad de obtener resultados insatisfactorios. Si se utilizan formaletas ascendentes o de "levantar" (Fig. 8-3), una vez iza-

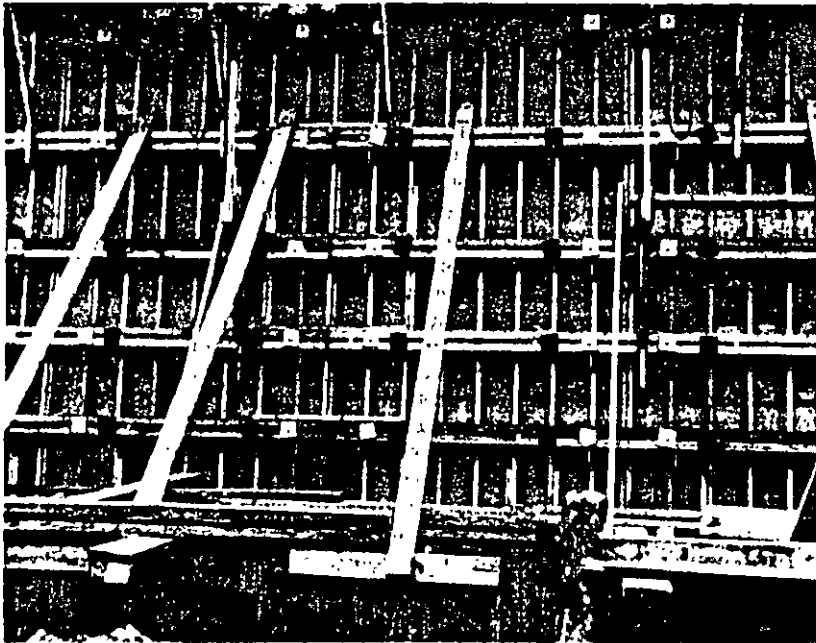


Fig. 8-2—Utilizando encofrados precisos, herméticos y bien arriostrados, con superficies aceltadas o humedecidas para impedir que se peguen al hormigón, puede lograrse que éste tenga apariencia agradable, sin necesidad de acudir a ningún tratamiento decorativo especial.

das, deberán empujarse apretadamente contra el hormigón ya fundido. ~~Se debe asegurar que las juntas de las formaletas estén perfectamente selladas y que no haya huecos entre ellas. Después de haber colocado las formaletas, habrá que volver a colocar las formaletas de manera que el revestimiento traslape al hormigón solo unos 25 milímetros, más o menos. En las cercanías de la junta tienen que utilizarse pernos de amarre grandes para asegurar que la formaleta se mantenga apretada al hormigón endurecido durante la colocación y vibración del nuevo hormigón.~~

Habrá que prestar atención particular a los apuntalamientos y formaletas de los voladizos. Los apoyos deberán continuarse por abajo en forma adecuada, para que estén en capacidad de soportar todas las cargas involucradas. Las juntas de construcción que se presentan donde una sección de piso se deja por fuera para ser instalada posteriormente, pueden crear secciones del miembro que tienen que actuar como voladizos hasta que el miembro sea terminado. El hormigón a ambos lados de tales juntas debe estar soportado por una cimbra adecuada mientras se llena la junta y todo el hormigón desarrolla suficiente resistencia para actuar como un vano.

TABLA 8-1 — MAXIMA PRESION LATERAL EN EL DISEÑO DE FORMALETAS DE PAREDES

Con base en las fórmulas de presión dadas por el Comité 347 del ACI, para velocidades de vaciado menores de o iguales a 3 m por hora.

NOTA: No se usen presiones de diseño mayores de 2400 veces la altura del hormigón fresco en las formaletas.

Velocidad de vaciado, R, m/hora	p. presión lateral máxima, kg/m ² , a la temperatura indicada					
	32°C	27°C	21°C	16°C	10°C	4°C
.3	1221	1279	1357	1465	1611	1831
.6	1709	1831	1987	2197	2490	2930
.9	2197	2383	2617	2930	3369	4028
1.2	2685	2930	3242	3662	4248	5127
1.5	3174	3476	3872	4394	5127	6225
1.8	3662	4028	4497	5127	6005	7324
2.1	4150	4580	5127	5859	6884	8422
2.4	4301	4751	5322	6084	7158	8764
2.7	4453	4922	5517	6313	7431	9106
3.0	4604	5092	5713	6543	7705	9448

~~Se debe asegurar que las juntas de las formaletas estén perfectamente selladas y que no haya huecos entre ellas. Después de haber colocado las formaletas, habrá que volver a colocar las formaletas de manera que el revestimiento traslape al hormigón solo unos 25 milímetros, más o menos. En las cercanías de la junta tienen que utilizarse pernos de amarre grandes para asegurar que la formaleta se mantenga apretada al hormigón endurecido durante la colocación y vibración del nuevo hormigón.~~ Se han de apretar las juntas en la envoltura de la formaleta o en su revestimiento para prevenir la acumulación de polvo antes del hormigonado, la filtración de mortero o la formación de rebabas de mortero. En sitios donde la apariencia de la estructura es importante, es necesario disponer el revestimiento de las formaletas y de sus amarres de manera que formen patrones de buena presentación. ~~En las juntas de construcción que se presentan donde una sección de piso se deja por fuera para ser instalada posteriormente, pueden crear secciones del miembro que tienen que actuar como voladizos hasta que el miembro sea terminado. El hormigón a ambos lados de tales juntas debe estar soportado por una cimbra adecuada mientras se llena la junta y todo el hormigón desarrolla suficiente resistencia para actuar como un vano.~~ esta práctica sirve también para prevenir el movimiento de los miembros como resultado del hinchamiento de la madera en el momento de hormigonar; si en la fabricación de formaletas se usa madera demasiado verde, ésta puede encogerse mucho antes del hormigonado; pero si en cambio está demasiado seca, puede pandearse o alabearse cuando sea humedecida por el hormigón.

La mejor madera es la que sólo está moderadamente seca y pertenece a un tipo que no produzca manchas. ~~Las juntas de construcción que se presentan donde una sección de piso se deja por fuera para ser instalada posteriormente, pueden crear secciones del miembro que tienen que actuar como voladizos hasta que el miembro sea terminado. El hormigón a ambos lados de tales juntas debe estar soportado por una cimbra adecuada mientras se llena la junta y todo el hormigón desarrolla suficiente resistencia para actuar como un vano.~~ Los materiales que tienen esta tendencia han de corregirse, por lo general, neutralizando la superficie con agua, cal o una lechada. Otro remedio consiste en revestir las formaletas con una capa de sellador que forme una

TABLA 8-2 — MAXIMA PRESION LATERAL EN EL DISEÑO DE FORMALETAS DE COLUMNAS

Con base en las fórmulas de presión dadas por el Comité 347 del ACI, para hormigón de vaciado en tandas menores de 5.5 m de profundidad.

NOTA: No se usen presiones de diseño mayores de 2400 veces la altura del hormigón fresco en las formaletas.

Velocidad de vaciado, R, m/hora	p, presión lateral máxima, kg/m ² , a la temperatura indicada					
	32°C	27°C	21°C	16°C	10°C	4°C
.3	1221	1279	1357	1465	1611	1831
.6	1709	1831	1987	2197	2490	2930
.9	2197	2383	2617	2930	3369	4028
1.2	2685	2930	3242	3662	4248	5127
1.5	3174	3476	3872	4394	5127	6225
1.8	3662	4028	4497	5127	6005	7324
2.1	4150	4580	5127	5859	6884	8422
2.4	4638	5127	5752	6591	7763	9521
2.7	5127	5678	6381	7324	8642	10620
3.0	5615	6225	7011	8056	9521	11720
3.4	6103	6777	7636	8789	10400	12815
3.7	6591	7324	8266	9521	11280	13915
4.0	7080	7875	8896	10255	12155	14650
4.3	7568	8422	9521	10985	13035	
4.9	8544	9521	10775	12450	14650	
5.5	9521	10620	12030	13915		
6.1	10495	11720	13285	14650		
6.7	11475	12815	14545			
7.3	12450	13915	14650			
7.9	13425	14650				
8.5	14405					
9.1	14650					

gobierna 14650 kg/m²

película impermeable y dura, aplicable a todas las superficies de contacto y a los bordes. Hay mayor tendencia a la formación de burbujas de aire y a la acumulación de agua en la superficie de formaletas perfectamente apretadas, con superficies densas e impermeables, que en formaletas de tabla ordinaria. El defecto está principalmente en la apariencia y no se considera serio, por lo general, a menos que involucre a hormigón decorativo expuesto. La construcción de formaletas para hormigón estructural y decorativo se describe en la Referencia 46.

Los materiales para formaleta ya no están limitados a madera de sólo un uso. Hoy en día se emplean varios métodos cuando se intenta repetir el uso de unas mismas formaletas. Hay en el mercado selladores efectivos de tipo barniz y de otros tipos, que en verdad sellan la madera, permitiendo así que se usen reiteradamente. Las formaletas de acero tienen amplia aplicación y

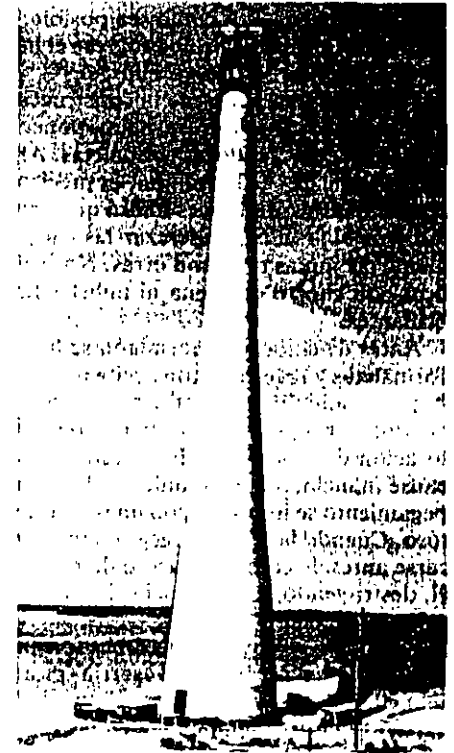


Fig. 8-3— En contraste con la operación de vaciado que utiliza encofrado deslizante, esta chimenea se construye por medio de una formaleta trepadora ajustable que se liza después de vaciar cada tramo.

antes de usarlas deberán inspeccionarse para asegurar que no tengan grietas, muescas, abombamientos antiestéticos o melladuras resultantes de usos previos; que encajen bien formando líneas suaves y que tengan juntas herméticas. El uso de madera laminada revestida en fábrica con plástico, ha crecido en importancia. El revestimiento de plástico proporciona un acabado duro y liso muy apropiado para las formaletas, y admite que se la vuelva a usar siempre y cuando no haya sufrido daño. Para trabajos de hormigón de tipo decorativo, se ha popularizado el uso de formaletas plásticas reforzadas con fibra de vidrio, susceptibles de recibir el contorno que se desee. Para el tratamiento de superficies formadas especiales véase la Referencia 46. Una discusión más detallada de las formaletas para construcción de hormigón decorativo aparece en el Capítulo 14 de este manual.

Los amarres y espaciadores de las formaletas deben corresponder a un tipo tal que ningún metal quede cerca de una superficie expuesta y ser lo suficientemente pesados para no doblarse si los trabajadores trepan en ellos. Los amarres de alambre solo se permiten en trabajos ligeros y en cuanto a los agujeros de paso de los amarres de alambre a través de las formaletas tienen

que ser tan pequeños como sea posible. Los espaciadores de madera se irán removiendo a medida que progrese el hormigonado, por medio de alambres previamente amarrados a ellos.

Se recomienda, durante la construcción de las formaletas y demás trabajos preliminares al hormigonado, poner el mayor cuidado en evitar todo daño a las superficies de las formaletas. Antes de volver a usar las provenientes de otro vaciado de hormigón, es preciso limpiarlas y en caso necesario, recondicionarlas. Entonces habrá que llenar las costuras abiertas, aplanar los tableros alabeados, enderezar las caras metálicas y hacer coincidir nuevamente las juntas unas con otras. No es del caso limpiar las formaletas metálicas con chorro de arena ni pulirlas hasta el punto de obtener superficies brillantes.

Antes de colocar el hormigón se han de humedecer las superficies de las formaletas y revestirse con aceite para formaletas o con otros materiales que hayan resultado satisfactorios en usos previos; se aconseja utilizar solo la cantidad apropiada en la capa de revestimiento, con el fin de evitar la decoloración del hormigón. El revestimiento no ha de aplicarse tan grueso que cause mancha o ablandamiento de la superficie del hormigón; en cuanto al pegamiento se impedirá con un revestimiento que simplemente se sienta aceitoso. Cuando las especificaciones requieran revestimiento, éste tiene que aplicarse antes de colocar el acero de refuerzo, pues de lo contrario caerá sobre él, destruyendo la adherencia. Los revestimientos para formaletas no deben causar manchas.

Es preciso remover de las áreas formadas todo material extraño como por ejemplo ganchos, bloques, aserrín, mortero seco, hielo, etc., preferiblemente mediante aire y agua o vapor ayudado por limpieza manual. El material extraño tiende a acumularse en las esquinas y lugares de difícil acceso. En formaletas estrechas y profundas hay que dejar agujeros, para limpieza e inspección, en la base y en los niveles de las juntas de las formaletas, de preferencia en los extremos y no en los lados; así podrán usarse más efectivamente. Estos agujeros se cierran luego herméticamente, justo antes que el hormigón alcance su nivel.

Colocación del refuerzo

En el refuerzo deberán verificarse: la resistencia (grado), marcaciones, tamaño, configuración, espaciamiento horizontal y vertical, localización, suficiencia del apoyo y amarre, y condición superficial. Las Referencias 5 y 22 contienen información práctica acompañada de ilustraciones.

Corte y doblado—A menos que se establezcan límites más estrechos en las especificaciones, las barras rectas de refuerzo se cortan, por lo general, con una tolerancia en longitud de más o menos 25 milímetros (1 pulgada)^{5,22}. Es costumbre tomar las medidas de las barras dobladas de exterior a exterior de la barra, pero algunas organizaciones usan dimensiones centro a centro. Las longitudes, profundidades y radios se reproducen tal como aparezcan en los planos de detalle del doblado. No hay que doblar o enderezar el acero de manera que debilite el material. Independientemente de las tole-

rancias de doblado, los dobleces deben ser tales que todas las partes de las barras tengan el cubrimiento especificado. La operación de calentar el refuerzo para doblarlo exige que se aplique únicamente cuando toda ella sea aprobada por el ingeniero, puesto que el calentamiento puede cambiar las características del acero. En ningún caso el calentamiento ha de sobrepasar los 650° C y siempre darse lugar a un enfriamiento lento. Nunca deben doblarse por calentamiento los aceros de grados más altos de resistencia. Cuando las barras que se doblan por calentamiento están embebidas parcialmente en hormigón, hay que tener sumo cuidado de que el hormigón que rodea la barra no se vea afectado adversamente por el proceso de calentamiento o por la flexión.

Si el refuerzo se va a doblar en la obra, el diámetro del pasador alrededor del cual se dobla el acero no deberá ser menor que los valores recomendados en las Referencias 6 y 22. Es posible que se requieran diferentes diámetros de pasador para diferentes grados de acero (Grados 40, 60 y 75). Si se van a doblar en obra un cierto número de barras en forma semejante, es aconsejable verificar la primera que se doble, preferiblemente colocándola en posición en las formaletas, antes de doblar las otras. Nunca es admisible doblar el acero de preesfuerzo. (Véase el Capítulo 17).

Almacenamiento del refuerzo—Hay que evitar condiciones de almacenamiento propicias a una excesiva oxidación del acero. Antes de colocar el refuerzo, la superficie deberá estar libre de capas objetables, particularmente de corrosión fuerte causada por almacenamiento en exteriores. Excepto en el caso de tendones de preesfuerzo, no es objetable que exista una película delgada de óxido o de cascarilla de siderúrgica; de hecho, se ha encontrado que aumenta la adherencia del acero al hormigón. Sin embargo, es preferible eliminar el óxido suelto o la cascarilla susceptibles de remoción mediante el frote con arpillera, o con cualquier otro medio efectivo. Otras capas objetables que suelen encontrarse en partes del refuerzo y que vale la pena remover son: pintura, aceite, grasa, barro seco y mortero seco débil salpicado sobre las barras antes de la colocación del hormigón. Si dichos materiales se encuentran en la superficie del refuerzo, deberá quitarse de ellas antes de colocarse en las formaletas, o es difícil de remover posteriormente. No se debe almacenar el refuerzo en el suelo.

Instalación del refuerzo—El refuerzo deberá estar en partes, trasalpado y acoplado en forma apropiada; embebido a una distancia mínima dada de la superficie; instalado y sostenido firmemente en el sitio preciso (Fig. 8-4). Las Referencias 5, 6, 22 y 48 dan información detallada sobre estos asuntos, especialmente en lo que respecta al uso de apoyos y espaciadores que no figuran en los planos. Se ha de prestar especial atención al espacio libre en los estribos de vigas y columnas que se proyectan más allá del resto del refuerzo y al que queda por debajo de las barras horizontales, en el punto de unión entre apoyos, para detectar su flecha. En losas estructurales, especialmente en las de tablero de puente, el cubrimiento neto entre la parte superior de la losa y la parte superior del refuerzo de acero es crítico, por lo que se recomienda verificarlo cuidadosa y constantemente.

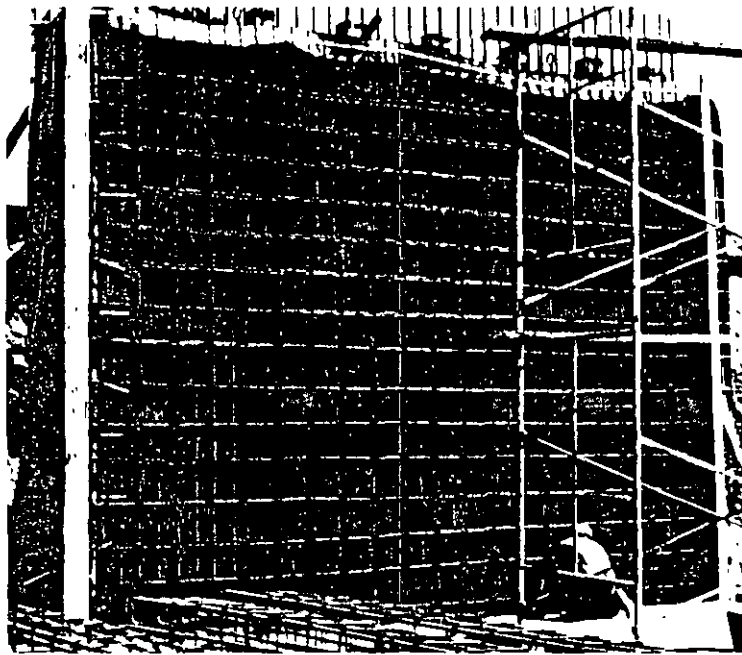


Fig. 8-4—Colocación del refuerzo antes de la inspección final. Los pasadores de amarre están listos para recibir la formaleta correspondiente a la segunda pared.

En los casos donde las barras de acero estén demasiado congestionadas para permitir el pasaje del hormigón que va a niveles más bajos del monolito, de las proporciones de las aberturas mediante la acumulación temporal de barras a cada lado (con su subsecuente remplazo a la posición designada) o cuando se permitan las tolerancias especificadas, o el cambio sea aprobado por el ingeniero estructural, acumulando las barras a cada lado y dejándolas en esa posición permanentemente. En el caso de que haya congestión de barras de refuerzo, es importante que el tamaño nominal máximo de agregado en la mezcla de hormigón no exceda los 3/4 del espaciamiento mínimo de las barras, en forma tal que permita la colocación satisfactoria del hormigón a través y alrededor de éstas. A menos que lo prohiban los requisitos estructurales, deben escalonarse los traslapes en las barras de refuerzo en áreas congestionadas, con el fin de mantener espacio adecuado de acceso para la colocación apropiada del hormigón. En áreas congestionadas, los vibradores han de tener cabezas de tamaño que permita su fácil inserción en todas las áreas; si es necesario usar vibradores de cabeza pequeña, conviene reducir el espaciamiento de los sitios de inserción del vibrador y aumentarse el tiempo de vibrado.

Lo mismo que en la inspección de otras operaciones, no es aconsejable que el inspector espere a que el refuerzo haya sido colocado substancialmente en su sitio para verificar que su posición sea correcta; de preferencia, deberá inspeccionarlo tan pronto como sea posible durante su colocación para evitar costosos errores. En dicho momento tiene que verificar la marca de resistencia, el tamaño, la localización vertical y el espaciamiento de las barras, la corrección de los dobleces y de los espacios libres entre las barras y la formaleta, y la seguridad de los apoyos y amarres. Los valores básicos para juzgar estos ítems han de figurar en los planos y especificaciones o en las referencias.

El acero de refuerzo se deja embebido a una distancia mínima, especificada, de la superficie del hormigón, para prevenir el pandeo bajo ciertas condiciones de carga de compresión, la oxidación proveniente de la exposición del hormigón a la intemperie o su deterioro cuando el hormigón queda expuesto al fuego. Se requieren cubrimientos especiales en el caso de hormigones expuestos a líquidos o vapores corrosivos y de tableros de puente frecuentemente sometidos a sales para derretir el hielo. Los espesores típicos recomendados de cubrimiento aparecen en las Referencias 6, 40 y 47. El recubrimiento debe ser el que figura en los planos o el especificado y si no hay ninguno mostrado ni especificado, se debe consultar al ingeniero.

Excepto en los casos que muestran los planos, no deberá hacerse ningún traslape de barras de refuerzo o de mallas de alambre soldadas, sin la aprobación del ingeniero. En los cortes, las barras o mallas de alambre deben traslaparse en la longitud especificada, que ha de ser suficiente para transferir el esfuerzo por adherencia y corte. Véanse en las Referencias 5, 12 y 48, las longitudes de traslape, métodos de hacerlo, localización de los traslapes y provisiones para apoyo lateral en ciertos casos. Siempre que resulte posible, vale la pena escalonar los traslapes. En cuanto a los de amarres de columna, en las esquinas, se han de escalonar en las cuatro esquinas de la misma, en lugar de quedar alineados uno encima del otro.

Si se va a colocar más de una rejilla de acero de refuerzo en una losa, se tiene que alinear las barras de tales rejillas verticalmente, una encima de la otra, en ambas direcciones horizontales. Este procedimiento causará la mínima interferencia con una colocación y consolidación apropiadas del hormigón. En aquellos sitios en que el hormigón horizontal esté congestionado, particularmente cuando se utilizan dos rejillas, es deseable dejar, al menos en la superior, aberturas previamente planeadas, para colocar ductos de descarga que prevengan la dispersión y segregación del hormigón.

Si los traslapes van a ser soldados, debe asegurarse la obtención de una soldadura del tamaño y longitud requeridos y que por ella no haya abrasamiento o reducción de la sección del refuerzo. Toda soldadura de las barras de refuerzo tiene que estar a cargo de un soldador certificado, de acuerdo con las sugerencias de la publicación "Recommended Practice for Welding Reinforcing Steel, Metal Inserts and Connections in Reinforced Concrete Construction", (AWS D 1.4).⁴⁹ Como la soldadura de refuerzo de alta resistencia puede bajar la resistencia de la barra, está prohibida en muchas es-

pecificaciones. Si se va a soldar refuerzo de alta resistencia, esta soldadura debe hacerse en estricta concordancia con los requisitos de la Referencia 49. Al ensamblar jaulas de refuerzo, no es permisible acudir a la soldadura de puntos, a menos que otra cosa digan las especificaciones del proyecto. La soldadura de punto puede debilitar las barras de refuerzo en el sitio de colocación del punto. Si se van a hacer muchas soldaduras es aconsejable probar algunas de ellas.

El uso de elementos de traslapo patentados para barras grandes es ahora asunto común. Sin embargo, a menos que lo permitan las especificaciones del proyecto, queda prohibido el uso de cualquier traslapo mecánico sin la autorización previa, por escrito, del ingeniero.

En caso necesario, el diseño ha de proporcionar el anclaje de barras, llevando cada una de éstas más allá del punto en que no está sometida a esfuerzo, doblándola alrededor de otra barra o miembro de acero o dotándolas de un gancho de 90° o bien semicircular, de radio especificado.

Apoyo—Hay que localizar con precisión todo el acero de refuerzo en las formaletas y mantenerlo firmemente en su lugar, antes y durante la fundición del hormigón, por medio de bloques de hormigón incorporados, de soportes metálicos o plásticos, barras espaciadoras, alambres, u otros artefactos, adecuados para asegurar contra todo desplazamiento durante la construcción y mantener el acero a la distancia apropiada de las formaletas. Los soportes y espaciadores de las barras también deberán ser suficientes en número y tan pesados como para sostener apropiadamente el acero que soportan, inclusive cuando esté sometido a las cargas de construcción. Se excluye el uso de piedras, bloques de madera, u otros objetos no aprobados para soportar el acero. También se prohíbe el uso de soldadura de punto para los apoyos. Las sillas o bloques colocados sobre el terreno deberán ser los adecuados para prevenir asentamientos. En general, es necesario soportar las barras horizontales a intervalos que no excedan los 1.5 a 2 metros; en las Referencias 22 y 48 se encuentran recomendaciones específicas sobre este tema.

El alambre que se utilice en el amarre de las barras no ha de ser más delgado que el de calibre 18. Cuando se utilicen amarres de alambre ha de procederse de modo que los bordes torcidos se proyecten alejándose de las superficies exteriores. El único requisito real para el amarre es que las barras queden atadas a intervalos suficientes que les permitan permanecer inmóviles durante la colocación y consolidación. Es práctica usual la de hacerlo en 6 u 8 sitios para una barra de 6 metros; sería mejor hacerlo cada tercera intersección. Sin embargo, esto variará con la manipulación a la cual se vea sometida la rejilla y a la posición que ha de ocupar.

Algunos espaciadores exponen más metal del necesario en la superficie. Las especificaciones pueden requerir que no se deje en el hormigón ningún material corroible a menos de cierta distancia de la superficie, para prevenir que ésta se manche con el óxido. Si existe este requisito, se pueden usar soportes de barras, plásticos o de metal no corroible, o apoyos que tengan puntas plásticas (o bloques de hormigón, si están permitidos).

Cuando el refuerzo no está soportado sobre sillas, para losas de pavimento u hormigón masivo, una práctica permisible consiste en colocar hormigón relativamente rígido hasta cierto nivel, y luego la malla o las barras sobre esta superficie antes de vaciar el resto del hormigón. Cuando el hormigón de pavimento se vacía en una sola capa, las mallas de alambre o las rejillas de barras, pueden colocarse con el alineamiento horizontal correcto sobre la profundidad total del hormigón depositado, y hundirse a máquina con equipo especial hasta llegar a su elevación apropiada (Véase el Capítulo 13).

Una práctica diferente y desaconsejable es la de levantar o "enganchar" el refuerzo que se halla colocado sobre la base de una losa de piso hasta el nivel prescrito. Esto es particularmente indeseable para cubrimientos delgados. Rara vez, si es que existe alguna, la operación se hace en forma apropiada, y conduce a una localización incierta del acero con gran parte de él descansando sobre el fondo.

Es probable que durante el hormigonado, el refuerzo, especialmente el poco "refuerzo por temperatura" sufra desplazamientos debidos a las vías de transporte (aunque dichas vías nunca deberían apoyarse sobre el refuerzo), a accidentes, a cargas pesadas de hormigón que se vuelcan sobre él (especialmente en formaletas profundas), o a las herramientas utilizadas en la consolidación del hormigón. Se requiere atención constante para prevenir estos desplazamientos y detectar y corregir cualquiera que de hecho se presente. Los trabajadores tienen que ser entrenados para que reconozcan la importancia de la localización apropiada del acero de refuerzo (Fig. 8-5).

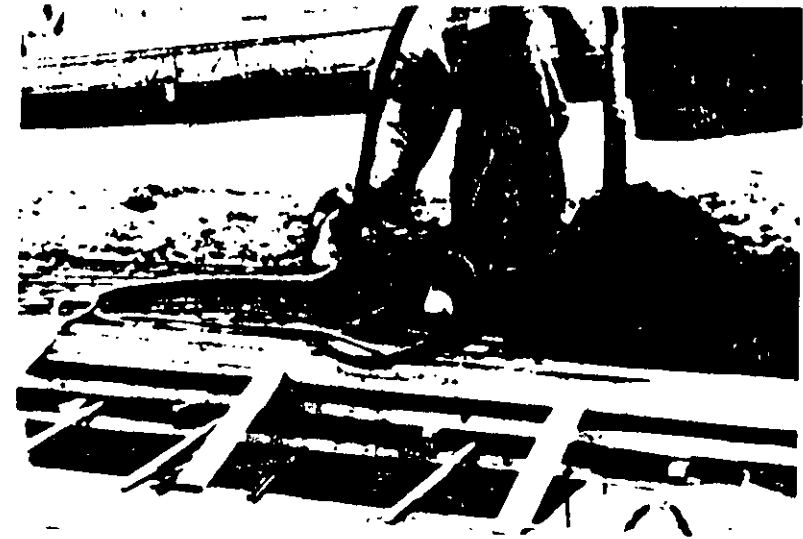


Fig. 8-5—Es indispensable prestar atención continua para descubrir y corregir cualquier desplazamiento del refuerzo. Aquí, por no haberse colocado éste en forma adecuada, se está deflectando bajo el peso de los obreros.

Elementos embebidos

Es necesario que antes de vaciar el hormigón se coloquen firmemente en posición los pernos de anclaje, el material de inserción, mangas de tubo, tubos, conductos, alambrado, bota-aguas, marcos de tapas de pozos de inspección, instrumentos y otros elementos embebidos, lo mismo que el equipo mecánico. Los elementos embebidos, si son de material diferente al del acero de refuerzo, pueden producir acción galvánica y la subsecuente corrosión, a menos que se les provea de una capa aislante. En particular, no se recomienda embeber en hormigón reforzado elementos de aluminio, a menos que estén recubiertos efectivamente o que se cubran para aislarlos. La preparación de las superficies de contacto depende de si se desea o no adherencia con el hormigón. No debe permitirse que los aditamentos incrustados afecten la posición del refuerzo metálico, excepto en aquellos casos en que así se indique en los planos, ni que se coloquen de tal manera que reduzcan en forma apreciable la resistencia de la construcción. La Referencia 40 permite ajustes en la posición del refuerzo hasta de un diámetro de barra sin necesidad de otra aprobación. Los ductos con diámetro menor de 25 milímetros no se consideran, generalmente, elementos que reduzcan la resistencia del hormigón en compresión. Los insertos de madera tienen que empaparse bien con anterioridad al hormigonado, a menos que la superficie de la madera esté efectivamente sellada; de lo contrario, tienden a hincharse y causan que el hormigón se raje. Cuando a un sitio particular llegan muchos ductos, puede necesitarse refuerzo extra, por encima y por debajo, para minimizar allí el agrietamiento excesivo. No debe permitirse que los ductos quiten espacio a la sección transversal de una columna, ni tampoco que se agrupen en una de sus caras, excepto cuando esto esté permitido por las especificaciones, o aprobado específicamente por el ingeniero de diseño. En la Referencia 6 se consignan requisitos detallados relativos a elementos embebidos.

Aperturas

Cuando las condiciones en la obra requieran aperturas adicionales no consignadas en los planos, las aperturas propuestas quedarán sujetas a la aprobación del ingeniero y todas, excepto las muy pequeñas, deberán protegerse mediante barras diagonales cortas colocadas de tal manera que soporten los esfuerzos alrededor de la apertura. La Referencia 50 da recomendaciones sobre las aperturas permisibles en construcción.

Juntas de expansión o contracción

Aunque se pueden emplear muchos otros términos, más detallados, para describir las diversas juntas, las siguientes son definiciones de carácter general:

Las juntas de expansión se diseñan para impedir el aplastamiento del hormigón en unidades estructurales adyacentes, que podría ocurrir por la transmisión de fuerzas de compresión desarrolladas mediante expansión térmica o por las cargas aplicadas o por asentamientos diferenciales. El acero de refuerzo debe discontinuarse en las juntas de expansión.

Las juntas de contracción son planos de debilidad hechos a propósito para regular el agrietamiento que podría ocurrir en respuesta a contracciones inevitables del hormigón (debidas a contracción de secado, caídas de temperatura, etc.). El acero de refuerzo puede ser continuo o discontinuo en las juntas de contracción.

Las juntas de construcción son juntas creadas por interrupciones necesarias en la colocación del hormigón (véase el Capítulo 9, para una discusión detallada sobre la materia). Todo el acero de refuerzo en ellas es continuo, excepto en los casos en que la junta de construcción lo es también de contracción.

En las Referencias 6, 23 y 40 se da la práctica recomendable en lo que concierne al diseño, localización y construcción de juntas.

Las juntas de expansión y contracción son juntas de "trabajo" y no deberán confundirse con las de construcción que no se consideran de trabajo, a menos que coincidan con juntas debidamente planeadas de expansión o de contracción. En el Capítulo 3 se discuten los materiales disponibles para llenar las juntas de trabajo y en la Referencia 23 se informa detalladamente sobre selladores elastoméricos para juntas.

Las juntas de expansión se diseñan para prevenir el descascaramiento de unidades de hormigón adyacentes, que podría ocurrir por expansión del cemento compensador de contracción, o por expansión térmica o de humedad. El material de la junta es, generalmente, un llenante compresible. No se debe permitir que taponen de hormigón o de otros materiales incompresibles crucen o bloqueen la junta de expansión de manera que le impidan trabajar. Cuando en las juntas de expansión se utilizan pasadores, uno de sus extremos ha de estar provisto de casquete de expansión. Las juntas de contracción tienen por objeto aliviar la restricción a la contracción causada por secamiento o caída de temperatura. Es necesario que el material sellante de la junta se adhiera a cada elemento de hormigón adyacente, y tenga la suficiente deformabilidad como para no romperse con la apertura esperada de la junta.

Quizás se necesiten pasadores a través de las juntas. Si tal es el caso, hay que alinearlos cuidadosamente y lubricarlos en forma apropiada en un extremo para que permitan el movimiento de la junta. De manera similar, las juntas deslizantes requieren, por lo general, de un dispositivo eficaz para la eliminación de la adherencia, el cual se tiene que instalar con anterioridad a la fundición del hormigón adyacente.

Con respecto a todas las juntas, el inspector deberá confirmar, antes del hormigonado, que cada una esté provista de la apertura apropiada inicial, que sean fácilmente removibles los desperdicios que caigan en ella, y que se limpie su superficie para depositar en forma apropiada el llenante de la junta. Además corresponde al inspector estar alerta para detectar cualquier condición de construcción que pueda interferir posteriormente con el movimiento de las juntas o con el drenaje apropiado. Algunas veces se omiten, al vaciar el hormigón, espacios amplios, de 60 centímetros o más, para permitir que tenga lugar la contracción inicial del hormigón antes de llenarlos.

En realidad, estos espacios sirven poco más que una junta de construcción y la preparación de sus juntas debe ser la misma que para las de construcción.

INSPECCION FINAL ANTES DE LA COLOCACION

Antes que se proceda al vaciado del hormigón, el inspector debe hacer una inspección final, verificando todo arriostamiento y entibación para asegurarse de que no se haya aflojado o cambiado de sitio. En todas las formale- tas se revisará que no hayan sufrido daño, que sean herméticas al flujo de mortero y que los pernos de amarre estén apretados en las juntas de cons- trucción. También se verificará el acero de refuerzo para ver que esté com- pleteo y colocado apropiadamente. Se debe dar especial atención al acero de refuerzo que vaya a soportar pasarelas durante el transporte del hormigón. (La práctica de tener estas pasarelas es poco recomendable y muchas especi- ficaciones la prohíben). Es posible que haya que proporcionar apoyos adi- cionales a las barras localizadas en estas zonas. Todos los elementos insertados han de sufrir una nueva verificación en lo referente a tamaño apropiado, localización, montaje adecuado y protección contra la contaminación. Las formale- tas y juntas de construcción se han de revisar en lo que respecta a limpieza y ausencia de humedad superficial. Todo el material extraño se re- moverá de las formale- tas mediante aspiración o soplado. Además hay que asegurarse de que éstas no tienen agua emposada, hielo o polvo y de que han sido aceitadas. Si se requiere volverlas a aceitar, se aconseja tener espe- cial cuidado de que el acero de refuerzo se conserva limpio y completamente libre de aceite.

El inspector debe verificar antes del comienzo del tiempo para el día de va- ciado del hormigón. Si se prevé clima extremadamente caliente, frío o ven- toso, es preciso tomar las precauciones necesarias para proteger apropia- damente el hormigón fresco, y disponer en las inmediaciones del sitio de tra- bajo de materiales y equipo para su protección adicional en caso de que el clima empeore. Cuando se coloca hormigón en las juntas de juntas, fines de construcción o juntas de construcción que exigen especial vigilancia sobre los factores que pueden producirse durante la colocación y por tanto la calidad de la misma de otros resultados.

El inspector se asegurará durante la inspección final de que todos los pre- parativos estén terminados, y no permitirá la práctica usual de acabar algu- nos de ellos cuando estén empezando las operaciones de colocación del hormigón.

FORMULARIO DE VERIFICACION

El uso de un formulario de verificación ha resultado ser de gran ayuda en muchos proyectos como modo sistemático de comprobar los varios as- pectos de la preparación y de la sub-siguiente puesta en obra de hormigón, con miras a la aprobación final. La Fig. 8-6 muestra un formulario sencillo utilizado exitosamente en un proyecto. El formulario de verificación contie-

MOJA DE VERIFICACION DEL VACIADO DE HORMIGON

Unidad No. _____ Vaciado No. _____

Descripcion _____ Nivel final _____ Est. final _____

Fecha _____ Hora _____

ING. RESIDENTE _____ Fecha _____ Hora _____

INSPECTOR _____ Fecha _____ Hora _____

SUPERVISOR _____ Fecha _____ Hora _____

Fecha de iniciacion del vaciado _____ Hora _____

Fecha de terminacion del vaciado _____ Hora _____

Metros cub. calculados para la linea _____

Metros cub. calculados para relleno _____

Metros cub. rellenos calculados _____

Metros cub. de mortero _____

Metros cub. de hormigon _____

Metros cub. totales vaciados _____

Metros cub. de desperdicio en el vaciado _____

Metros cub. de desperdicio en la planta _____

Metros cub. rellenos en la planta _____

Metros cub. de ascensos _____

Y B PARA EL VACIADO DEL HORMIGON

ITEM COMPROBADO	CAPATAZ	ING. CONT.	ING.	FECHA
Cimentaciones en obra				
Enterrados y "apenas VB para cerrar paredes embasos"				
Alineacion y pendiente				
Secciones transversales finales				
Chorro de arena				
Acero de refuerzo				
Elementos metalicos anclados				
Topajuntas de 13 cm				
Topajuntas de 23 cm				
Tuberias				
Agua negra				
Agua liviana				
Ventilacion				
Suministro de agua				
Otros				
Instalaciones electricas				
Tuberia "sangua" y cajas de union				
Conexiones a tierra				
Instalaciones sanitarias				
Pernos de anclaje				
Materiales de relleno de juntas				
Limpieza de hormigon				

Fig. 8-6—Ejemplo de un formulario de verificación.

ne en una hoja la lista de todos los ítems discutidos en este capítulo o de los ítems apropiados del Capítulo 23, y de cualquier otro que pueda requerir atención y preparación antes de vaciar el hormigón. A la derecha de la lista de ítems hay columnas donde se colocan los nombres o iniciales de los capacitados que certifican que cada ítem está listo para inspección, y para la firma del inspector cuando lo apruebe. También se deja espacio para anotar el tiempo y hora de cada aprobación.

El formulario de verificación deberá colocarse, debidamente protegido, en un sitio conveniente, al alcance de quien desee verificar rápidamente el estado de los preparativos. El inspector de vaciado del hormigón recoge el formulario de verificación, una vez diligenciado, como señal de que autoriza proceder con el hormigonado, y lo devuelve posteriormente con su informe.

CAPITULO 9 — OPERACIONES DE HORMIGONADO

Los requisitos esenciales para un hormigonado satisfactorio, después de efectuar las operaciones de dosificación y mezcla, son:

1. El hormigón deberá transportarse, colocarse y consolidarse sin causar segregación, y la consolidación ser lo suficientemente completa como para llenar todas las partes de la formaleta, eliminar esencialmente las bolsas de aire y piedra, y formar un vínculo con el acero u hormigón adyacentes.

2. Uno de los ítems más importantes es que, además de mantenerse la calidad requerida del hormigón, se conserve su *uniformidad*.

3. El hormigón deberá curarse bien.

Los principios de control de hormigón en lo que respecta a selección y dosificación de los materiales y a la mecánica de su inspección y ensayo, se discuten en los Capítulos 2, 3, 4 y 6. La práctica recomendada en lo que respecta a medición y amasado se discute en el Capítulo 7 y en las Referencias 8 y 24. El transporte, colocación y acabado se cubren en este capítulo y en las Referencias 8 y 24.

El éxito final de las operaciones con hormigón depende de todos estos factores: preparación del sitio, inspección en la planta de medición, transporte de la obra, manejo que se le dé en ella y cuidado después de la colocación.

CONDICIONES DEL SITIO

Se recomienda hormigonar únicamente después de cumplidos los requisitos especificados en lo que respecta a la preparación del sitio y a la localización y condición de las formaletas y del refuerzo. El inspector deberá ver que se hayan completado los ítems específicos discutidos en el Capítulo 8, y revisar la secuencia de colocación del hormigón y las especificaciones del trabajo. Algunas especificaciones prohíben hormigonar de noche (para asegurar visibilidad) o durante periodos de calor o frío extremos, o de viento o lluvia, a menos que se cumplan condiciones estipuladas sobre protección del trabajo. (Véase lo referente a hormigonado en tiempo cálido y frío en el Capítulo 10).

Por otra parte, algunas especificaciones requieren hormigonar de noche en clima cálido para reducir la evaporación y la temperatura del hormigón en estructuras particularmente susceptibles a problemas de agrietamiento como, por ejemplo, tableros de puente, pavimentos y hormigón en masa. Debe proporcionarse adecuada iluminación para el trabajo nocturno. En ciertos sitios no es procedente colocar hormigón hasta que haya transcurrido un periodo estipulado que permita el asentamiento, endurecimiento o enfriamiento

del hormigón colocado previamente. La rata de entrega del hormigón no ha de ser mayor que la que permita la colocación y consolidación apropiada del hormigón. Sin embargo, todas las operaciones de entrega, colocación y consolidación del hormigón se tienen que llevar a cabo a una rata suficientemente rápida como para impedir demoras indebidas y, especialmente, la formación de juntas frías.

Deberá verificarse la operación apropiada de todo el equipo y mantenerse a mano, una provisión suficiente de éste que asegure continuidad en la colocación, si se presenta alguna falla. Hay que programar suficiente personal para el trabajo; por ejemplo, las losas planas grandes fundidas en clima cálido requieren mayor número de acabadores y mejor programación de las operaciones que las mismas losas construidas en clima frío.

MANEJO EN EL SITIO

El inspector de vaciado es responsable por la inspección del transporte, colocación, consolidación, acabado y curación apropiados del hormigón. También se le puede pedir que haga ensayos del hormigón fresco, particularmente si el transporte desde la planta de mezclado (o desde la planta de dosificación si el hormigón se prepara en camiones hormigoneras) cubre una distancia considerable o involucra largo tiempo. Es preciso consultar el Capítulo 19 antes de efectuar ensayos de hormigón fresco.

El inspector deberá verificar los contadores de revoluciones de las hormigoneras de camión para confirmar que el número de revoluciones a la velocidad de amasado esté dentro de los límites prescritos (70 a 100 revoluciones, normalmente) y que cualquier número de revoluciones adicionales se efectúen únicamente a la velocidad de agitación. También le compete verificar los tanques de agua para confirmar que todavía estén llenos (o que se mantengan completamente vacíos, si así se requiere), así como leer el tiquete referente a la tanda de cada hormigonera de camión y ver que esté debidamente firmado. Algunas especificaciones limitan el tiempo en que puede usarse el hormigón después de amasado. Como se explicó en el Capítulo 7 es innecesario fijar un límite de tiempo, siempre y cuando pueda colocarse el hormigón en forma apropiada y consolidarse y acabarse completamente, *sin adición de agua*. A tal adición de agua se la llama *revenido*. La buena práctica y la mayoría de las especificaciones, prohíben tales adiciones retardadas de agua. El agua de revenido no debe confundirse con la añadida inicialmente, para ajustar el asentamiento durante el amasado o al llegar las hormigoneras de camión a la obra. Tal adición inicial de agua es aceptable siempre y cuando se haya hecho por adelantado la cuenta de la pérdida de asentamiento y no se exceda la máxima relación agua-cemento prescrita.

Transporte

Los métodos de transporte del hormigón de la hormigonera a pie de obra o del vehículo de entrega a las formaletas deberá ser tal que se conserve la

calidad y uniformidad del material. En la Referencia 24 se dan detalles específicos sobre equipos de transporte.

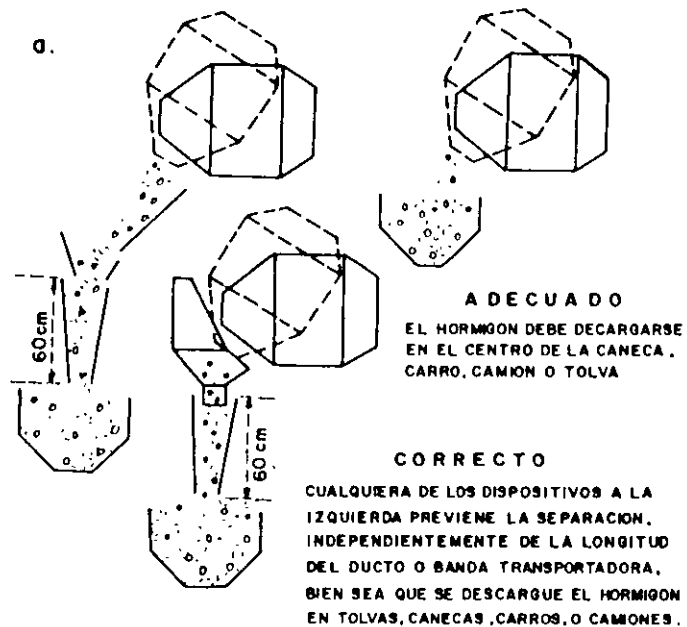
Siempre que se descargue hormigón, la dirección de caída tiene que ser *vertical*, pues, de lo contrario, ocurrirá invariablemente segregación del agregado grueso. El método más satisfactorio para asegurar la caída vertical consiste en pasar el hormigón a través de una sección corta de una manga de caída; las platinas deflectoras no son siempre satisfactorias ya que algunas veces simplemente cambian la dirección de separación (véase la Fig. 9-1). Las operaciones que involucran caída libre, han de ser tales que no causen segregación del agregado grueso, y en particular, que no ocasionen amontonamientos de agregado grueso segregado. Una caída corta que produzca apilamiento puede causar segregación más seria que una caída larga que cree una masa informe. En general, se encontrarán dispersas algunas piezas individuales de agregado grueso, pero no suelen ser problema, puesto que serán embebidas rápidamente. En formaletas profundas no es aconsejable descargar el hormigón directamente sobre el acero de refuerzo, pues el golpeteo contra las barras produce segregación.

Se utilizan muchos medios de transporte, ya sea solos, ya en combinación (baldes, canecas, carretillas, vagonetas, camiones, etc., inclusive canecas transportadas por aire, como se muestra en la Fig. 9-2). Al llenar los recipientes debe evitarse la segregación mediante los métodos mostrados en la Fig. 9-1.

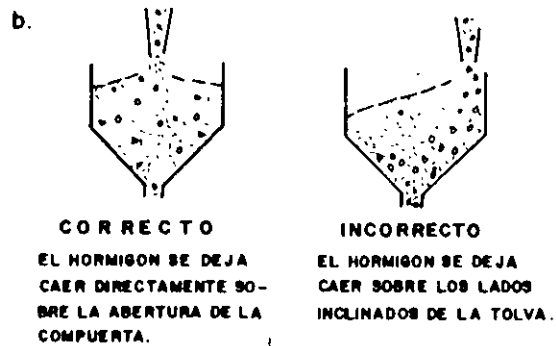
Canecas y tolvas—Las canecas y tolvas que descargan por debajo permiten la colocación del hormigón con el asentamiento más bajo posible. Deberán tener pendientes laterales no inferiores a 60° y compuertas anchas de descarga que trabajen libremente y tengan cierre hermético. El control de la compuerta de descarga ha de permitir que ésta se abra y cierre rápidamente en cualquier instante de la descarga. Para prevenir la contaminación del equipo, el material tiene que cargarse sobre plataformas y no directamente sobre el suelo. Ha de impedirse que las canecas se balanceen sobre hormigón recién terminado y verificarse que no se acumule hormigón en el equipo durante su uso. Después de cada utilización, tanto la caneca como el mecanismo de control de la compuerta, deberán limpiarse y aceitarse ligeramente y al hacer la limpieza, removerse todo hormigón endurecido que se haya adherido a ellos.

Ductos de descarga y bandas transportadoras—Es preciso que los ductos de descarga tengan sección circular para evitar la acumulación de hormigón que se presenta en las esquinas de otras secciones. La pendiente deberá ser suficiente para permitir el flujo sin necesidad de que haya asentamiento mayor que el especificado o que el requerido para el vaciado (por lo general, se requiere una pendiente de uno vertical a dos o dos y medio horizontal).

Las bandas o correas transportadoras se utilizan ampliamente en la movilización del hormigón. Este se deposita en ellas por medio de tolvas, en forma de cinta continua. Es posible disponer las bandas en multitud de configuraciones que permiten depositar el hormigón aun en áreas relativamente inaccesibles. Cuando se utilicen bandas transportadoras, debe elimi-

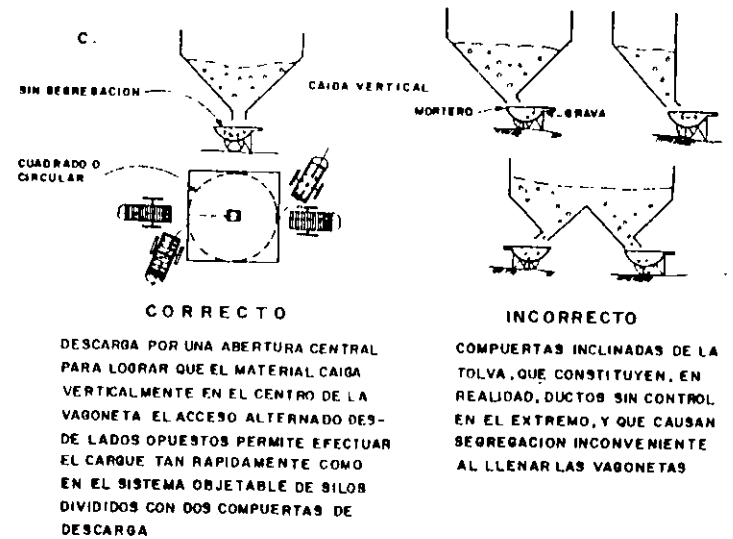


CONTROL DE LA SEPARACION MIENTRAS SE DESCARGA EL HORMIGON DE LA HORMIGONERA

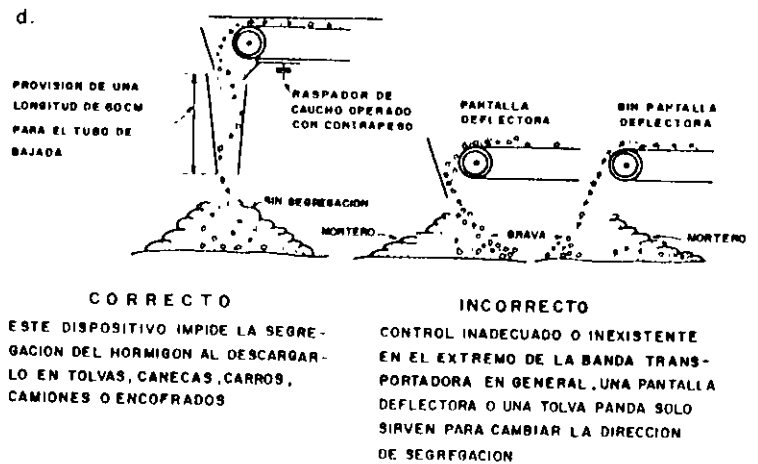


LLENAMIENTO CON HORMIGON, DE TOLVAS O CANECAS

Fig. 9-1—Métodos correctos e incorrectos de manejo del hormigón.

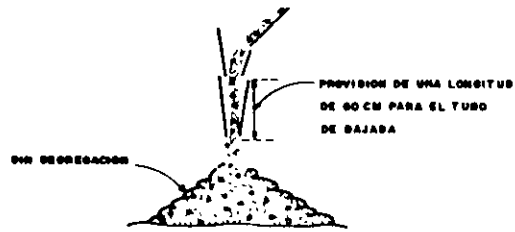


DESCARGUE DE LAS TOLVAS PARA LLENAR DE HORMIGON LAS VAGONETAS



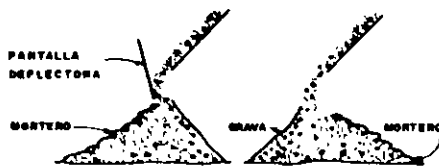
CONTROL DE LA SEGREGACION DEL HORMIGON EN EL EXTREMO DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Fig. 9-1 (continuación)—Métodos correctos e incorrectos de manejo del hormigón.



CORRECTO

ESTE ARRESLO IMPIDE LA SEGREGACION, NO IMPORTA QUE TAN CORTO SEA EL DUCTO DE DESCARGA E INDEPENDIENTEMENTE DE SI EL HORMIGON SE DEPOSITA EN TOLVAS, CANECAS, CARROS, CAMIONES, O ENCOFRADOS.



INCORRECTO

CONTROL INADECUADO O INEXISTENTE EN EL EXTREMO DE CUALQUIER DUCTO DE DESCARGA DE HORMIGON, NO IMPORTA QUE TAN CORTO SEA EN GENERAL, UNA PARTALLA DEFLECTORA TAN SOLO CAMBIA LA DIRECCION DE LA SEGREGACION

CONTROL DE LA SEGREGACION EN EL EXTREMO DE DUCTOS DE DESCARGA DE HORMIGON

LO ANTERIOR SE APLICA A DESCARGAS EN PENDIENTE DESDE HORMIGONERAS, CAMIONES - HORMIGONERAS, ETC., TANTO COMO A DUCTOS MAS LARGOS, EXCEPTO CUANDO EL HORMIGON SE DEPOSITA EN OTRO DUCTO O EN UNA BANDA TRANSPORTADORA.

CONTROL EN EL PUNTO DE TRANSFERENCIA DE DOS BANDAS TRANSPORTADORAS

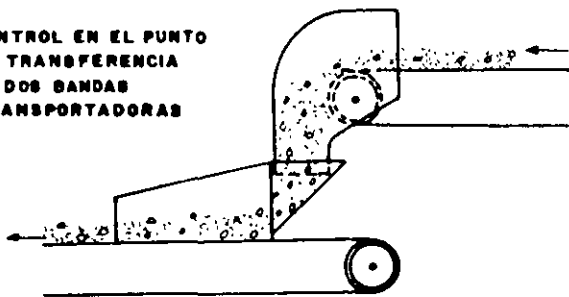


Fig. 9-1 (continuación)—Métodos correctos e incorrectos de manejo del hormigón.



Fig. 9-2—Camión-hormigonero que descarga hormigón en un cubo para que el helicóptero lo lleve por aire a un sitio de construcción en deshabitado.

narse la segregación en el punto de descarga efectuándola a través de una manga apropiada de caída. Es necesario que las bandas transportadoras se apoyen rigidamente.

En clima cálido, seco, o ventoso hay que cubrir toda línea larga de ductos de descarga o de bandas transportadoras para prevenir el secamiento del hormigón y una pérdida excesiva de asentamiento. Sin embargo, el cubrimiento de bandas transportadoras de alta velocidad no es obligatorio, excepto bajo condiciones extremas de secamiento. Los ductos de descarga o las bandas transportadoras tienen que ser lo suficientemente móviles como para permitir que se lleven tan cerca como sea posible al sitio de vaciado, a medida que éste progresa. Cuando los ductos de descarga o las bandas transportadoras se laven con agua, ha de evitarse que el agua de lavado y el hormigón diluido drenen dentro de las formaletas o sobre hormigón recién fundido o terminado.

El bombeo del hormigón y del mortero ha aumentado en popularidad durante los últimos años con el desarrollo de bombas livianas, para líneas pequeñas que pueden manejar hormigón con agregado de tamaño máximo hasta de 38 milímetros, a través de tuberías y mangueras con diámetros entre 10 y 15 centímetros. Sin embargo, antes de asignar el trabajo a una bomba determinada, es prudente hacer una demostración del equipo de bombeo y distribución de líneas propuestas para verificar que también trabaja satisfactoriamente con materiales de hormigón y mezclas apropiadas, por lo demás, para el trabajo. En el mercado se encuentran tuberías de acero, aluminio y plástico. Sin embargo, nunca deberá permitirse el uso de tube-



Fig. 9-3—Mediante bombeo se puede vaciar hormigón en losas sin necesidad de senderos ni de grúas. Es preciso que siempre haya comunicación directa entre el operador de la bomba y la cuadrilla de colocación.

rías de aluminio y por lo general, tal uso está prohibido por la mayoría de las especificaciones. La abrasión del aluminio causada por el flujo de hormigón al pasar por tuberías de dicho material causará a menudo la formación de hidrógeno y la consiguiente expansión anormal del hormigón. En el Capítulo 15 se describen más ampliamente las prácticas de bombeo.

El bombeo directo a través de tuberías es un método efectivo para el transporte del hormigón (Fig. 9-3). Requiere un suministro continuo de hormigón uniforme, plástico, manejable, de consistencia media. A menudo es conveniente reducir la cantidad de agregado grueso de la mezcla hasta en un diez por ciento, pero esto aumenta el contenido unitario de agua y, por lo tanto, el contenido de cemento si no quiere excederse la relación agua-cemento. Al depositar el hormigón en la bomba, su asentamiento ha de estar entre 7.5 y 10 centímetros (3 y 4 pulgadas) o ligeramente más alto, si se trata de hormigón con aire incorporado. El uso de un aditivo plastificante o de ayuda para el bombeo puede ser benéfico, especialmente en clima cálido. La inspección consiste principalmente en observar la condición del hormigón al final de la tubería, controlar el asentamiento en cada uno de los extremos de la línea y ver que no se añada agua sin autorización en la tolva de bombeo. La bomba y el tubo deben limpiarse completamente una vez se

termine el bombeo así como regarse por fuera de las formaleas el agua que se use para limpiar el tubo al comienzo o al final de una colada.

La colocación neumática es otro método de transportar hormigón a través de tuberías y se describe en el Capítulo 15. El uso de aire para empujar el hormigón por una tubería tiende a secarlo algo y a llevarlo a una consistencia más rígida. De ahí que, en general, se necesite al comienzo de la línea una consistencia más húmeda que la requerida en las formaleas. El colocador deberá situarse lo más próximo posible al punto de depósito y las líneas de descarga ponerse en posición horizontal, o inclinadas hacia arriba a partir de la máquina. Es común que se presente mucha segregación cuando el hormigón sale a alta velocidad del extremo del tubo; por consiguiente, se requerirá una descarga lenta y no violenta hasta que el extremo del tubo quede enterrado en el hormigón, y el uso de cajas y capuchones apropiados para regular efectivamente la descarga. El equipo de colocación neumática debe controlarse cuidadosamente para producir hormigón uniforme en el lugar.

Vaciado

Los métodos de colocación del hormigón deberán mantenerlo uniforme y librarlo de imperfecciones obvias. Esta fase del trabajo resulta ser a menudo la clave de toda la operación de hormigonado. Los métodos apropiados de colocación no solo prevendrán la segregación y la aparición de áreas porosas o con hormigueros, sino que también evitarán el desplazamiento de las formaleas y del refuerzo, asegurarán adherencia firme entre las capas, minimizarán el agrietamiento por contracción de fraguado, y producirán una estructura de buena apariencia.^{8,24}

Dirección y localización de la caída de hormigón—Para evitar segregación, la dirección de la caída deberá ser vertical. En caso necesario el hormigón se ha de encauzar por ductos de caída apropiados de tal manera que no golpee ni el refuerzo ni los lados de la formalea. Esto evitará que se cause segregación y que se salpiquen con mortero las superficies por encima de la línea de enrase. Dicho mortero se secaría, reduciendo la adherencia en los niveles superiores del vaciado de hormigón. Entre las cuadrillas de hormigonado que utilizan ductos de caída seccionales, existe la tendencia a distribuir el hormigón empujando o halando las secciones inferiores en varias direcciones, con lo que se forma un ángulo bastante apartado de la vertical. Se presenta, entonces, seria segregación, a menos que el flujo emergente se dirija verticalmente, sosteniendo la sección más baja en dicha posición. En muchos casos (en particular, cuando la colocación del hormigón ha progresado suficientemente hacia arriba en la formalea) pueden evitarse estos problemas, ahorrarse mucho tiempo y trabajo, y obtenerse un hormigón mejor colocado y distribuido si se vacian las canecas u otro equipo de entrega directamente, sin la intervención de tolvas o ductos de caída (Referencia 8, p. 295).

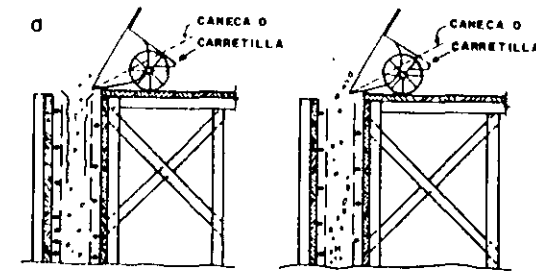
El hormigón deberá depositarse cerca a su localización final, y no se ha de permitir que fluya lateralmente sino por corta distancia, a menos que sea bien evidente que toda la mezcla está moviéndose sin segregación. Para me-

jor durabilidad, se recomienda colocar el hormigón directamente en las esquinas y en los extremos de las paredes y cualquier flujo del material tiene que partir de tales esquinas y extremos en lugar de ir hacia ellos. En la construcción de losas, el nuevo hormigón deberá descargarse contra el hormigón ya depositado y no alejándose de él. No conviene depositar en ningún lugar más hormigón del que pueda ser consolidado conveniente y efectivamente. La parte superior de cada capa que se vaya colocando tiene que mantenerse nivelada aunque sea aproximadamente. La primera capa que se coloque sobre hormigón endurecido o sobre roca no ha de tener más de 50 centímetros (20 pulgadas) de espesor. El agregado grueso que se haya segregado deberá sacarse y regarse en otras áreas; no hay que apalearlo sobre él en el sitio pues puede producir fácilmente hormigueros (o bolsas de aire). Las mezclas de hormigón más duras de lo común se salvan al extenderlas en una capa delgada y trabajarlas dentro del otro hormigón. No conviene acudir a rastrillos para extender hormigón de ninguna clase; solo se permite el uso de herramientas de arrastre o palas comunes.

Vaciados profundos—El hormigón tiende a aumentar su relación agua-cemento en las cercanías de la parte superior de un vaciado profundo, puesto que el agua presenta migración hacia arriba en el hormigón colocado. Para compensar esto, se recomienda usar una consistencia más seca a medida que se eleva el nivel del hormigón. Esto naturalmente no causa problemas de colocación puesto que en dicho sitio el material puede alcanzarse con más facilidad para efecto de que se le vibre. Si el agua de exudación se eleva a la superficie es probable que la arena sea deficiente en finos, que la mezcla resulte pobre, o que el hormigón tenga alto asentamiento. Tal "exudación", ya sea de agua limpia o de agua y finos, produce una superficie acabada superior de hormigón débil, inapropiada tanto para que vuelva a servir de junta de construcción a la cual se le adhiera hormigón adicional, como para exposición directa a la intemperie o al tránsito. El hormigón con aire incorporado tiene un potencial de exudación mucho más bajo que el carente de aquel.

Antes de vaciar hormigón de losas y vigas encima de un vaciado profundo de hormigón fresco de paredes y columnas, deberá dejarse amplio tiempo para que se produzca el asentamiento del hormigón colocado verticalmente, o de lo contrario habrá agrietamiento. El tiempo requerido disminuirá con el incremento en temperatura y ha de ser lo suficientemente largo para que el hormigón en colocación vertical no se vuelva a plastificar al revibrarlo.

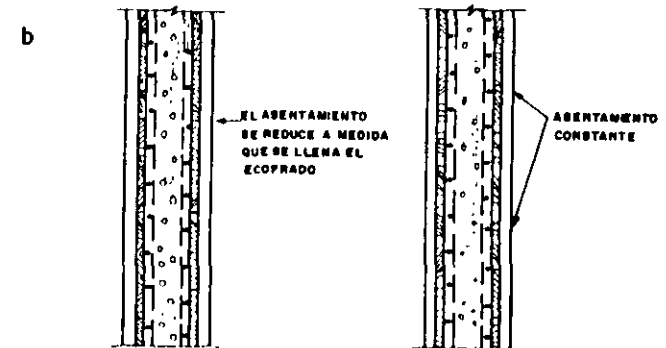
Colocación correcta—Las Figs. 9-4 y 9-5 muestran métodos correctos de colocar hormigón. La continuidad de la colocación del material debe mantenerse sin demoras indebidas, con las excepciones anotadas atrás. Habrá numerosas ocasiones en las que daños en el equipo, lluvia, etc., interrumpen su continuidad. Siempre que se presenten tales interrupciones, habrá que tomar provisiones para proteger la cara del hormigón que posteriormente va a recibir material fresco cuando se reanude el hormigonado. El hormigón deberá sombreadarse y cubrirse con arpillera mojada (pero que no gotee), particularmente en condiciones cálidas, secas y con viento. Otro método apropiado es el de utilizar fumigadoras de niebla. Si la demora es lo suficien-

**CORRECTO**

EL HORMIGON SE DESCARGA EN UNA TOLVA ALIMENTADORA LIVIANO Y FLEXIBLE, CON LO QUE SE EVITA LA SEGREGACION. LA FORMALETA Y EL ACERO SE CONSERVAN LIMPIOS HASTA QUEDAR CUBIERTOS POR EL HORMIGON

INCORRECTO

PERMITIR QUE AL DESCARGARLO DE LA CANALETA O CARRETILLA, EL HORMIGON GOLPEE LAS PAREDES DEL ENCOFRADO Y QUE REBOTE CONTRA ESTE Y CONTRA LAS VARILLAS DE REFUERZO, PRODUCIENDO SEGREGACION Y LA FORMACION DE HORMIGUEROS EN EL FONDO

VACIADO DE HORMIGON EN LA PARTE SUPERIOR DE UN ENCOFRADO ANGOSTO**CORRECTO**

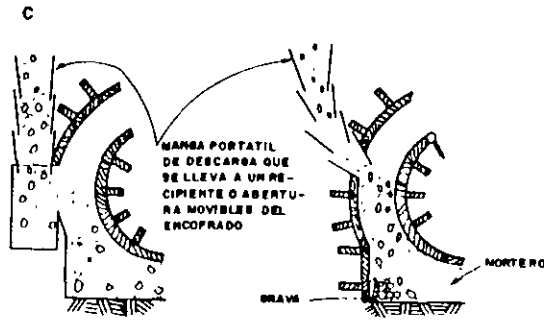
COLOCAR HORMIGON MAS HUMEDO EN EL FONDO DE UN ENCOFRADO ANGOSTO Y PROFUNDO E IR DISMINUYENDO EL CONTENIDO DE AGUA A MEDIDA QUE SE PROGRESA EN EL VACIADO Y SE VA LLEGANDO A LA PARTE SUPERIOR DE LA FORMALETA. LA GANANCIA DE AGUA PROPENDE A IGUALAR LA CALIDAD DEL HORMIGON Y RESULTA EN ASENTAMIENTO MINIMO POR CONTRACCION

INCORRECTO

UTILIZAR EN LA PARTE SUPERIOR DEL VACIADO HORMIGON DE IGUAL ASENTAMIENTO AL REQUERIDO EN LA PARTE INFERIOR ESTE EXCESO DE ASENTAMIENTO EN LA PARTE SUPERIOR, AL REDUNDAR EN DEMASIADA GANANCIA DE AGUA, PRODUCE DESCOLORIMIENTO Y DESMEJORA LA CALIDAD Y DURABILIDAD DEL HORMIGON DE LAS CAPAS SUPERIORES

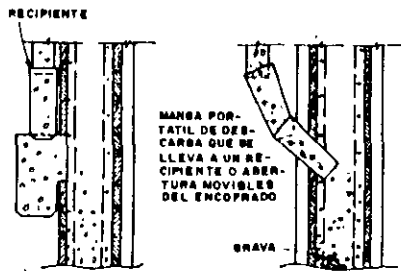
CONSISTENCIA DEL HORMIGON EN FORMALETAS ANGOSTAS Y PROFUNDAS

Fig. 9-4—Métodos correctos e incorrectos de colocación del hormigón.



CORRECTO

INCORRECTO



CORRECTO

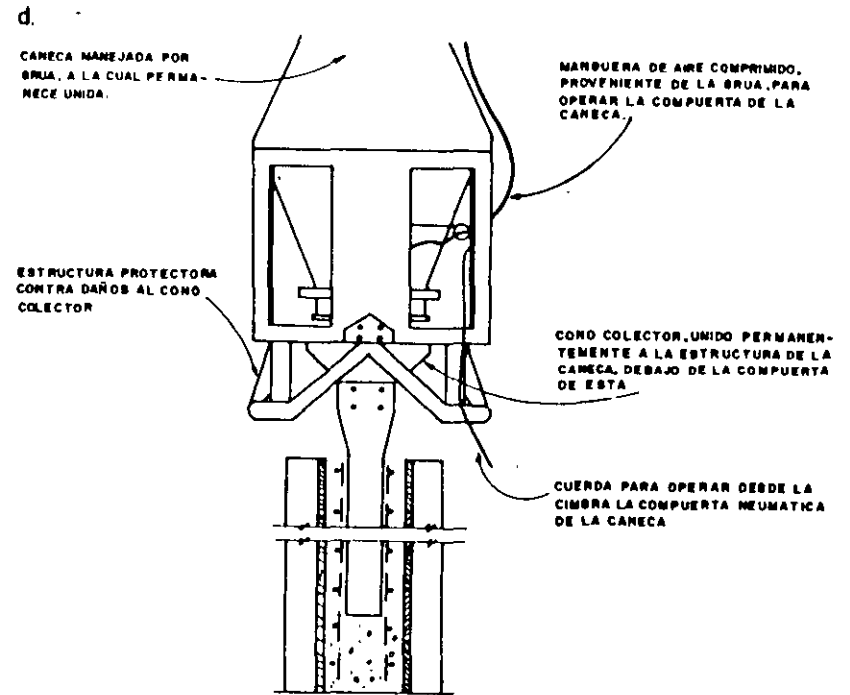
INCORRECTO

DEPOSITAR EL HORMIGON VERTI-
CALMENTE EN EL RECIPIENTE
QUE CUELGA DE LA ABERTURA
DEL ENCOFRADO, PARA QUE ES-
TE, AL DETENERSE, PUEDA
FLUIR CON FACILIDAD POR REBO-
SAMIENTO DEL RECIPIENTE EXTER-
NO, DENTRO DE LA FORMAleta,
SIN QUE SE PRODUZCA SEGREGA-
CION

PERMITIR QUE UNA CORRIENTE
DE HORMIGON ENTRE AL ENCOFRA-
DO A ALTA VELOCIDAD, FORMANDO
UN ANGULO DE INCLINACION CON
RESPECTO A LA VERTICAL, ESTE
METODO PRODUCE SEGREGACION
SIEMPRE

VACIADO EN PARED PROFUNDA O CURVA.
A TRAVES DE UNA ABERTURA EN EL ENCOFRADO

Fig. 9-4 (continuación)—Métodos correctos e incorrectos de colocación del hormigón.



MANGA FLEXIBLE DE DESCARGA CONECTADA AL
CONO COLECTOR. LA MANGA SE APLANA POR SI
MISMA CUANDO NO CAE HORMIGON, LO QUE
PERMITE UTILIZARLA CUALQUIERA QUE SEA
EL TAMAÑO DEL AGREGADO.

VACIADO DE HORMIGON EN ENCOFRADOS
ANGOSTOS Y PROFUNDOS

Fig. 9-4 (continuación)—Métodos correctos e incorrectos de colocación del hormigón.

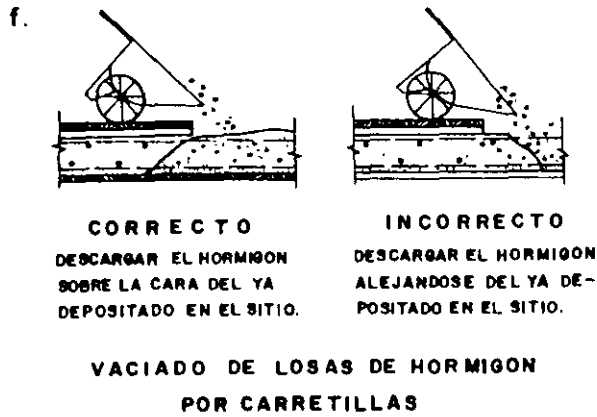
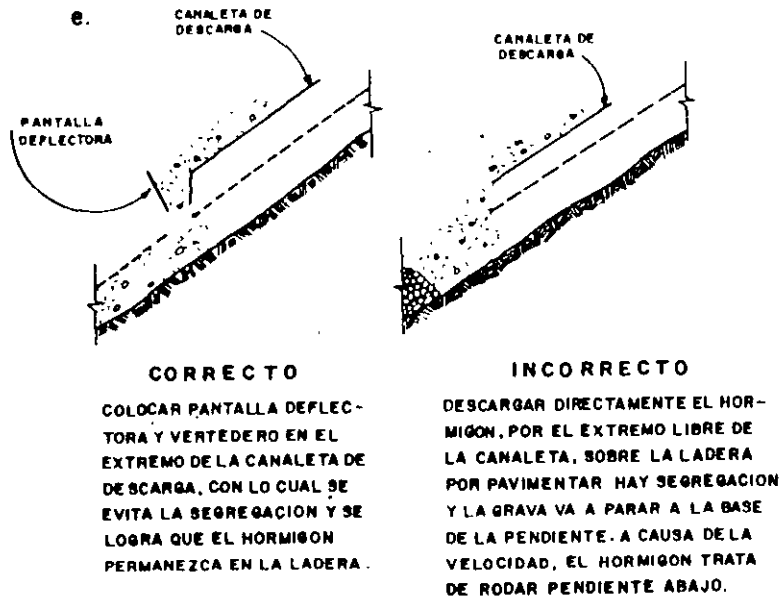


Fig. 9-5—Métodos correctos e incorrectos de colocación del hormigón.

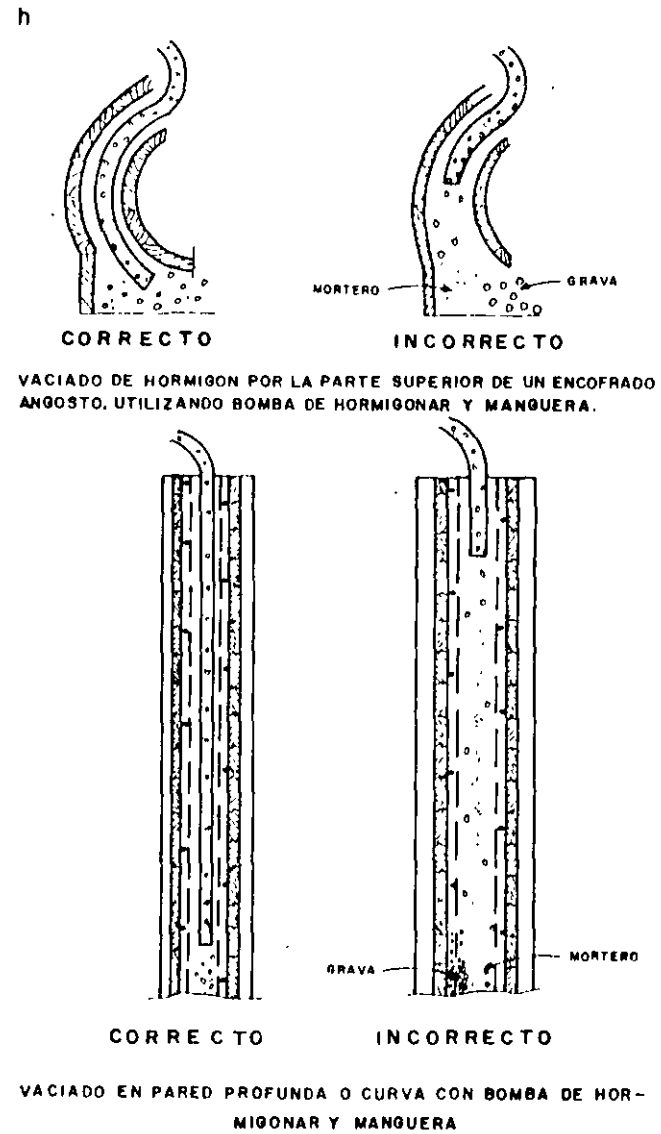
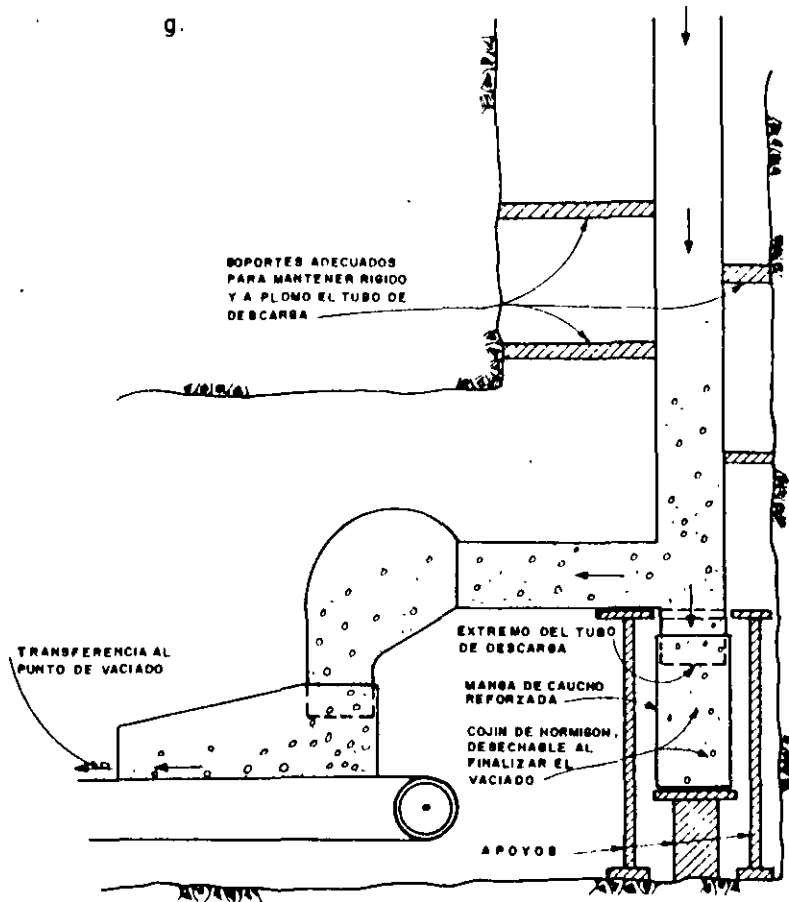


Fig. 9-5 (continuación)—Métodos correctos e incorrectos de colocación del hormigón.



VACIADO DE HORMIGON MEDIANTE TUBO DE DESCARGA VERTICAL

NOTA: EN VEZ DE LA MANGA DE CAUCHO REFORZADA SE PUEDE UTILIZAR UNA CANECA ABIERTA Y FUERTE, DESDE LA CUAL REBOSE EL HORMIGON A UNA TOLVA CORRIENTE, PARA SU DESCARGA POSTERIOR A BANDA TRANSPORTADORA, CARRETILLA, CANALETA O BOMBA.

Fig. 9-5 (continuación)—Métodos correctos e incorrectos de colocación de hormigón.

temente larga como para requerir juntas de construcción, es preciso seguir los consejos dados bajo el título "Juntas de construcción" (que se presenta posteriormente en este capítulo).

Tiene que evitarse que los obreros caminen innecesariamente sobre o dentro del hormigón fresco o sobre el refuerzo, e impedirse toda otra perturbación o actividad que vaya a afectar la uniformidad, acabado o adherencia. Siempre que se trabajen losas anchas, hay que proporcionar plataformas de trabajo que cubran todo el ancho de la losa para impedir cualquier perturbación del hormigón recién colocado. En todo momento las botas lodosas deberán mantenerse alejadas del hormigón fresco.

La deflexión o asentamiento excesivo de los encofrados durante el hormigonado o después de él es señal de problema. Los encofrados que se apoyan sobre la tierra son particularmente susceptibles a un asentamiento diferencial que puede causar a menudo deflexiones excesivas en losas frescas e inclusive su agrietamiento. Estos asentamientos lentos pasan a menudo inadvertidos, a menos que se tomen datos de niveles antes del hormigonado y se comparen con mediciones sistemáticas posteriores. El diseño de la formaleta deberá incluir, y usualmente lo hace, provisiones para efectuar ajustes (cuñas, etc.). Sin embargo, existe la tendencia entre los trabajadores a descuidar ajustes ulteriores, luego que el inspector da su aprobación preliminar, antes de comenzar la colocación del hormigón, a menos que se les exija que verifiquen permanentemente las formaletas y el arriostramiento durante el vaciado. Deberá exigirse que tal verificación sea continua. (Véase la discusión sobre formaletas en el Capítulo 8).

CONSOLIDACION

A medida que se coloca, el hormigón tiene que consolidarse completa y uniformemente por medio de herramientas manuales, vibradores mecánicos (preferiblemente), reglas vibradoras, o máquinas terminadoras, con el fin de asegurar una estructura densa, una buena adherencia con el refuerzo y superficies lisas. Es indispensable que el hormigón se trabaje muy bien alrededor del refuerzo y de otros elementos embebidos, lo mismo que en las esquinas de las formaletas.

Si la manejabilidad del hormigón plástico es tal que la mezcla tiende a segregarse o estratificarse cuando se trabaja o vibra, su contenido de agua tendrá que reducirse hasta el punto en que la mezcla permanezca homogénea durante la consolidación. Tal vez sea también necesario volver a dosificar la mezcla.

Se precisa contar con equipo de consolidación y personal en número suficiente para manejar la rata normal de producción de hormigón bajo condiciones normales de colocación. Sin embargo, las operaciones de consolidación deberán llevarse a cabo a una rata suficiente para impedir las demoras y las posibles juntas frías. Cuando la rata de consolidación del hormigón se ve disminuida por condiciones de congestión en el punto de colocación, falla del equipo, manejabilidad desfavorable de la mezcla, u otra causa, deberá

reducirse también la rata de medición y amasado, de manera que no se acumule hormigón sin consolidar en el punto de colocación, ni permanezca ocioso y endureciéndose en la hormigonera, tolva, caneca u otra parte del sistema de transporte.

Consolidación a mano

En el hormigón plástico, hay que obtener que la herramienta penetre en toda la capa que está colocándose, y trabajarse bien contra o dentro del material que se halla por debajo. Las garlanchas utilizadas en las caras de las formaletas verticales o cerca de ellas, pueden disminuir las imperfecciones superficiales y los agujeros de las burbujas de aire, aunque será de mucha ayuda hacer una mayor vibración de las capas de colocación más profundas mediante revibración posterior. Las superficies bajo formaletas inclinadas se benefician de manera similar, aunque en grado mucho menor.

En caso de hormigón seco apisonado a mano, las superficies deberán apisonarse con herramientas pesadas de cara plana hasta que aparezca en la superficie una película delgada de mortero o pasta, demostrativa de que los vacíos del agregado han quedado llenos.

Vibración

La vibración hace posible consolidar mezclas de bajo asentamiento incompactables por métodos manuales, exceptuando quizás el apisonado a mano que es laborioso y costoso y a menudo no factible. La vibración permite colocar hormigón con asentamiento de 5 a 10 cm (2 a 4 pulg), y aun menor, si se trata de colocaciones abiertas. Un hormigón tal de bajo asentamiento tiene menor tendencia a la segregación que las mezclas más húmedas, de más alto asentamiento que se necesitan cuando el hormigón se consolida a mano. No es de esperarse que la vibración corrija la segregación que ya ha ocurrido a causa de métodos defectuosos de manejo y colocación, ni que garantice buenos resultados, si las proporciones de la mezcla no son correctas. En las Referencias 51 y 52 se dan recomendaciones detalladas sobre la consolidación del hormigón por vibración, incluyendo información referente a los tipos y tamaños de vibradores.

Los vibradores son de tres tipos generales: interno o de inmersión, de superficie y de formaleta. Cuando se pueden utilizar vibradores internos los mejores resultados se obtendrán si éstos tienen el tamaño, frecuencia y amplitud recomendados en la Tabla 5.1.4 de la Referencia 51. Cualquier tipo de vibrador deberá aplicarse sistemáticamente a intervalos de distancia suficientemente cortos, de manera que las áreas de hormigón vibradas se traslapen sin falta. En el caso de hormigón de peso normal, deberá continuarse la vibración hasta que el hormigón esté completamente consolidado y los vacíos llenos, según ha de evidenciarlo la aparición nivelada del hormigón en la superficie expuesta y el recubrimiento del agregado superficial. Cuando exista duda sobre lo adecuado del procedimiento vibratorio de hormigón de peso normal, lo mejor es, por lo general, aplicar más vibración puesto

que hay poco riesgo de sobrevibrar una mezcla que haya sido dosificada en forma apropiada. El hormigón que permite ser fácilmente sobrevibrado es o demasiado húmedo o demasiado susceptible a la segregación, y en tal caso habrá que reducir el asentamiento más que la cantidad de vibración, o, posiblemente, modificar las proporciones de la mezcla. El temor a sobrevibrar ha causado más resultados pobres que la sobrevibración en sí misma.

Sin embargo, cuando la densidad del agregado grueso difiere apreciablemente de la del mortero, como sucede con los agregados livianos, la vibración prolongada u otro esfuerzo de consolidación tienden a estratificar la mezcla, y hay peligro de sobrevibración. Debido a la menor densidad del agregado grueso liviano, probablemente saldrán a la superficie algunas partículas grandes, inclusive cuando la vibración es cuidadosa. En este caso, resulta útil el empleo de una rejilla de apisonamiento para llevar tales partículas abajo de la superficie, y permitir así el acabado apropiado. (Véase el Capítulo 16). Ya sea para mezclas de hormigón liviano o pesado, la vibración deberá limitarse a la necesaria para obtener una consolidación efectiva. Usualmente, la vibración de hormigón estructural tiene que asegurar los resultados deseados en un lapso de cinco a quince segundos, colocando los vibradores en puntos espaciados entre 45 y 75 cm (18 a 30 pulg), de preferencia a períodos mayores e intervalos más grandes. Véase el Capítulo 13 para los procedimientos apropiados de consolidación de pavimentos de hormigón.

Los *vibradores internos* han de introducirse verticalmente (Fig. 9-6) en toda la profundidad de la capa que está siendo colocada, sacarse idénticamente y no arrastrarse dentro del hormigón. El vibrador deberá insertarse muy aprisa, retirarse lentamente, y operarse en forma continua mientras se saca



Fig. 9-6—La vibración interna licúa momentáneamente la mezcla, removiendo el aire atrapado y haciendo que el hormigón de bajo asentamiento resulte más manejable.

de manera que no quede ningún agujero en zonas de hormigón rígido. No se aconseja utilizar el vibrador para hacer que el hormigón fluya de un lugar a otro, pues tal práctica causa, por lo general, segregación, que deja atrás el agregado grueso de tamaño mayor. En losas delgadas, no es posible usar vibradores internos insertados verticalmente. Véase el Capítulo 12 para una discusión detallada de la consolidación del hormigón de losas.

Cuando se consolida hormigón sobre otro endurecido o sobre roca, la primera capa requiere más vibración que las capas subsiguientes para asegurar contacto estrecho y continuo en la junta fría. Este trabajo se realiza mejor, si se insertan los vibradores aproximadamente a la mitad del espaciamiento normal, durante períodos cortos de tiempo. Las capas sucesivas tienen que vibrarse bien dentro de la capa precedente cuando ambas estén todavía blandas.

Ordinariamente, hay poca probabilidad de que se dañe el hormigón con la vibración de vaciados inferiores o del acero de refuerzo mediante vibradores internos. De hecho, el revibrado del hormigón es benéfico durante todo el tiempo después del vaciado en que el hormigón responda al vibrador *plastificándose nuevamente*. Mientras un vibrador de inmersión se hunda por su propio peso al funcionar en el hormigón, será benéfica cualquier revibración del material. Los vibradores deberán dejarse funcionando a medida que se sacan lentamente. Tal revibración tardía del hormigón ayudará mucho a eliminar las grietas horizontales y las de contracción de fraguado causados por el asentamiento del hormigón retenido por refuerzo o formaletas irregulares. El revibrado aumentará la resistencia y disminuirá el número de agujeros de burbujas de aire en las áreas superiores formadas; también fortalecerá la adherencia por debajo de las barras horizontales y otros embebidos y reducirá la filtración por los pernos de la formaleta.

El mismo procedimiento de revibración se aplica alrededor de marcos prefabricados (como por ejemplo, ventanas) para evitar agrietamientos provenientes de asentamiento disperejo.

La colocación y consolidación de hormigón en pendiente deberá empezar en la parte inferior y demorarse las operaciones de acabado para evitar escurrimiento. Rastreles pesados motorizados, no vibrantes, ayudan a asegurar la pendiente apropiada.

Un *vibrador de superficie* (Véase la Fig. 13-5 del Capítulo 13) deberá poder consolidar en toda su profundidad a la capa que se esté colocando. Si no se cumple este requisito, o bien deberá reducirse la profundidad de la capa o utilizarse una máquina más potente. El uso de un vibrador de superficie (rastrel vibratorio, vibrador tipo panel, vibrador de formaleta, etc.) requiere que la mezcla de hormigón se dosifique en forma adecuada y que tenga bajo asentamiento. De lo contrario, es posible que una cantidad indeseable de lechada sea (y probablemente será) traída a la superficie.

Los *vibradores de formaletas* se usan principalmente en operaciones de prefabricación (Fig. 9-7). Sin embargo, la vibración de las formaletas es apropiada para muchas secciones delgadas de hormigón vaciado en sitio, y complementa útilmente la vibración interna en sitios donde resulta difícil o

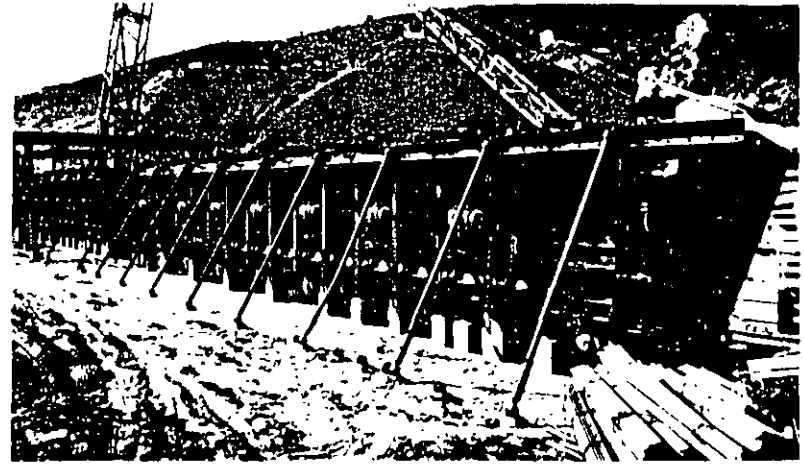


Fig. 9-7—Vibradores adheridos a los lados y al fondo de un encofrado de prefabricación.

imposible insertar un vibrador interno. Es también útil para reducir los vacíos de aire en las superficies formadas. Se debe tener cuidado en la selección y montaje del vibrador de la formaleta, para que sea lo más efectivo posible (Fig. 9-8). Esto puede exigir fortalecer y hacer más rígido el encofrado. Los vibradores de formaletas para ser efectivos, deben tener suficiente potencia, a fin de impartirles vibración real. Esto, a su vez, requiere que las formaletas sean suficientemente fuertes y rígidas para que resistan la vibración sin experimentar distorsión o sin que haya filtraciones de mortero.

ACABADO

La calidad de una superficie de hormigón tiene que juzgarse en gran parte por la condición y apariencia de su terminado. Tales superficies expuestas se ven sometidas a condiciones más o menos severas de humedecimiento o secamiento, a cambios de temperatura y a desgaste mecánico. Además, la mayoría de las superficies de hormigón están sujetas a agrietamiento por excesiva contracción de secamiento. Para mejorar estas condiciones, el hormigón debe tener la mezcla justa (sin demasiado contenido de agua), adquirir la consolidación y el terminado propios, y ser curado adecuadamente durante el tiempo prescrito.¹¹

Superficies no formadas

Las proporciones del hormigón, su consistencia y los métodos de consolidarlo, deben ser tales que en la superficie sólo quede el mortero necesario



Fig. 9-8—Es posible montar los vibradores externos sobre travesaños adosados a las formaletas. Este método debe usarse con precaución, empleando únicamente unidades de baja amplitud y alta frecuencia.

para el acabado. Si la mezcla tiene demasiada arena, o es demasiado húmeda, o si el hormigón se trabajó más de lo debido al consolidarlo o al acabarlo, es probable que la superficie se cubra con agua de "exudación" o con una capa relativamente profunda de mortero o lechada extrahúmeda. El hormigón se ha de extender en forma pareja por delante del emparejador. Durante las operaciones iniciales de acabado, la superficie tiene que trabajarse el mínimo posible.

Para remover los puntos altos y bajos y producir una verdadera superficie plana se utiliza una aplanadora de mango largo manejada por dos hombres (Fig. 9-9). Después de completar el aplanado, y estando todavía blanda la superficie, el inspector deberá verificar su alineación por medio de una regla o plantilla. Las áreas altas o bajas han de corregirse inmediatamente y las operaciones iniciales de formación de bordes y de surcos para juntas, realizarse en este estado, mientras el hormigón siga todavía en estado bastante plástico.

Hay que permitir que toda agua que salga a la superficie durante las operaciones de aplanamiento, se evapore antes de alisar la superficie con aplanadoras mecánicas o de mano. Este alisamiento deberá comenzar tan pronto

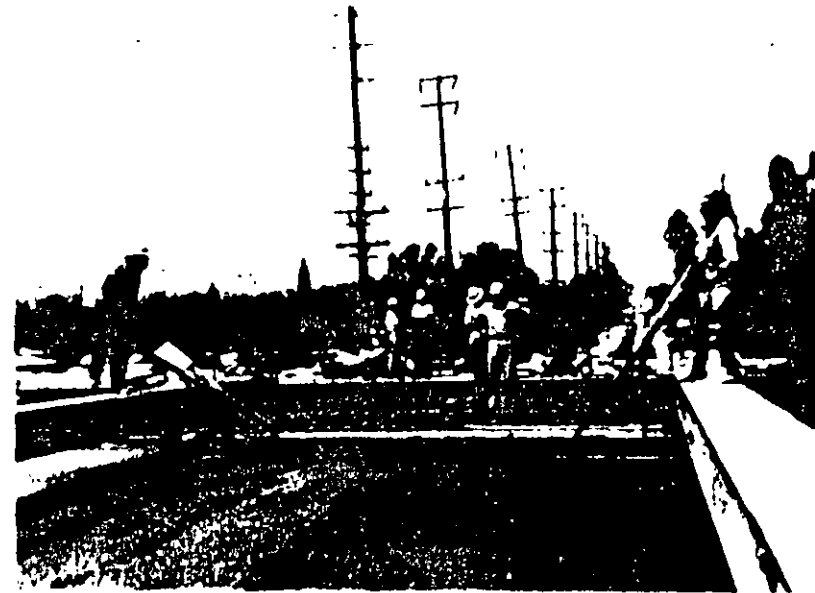


Fig. 9-9—Alisado manual del tablero de un puente por medio de rastreles flotantes con mango largo, operados desde plataformas de trabajo que van de un extremo a otro del tablero. Para el alisado final es preciso esperar a que termine la exudación del hormigón.

desaparezca el brillo de la superficie. Si la cantidad de agua o de lechada es excesiva, tiene que "rasparse" antes de alisar nuevamente la superficie. El uso cuidadoso de un lazo grande de manguera de jardín, arrastrado a través de la superficie, es a menudo efectivo para remover el exceso de agua superficial. No deberá permitirse la aspersión de cemento seco o de una mezcla de cemento seco y arena sobre la superficie del hormigón fresco. Sin embargo, resulta ventajoso usar las propiedades absorbentes del cemento seco, si se coloca éste encima de una arpillera que cubra la superficie, en ciertas técnicas especiales para el acabado de pisos endurecidos y la construcción de pavimentos. La arpillera con la capa de cemento debe removerse cuidadosamente para prevenir la contaminación de la superficie y permitir que continúen las operaciones de acabado, las que es indispensable controlar, para prevenir que produzcan un exceso de pasta en la superficie.

Después del aplanamiento burdo con aplanadoras de mango largo y antes del emparejamiento con llana, se suele aplanar a mano o con aplanadoras motorizadas, para remover las irregularidades menores que todavía queden en la superficie y empezar la densificación de ésta. El hormigón está listo para el enlucido con llana cuando cualquier lustre causado por el agua haya desaparecido y cuando un hombre que se pare sobre la superficie deje huella de aproximadamente 6 milímetros ($\frac{1}{4}$ de pulg).

Hay que demorar el emparejamiento con llana tanto cuanto sea posible. El intervalo apropiado de tiempo varía con el cemento, con el clima y con otras condiciones: grosso modo, el hormigón estará listo tan pronto la superficie alcance el estado en que no sea posible hacerle una marca con el dedo. Si se empareja la superficie demasiado pronto, se forma una nata en la superficie; si demasiado tarde, el hormigón parcialmente endurecido lo es demasiado para poderse emparejar con efectividad. Durante el emparejamiento con llana de acero, ésta deberá inclinarse en un pequeño ángulo y ejercerse bastante presión para compactar la pasta y formar una superficie densa y dura. Tanto el ángulo como la presión de la llana tienen que aumentar con cada operación si la superficie va a recibir más de un emparejamiento con este instrumento. Véase en el Capítulo 15 lo referente a procesamiento al vacío de superficies de losa.

El hormigón en juntas y bordes se ha de alisar, por lo general, con marcadores especiales de juntas o de bordes y quitársele el mortero de exceso. Conviene tener cuidado y exigirse el uso de marcadores de borde y de junta delgados y de pequeño radio. Es extremadamente importante prevenir que el hormigón de juntas y bordes no se trabaje más de lo estrictamente necesario.

Puesto que el hormigón con aire incorporado tiene menos exudación, algunas veces se dificulta terminarlo puesto que la capa superficial tiende a endurecerse con mayor rapidez que el interior de la losa. Puede ayudar el uso de una mezcla más rígida, que proporcione más uniformidad en el fraguado en toda la profundidad y el terminar más pronto de lo que se acostumbra para hormigón sin aire incorporado. El acabado de hormigón con aire incorporado se facilita con la utilización de una aplanadera de magnesio o de aluminio en lugar de una de madera.

Las grietas que aparecen sobre superficies de hormigón vaciado sin formaleta, poco después de colocarlo (cuando el hormigón todavía está en estado plástico) provienen, por lo general, de evaporación excesiva debida a calor extremo y a viento seco y se llaman comúnmente grietas de contracción plástica. Estas grietas están, por lo general, orientadas al azar y desconectadas; son anchas en la superficie pero sólo de profundidad moderada. La fumigación, las pantallas desviadoras de viento, los parasoles, las cubiertas de hojas plásticas u otros procedimientos que impiden la pérdida de humedad, entre operaciones de acabado, reducirán materialmente o minimizarán el agrietamiento por contracción plástica, en trabajo plano puesto bajo condiciones áridas desfavorables. Algunas veces se puede prevenir o remediar este agrietamiento plástico con el trabajo a tiempo de la superficie, consistente en un enlucido un poco más tardío de lo usual, seguido por un emparejamiento ligeramente adelantado. Las grietas presentes antes de emparejar pueden, a menudo, volverse a unir con la aplanadera. Si las grietas se emparejan simplemente por encima, es probable que vuelvan a aparecer más tarde.

La caída de lluvia sobre hormigón recién colocado, puede erosionar su superficie y diluir el mortero en ella o próximo a ella. Por eso, hasta donde sea práctico, tienen que adelantarse preparativos para proteger de la lluvia

el trabajo cuando deba continuar bajo tales condiciones. No es aconsejable continuar el terminado del hormigón vaciado sin formaleta en medio de la lluvia, pues ésta dañará rápidamente el trabajo recién acabado. Por tanto, hay que disponer de abrigo completamente efectivo, o suspender el trabajo hasta que la lluvia pase definitivamente.

Superficies formadas

Las especificaciones establecerán claramente qué acabado se requiere o se permitirá sobre las superficies formadas. Estos acabados pueden variar desde el que consiste simplemente en quitar las rebabas y reparar las imperfecciones, hasta el de proporcionar uno de varios acabados decorativos. Véanse las Referencias 54 y 55. Independientemente del método de acabado, la *uniformidad* de la textura superficial y de su color es de importancia primordial para una buena apariencia.

Hay que reparar las imperfecciones tan pronto como sea posible para hacer la reparación más monolítica con el hormigón de base. Por lo general, en el momento en que se quitan las formaletas, el hormigón ha adquirido un grado considerable de dureza. Por consiguiente, es el caso de aplicar tan pronto como sea posible, algunas operaciones especiales de acabado (distintas de las texturas proporcionadas por la formaleta). Algunos procesos especiales de acabado, utilizados en superficies formadas, consisten en: limpieza con chorro de arena, cepillado, fregado, acabado con arpillera, frotación o enyesado. Si se desea pulir, labrar, o picar la superficie, las operaciones deberán demorarse hasta que el hormigón haya ganado suficiente resistencia, con el fin de evitar la pérdida de partículas de agregado grueso.

El inspector tiene que estar presente cuando se quiten las formaletas, para que observe la condición de la superficie del hormigón antes de empezar cualquier acabado o reparación. Los agujeros dejados por las varillas de amarre se rellenarán húmedos con mortero rígido hecho de los mismos materiales que el hormigón, pero en mezcla algo más pobre. Los agujeros de varillas de amarre que se llenen con mortero pueden hacerse menos notorios si el mortero del remiendo contiene una cantidad predeterminada de cemento blanco. Aplicando el mortero cuidadosamente con un bloque de madera se logra que el remiendo pase inadvertido. Como las herramientas metálicas lo oscurecerán se prescribe no usarlas por esta razón.

Las áreas defectuosas deben repararse de una vez por los métodos aprobados y no simplemente mediante la aplicación de revoque sobre ellos. Sin embargo, no ha de permitirse que la ejecución de este trabajo interfiera con la aplicación más pronta posible de continuo curado con humedad, de las áreas adyacentes. Puesto que las dos operaciones tienden a estar en conflicto, el inspector necesitará darle a esta materia atención especial. Durante las operaciones de reparación de defectos y de acabado de la superficie, es preciso que ésta se seque y que las nuevas reparaciones no se vean perjudicadas por las operaciones de curado. Véase el Capítulo 11 para una discusión más detallada sobre reparaciones.

JUNTAS DE CONSTRUCCION

Juntas de construcción planeadas

Las juntas de construcción, a diferencia de las de expansión, no tienen por objeto, primordialmente, permitir movimiento entre secciones de la estructura, sino que ocurren por los requisitos de construcción. La localización de las juntas de construcción se ha de planear antes del vaciado y cumplirse en cuanto sea posible. Generalmente, dichas juntas marcan la parte superior de un vaciado, el extremo de un monolito, o el final de un día de trabajo. Puesto que las juntas de construcción pueden convertirse en puntos débiles en lo que respecta a impermeabilidad y resistencia a la intemperie, hay que evitarlas hasta donde sea posible, siendo consistentes con los límites de la especificación o con los dictámenes de la buena práctica sobre la profundidad y extensión de los vaciados, y procurar que estén adecuadamente localizadas, limpias y bien adheridas.

Las especificaciones pueden requerir la limpieza de las superficies, o la construcción de llaves, o la inserción de barras de trabazón o de enlace en las juntas de construcción. La práctica usual en lo que se refiere a localización, diseño y preparación de juntas de construcción se da en las Referencias 8 y 24. Véase en el Capítulo 13 una discusión sobre juntas de pavimentos.

Cuando se está vaciando hormigón hasta un punto en que se va a hacer una junta de construcción horizontal, deberá lograrse que el borde expuesto de la junta forme una línea limpia, ya sea formándolo o desbastándolo. En las fundidas siguientes, la formaleta tiene que apretarse contra el borde de la junta, con traslapeo mínimo, antes que se coloque hormigón adicional, para impedir la filtración de mortero o el descuadre de las superficies.

Si sólo transcurren unas pocas horas entre coladas sucesivas que vayan a estar bien adheridas, no es siempre necesario preparar la superficie de contacto del hormigón viejo, previsto que ésta se halle limpia y húmeda. Tal hormigón fresco, si no está sucio, seco o cubierto con una capa apreciable de nata, permitirá que el nuevo se adhiera adecuadamente, siempre y cuando se le vibre muy bien en toda el área. Obviamente, mientras más pronto se coloque la colada siguiente, mejores son las probabilidades de obtener una adherencia satisfactoria.

Los requisitos esenciales para las superficies de unión más viejas son: que estén limpias y que el agregado no esté suelto ni quebrados los bordes o esquinas del hormigón. Puede hacerse limpieza por medio de chorro de agua y aire o cepillado con alambre siempre que el hormigón esté todavía lo suficientemente blando como para permitir la remoción de cualquier nata, pero lo suficientemente endurecido como para que el agregado no se afloje. La superficie deberá, luego, mantenerse húmeda mediante encharcamiento o aspersión de agua, o cubriéndola con arena húmeda hasta que se coloque el nuevo hormigón o se haya completado el tiempo especificado de curado. De no hacerlo así, tales superficies estarán, por lo general, contaminadas en el momento de colocar la siguiente colada, de manera que sólo mediante una

limpieza con chorro de arena, o con agua a presión muy alta, se restablecerá aceptablemente su limpieza. A causa de esto, usualmente es preferible y más económico posponer la limpieza hasta inmediatamente antes de colocar la siguiente colada de hormigón, y luego utilizar chorro de arena húmedo o de agua a gran presión para remover la película superficial y las partes contaminadas.

No se necesita que la superficie de la junta sea áspera para obtener buena adherencia; de hecho, la aspereza puede interferir con una buena limpieza de la superficie de la junta. Por esta razón, el agregado grueso deberá quedar embebido en el hormigón superficial durante el vaciado.

Cuando se coloca hormigón nuevo sobre una superficie horizontal, conviene extender con escoba, a manera de cama sobre la superficie vieja, una capa de mortero de la misma mezcla del hormigón, después de mantener la superficie continuamente húmeda durante varias horas. Esta fue práctica común en el pasado, pero ahora está perdiendo favoritismo para la mayoría de las aplicaciones. En lugar de utilizar el tratamiento de mortero, es preferible comenzar el vaciado con una mezcla de hormigón que contenga algo más de cemento, arena y agua que el hormigón regular utilizado en el trabajo, sobre una superficie de junta limpia que esté húmeda pero no mojada. Si el hormigón regular contiene agregado mayor de 19 milímetros ($\frac{1}{4}$ de pulg), puede hacerse una mezcla apropiada para comenzar, omitiendo simplemente la parte del agregado con tamaño de los 19 milímetros. Si el tamaño máximo prescrito de agregado es de 19 milímetros ($\frac{1}{4}$ de pulg) o menos, cabe añadir un saco extra de cemento por metro cúbico y más agua suficiente para lograr un asentamiento de 6 pulgadas, con el mismo propósito. Deberá producirse lo bastante de este hormigón como para hacer una capa de 10 a 15 centímetros de profundidad y colocarse en muchos sitios de la junta, de manera que quede bien extendido sobre su superficie. Cuando se coloque la primera capa de hormigón sobre esta mezcla de comienzo ambas tienen que vibrarse muy bien, asegurándose que los vibradores penetren hasta fondo duro en cada ocasión. Este método se viene reconociendo como superior al de comenzar con mortero. Si la superficie de la junta está limpia, el procedimiento que utiliza mezcla de comienzo es lo mismo de efectivo en cuanto a adherencia, y evita las posibles concentraciones de mortero y los problemas causados por la interrupción de la operación de hormigonado; cuando se usa este proceso, puede observarse un pequeño cambio de color.

Si el mortero del hormigón se vibra bien contra superficies verticales o muy inclinadas, se considera generalmente que esto es suficiente. Sin embargo, en caso de que se requiera fuerte adherencia, la superficie del hormigón viejo deberá limpiarse primero con chorro de arena, cuando todavía es accesible, antes de pasar al montaje de la formaleta. Posteriormente, a medida que se coloca el hormigón, se deberá vibrar muy bien contra la junta; puesto que las áreas superiores de una junta vertical se debilitan por la exudación y la ganancia de agua, el hormigón de la junta tiene que volverse a vibrar profundamente hasta que el vibrador en funcionamiento deje de penetrar en el hormigón por su propio peso.

Juntas no planeadas de construcción

Daños en el equipo, falta de entrega a tiempo del hormigón o muchos otros problemas de construcción pueden obligar a suspender el vaciado del material en sitios diferentes a los planeados previamente. El ingeniero y el inspector exigirán que, con la debida anticipación, se hagan planes tentativos para la realización de esta clase de juntas de construcción. Cuando surja la necesidad de una junta no planeada de construcción, el inspector deberá consultar con el ingeniero sobre los posibles efectos de tal junta en el comportamiento estructural o en la seguridad.

Las juntas no indicadas en los planos tienen que localizarse y hacerse de tal manera que perjudiquen lo menos posible la resistencia de la estructura. Por ejemplo, las juntas de construcción en losas de piso y en vigas deberán estar cerca de la mitad de la luz (donde el corte es mínimo) y ser verticales (normales al eje de la losa o viga). Las juntas de construcción en pavimentos de carreteras o aeropuertos siempre han de estar localizadas en juntas planeadas de contracción o de expansión (Véase el Capítulo 13).

En la construcción de las juntas no planeadas es obligatorio observar todas las precauciones y métodos discutidos atrás.

CAPITULO 10 — CURADO, PROTECCION, REMOCION DE FORMALETAS Y REAPUNTALAMIENTO

La inspección no termina con el vaciado real del hormigón; se necesita todavía ver que esté protegido de daño y *se cure en forma apropiada*. Es imprescindible continuar la observación de las partes acabadas del trabajo durante todo el periodo de construcción.

REMOCION Y APOYO DE LAS FORMALETAS

Tiempo de remoción

La determinación del tiempo de remoción de las formaleas ha de basarse en el efecto resultante sobre el hormigón. Las especificaciones requieren, por lo general, que el tiempo de remoción se determine con base en ensayos apropiados de cilindros curados en la obra, e indican también los métodos exigidos de evaluación de estos resultados de ensayo y estándares mínimos requeridos de resistencia. Hay que guardar los registros de condiciones del tiempo y demás información pertinente y emplearse en conjunto con los resultados de los ensayos. Cuando se utilizan los cilindros de ensayo para determinar los tiempos de desencofrado, deberán curarse bajo condiciones no más favorables que la más desfavorable del hormigón que los cilindros representan. Por lo general, se requiere la aprobación del ingeniero antes de que las formaleas de apoyo puedan ser removidas; en muchos casos esta responsabilidad se delega al inspector general por una regla general de política. En las Referencias 6, 40, 46, 56 y 57 se dan recomendaciones detalladas para la remoción de las formaleas (y para apoyo y reapuntamiento, que se discuten más adelante).

Cuando las especificaciones no incluyan las operaciones de desencofrado, la publicación "Recommended Practice for Concrete Formwork" (ACI 347),⁴⁶ establece en la Sección 3.6.2.3, tiempos mínimos previos al desencoframiento, dependiendo del tipo de miembro de hormigón. Estos tiempos se refieren al número acumulado de días para temperaturas de aire por encima de 10°C (50°F), sobre la base de que se utilice cemento portland Tipo I. Cuando se usa cemento Tipo III, la duración puede reducirse, con aprobación del ingeniero (o del inspector, si se le ha delegado tal responsabilidad). Por supuesto, los tiempos habrán de aumentarse si se experimentan temperaturas bajas.

Es aconsejable la remoción pronta de las formaleas para poder adelantar el acabado, y por lo general, lo es también desde el punto de vista del cura-

do. Cuando no se necesita protección, las formaletas que no están soportando carga pueden removerse tan pronto resulte demostrable que con ello no se causará daño a las superficies y bordes del hormigón. En clima cálido y seco, en especial, es preferible quitar las formaletas y comenzar el procedimiento de curado especificado lo más pronto posible después del vaciado del hormigón. Las porciones expuestas de éste deberán mantenerse húmedas, mientras las formaletas permanezcan en su lugar, y en clima cálido y seco, conviene mantener las mismas formaletas de madera en dicha condición.

Apoyo y reapuntamiento

Las formaletas que soportan el hormigón (Fig. 10-1) no han de molestarse hasta que el hormigón pueda sostener su propio peso y el de cualquier carga aprobada de construcción, viva o muerta. La carga de construcción no deberá exceder en ningún momento, la de diseño del miembro, a menos que el calculista haya tomado provisiones en el diseño para permitir tales cargas temporales de construcción, como en el caso de edificios de muchos pisos. En general, la remoción de las formaletas y apoyos de estructuras suspendidas puede efectuarse con seguridad cuando la razón entre la resistencia real a compresión obtenida y la resistencia de diseño sea igual o mayor que la razón entre la carga muerta total de los miembros estructurales más las cargas de construcción y la carga total de diseño. Sin embargo, en todos los casos es preciso exigir la obtención de por lo menos el 50 por ciento de la resistencia a compresión de diseño, antes de permitir la remoción de las

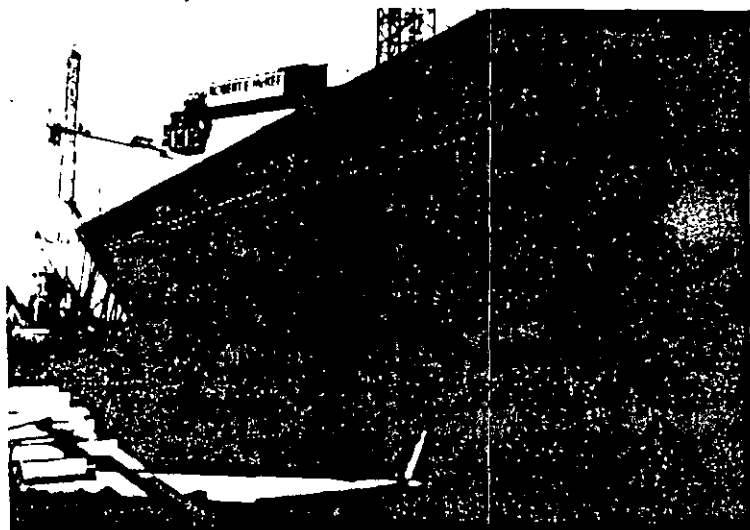


Fig. 10-1—Formaleta para superficie inclinada, con apoyo en puntales tabulares.

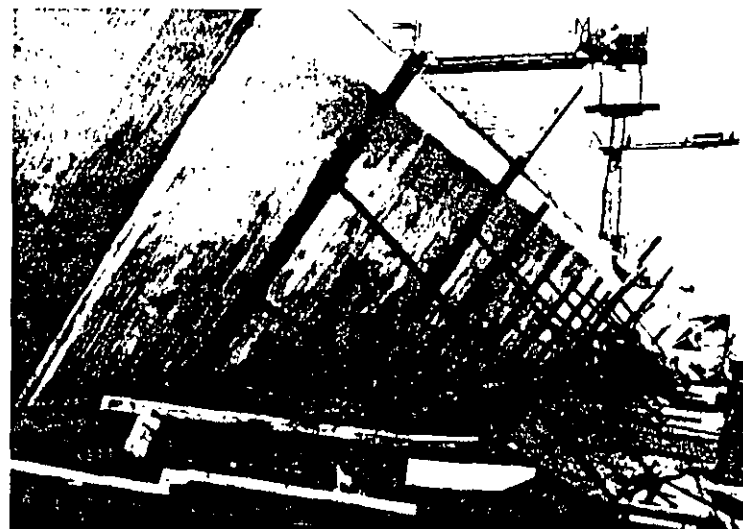


Fig. 10-2—Superficie inclinada de una base de hormigón, reapuntada después del desencofrado.

formaletas. Como regla general, las formaletas de columnas y pilas son retirables antes que las de vigas y losas. Es necesario hacer la descarga de formaletas y apoyos sin causar impacto o choque, y de manera que permita al hormigón tomar su parte de la carga en forma gradual y uniforme.

El trabajo en edificios de muchos pisos presenta condiciones especiales para la remoción de las formaletas y cimbras. La cimbra que soporta el hormigón fresco necesariamente se apoya en los pisos inferiores, que pueden no haber sido diseñados para dicha carga; en tal caso, hay que apuntalar dichos pisos para que soporten la carga de la cimbra que, a su vez, soporta el hormigón fresco. El apuntalamiento deberá hacerse en un número de pisos suficiente para el desarrollo de la capacidad de carga necesaria, sin que se presenten esfuerzos o deflexiones excesivas. Las Referencias 46 y 56 proporcionan información detallada sobre el diseño apropiado de formaletas y cimbras para que soporten el hormigón en forma adecuada y se logre aún la necesaria economía. En la construcción de edificios de muchos pisos, todas las cimbras, apuntalamientos y demás apoyos deberán, sin excepción, ser planeados por un ingeniero estructural. Fallas recientes han indicado que la práctica precedente de ingeniería, no ha sido suficientemente conservadora con respecto de los reapuntamientos. El ingeniero deberá comprobar que éstos se extienden a un número suficiente de pisos inferiores.

El reapuntamiento (Fig. 10-2) es una de las operaciones más críticas en la construcción de edificios de muchos pisos. Los trabajos deberán efectuarse de manera que en ningún momento se requiera que grandes áreas de la

construcción tengan que soportar una combinación de cargas muertas y de construcción, mayor que su capacidad tal como se definió atrás. *Mientras se esté efectuando el reapuntalamiento, no cabe admitir que haya cargas de construcción sobre la nueva obra.*

Es preciso tomar medidas adecuadas para el arriostamiento lateral de los puntales, cimbras y arriostamientos. Estos últimos deberán localizarse en la misma posición en cada piso sucesivo. En el caso en que los puntales no descansen directamente sobre parales de reapuntalamiento, el ingeniero estructural responsable de la cimbra, deberá analizar la posibilidad de que se produzcan esfuerzos por flexión perjudiciales en la losa inferior. La Referencia 56 proporciona una guía detallada para colocar los parales de reapuntalamiento. El inspector ha de estar familiarizado con estos detalles.

Se recomienda remover la reentibación solo cuando el miembro de hormigón que soporta haya obtenido resistencia suficiente para absorber todas las cargas que se le apliquen. Las operaciones de remoción deberán llevarse a cabo en secuencia, de tal manera que la estructura soportada no quede sometida a impacto o a excentricidades de carga. En ningún caso han de removerse los nuevos puntales antes de dos días o mientras queden a menos de dos pisos de una losa recién colocada.

Protección contra daño

Las operaciones de construcción pueden dañar al hormigón que ya está en sitio sobrecargándolo, sacudiéndolo o estropeando sus superficies. Una sacudida o vibración ocasional, si no es severa, generalmente no resulta perjudicial, pero es probable que un impacto fuerte sobre hormigón fresco cause daño y no ha de permitirse que ocurra. El inspector deberá reconocer que las cargas impuestas por el almacenamiento del material de construcción, por el reapuntalamiento de los pisos superiores y por la operación del equipo de construcción, son, en muchos casos, las más severas a que se somete la estructura. El inspector tiene que vigilar que las cargas por material almacenado queden suficientemente espaciadas para no sobrecargar ninguna porción de la estructura. Es posible que se requiera reapuntalamiento adicional en áreas congestionadas donde no sea fácil repartir tales cargas. Hay que cubrir los pisos en que se lleven a cabo actividades de construcción, para proteger su superficie, y verificar regularmente las membranas y cubiertas de curado, en busca de señales de daño. Es necesario proteger los insertos, tuberías y ornamentación contra material que pueda caer y de la basura susceptible de taponar las aberturas y dificultar el trabajo futuro. Nada debe quedar atado a refuerzo que se proyecte, y en cuanto al hormigón arquitectónico y ornamental, se recomienda que reciba protección especial.

Se recomienda que las cimbras de soporte de cimentaciones y los estacados protectores se mantengan en sitio mientras el hormigón no se haya endurecido. El rellenado y la compactación de rellenos, sobre y contra hormigón, deberán hacerse sólo cuando éste se encuentre suficientemente fuerte para soportar la carga, y efectuarse con cuidado, evitando cualquier impacto. El rellenado y compactación hechos contra las paredes, particular-

mente cuando éstas son altas y sin arriostamiento merecen control cuidadoso, y la compactación hacerse mediante compactadores de mano. Como el uso de equipo pesado en las proximidades de cualquier pared puede causar agrietamiento, no hay que permitir que ello ocurra en ninguna circunstancia.

Hay que prevenir los daños a los compuestos de curado, a las capas de impermeabilización, al aislamiento y a otros materiales similares, eliminando las piezas largas o puntiagudas del material de relleno cercano al hormigón.

El tipo de equipo de compactación manual se selecciona de acuerdo con la clase de material. Los compactadores vibratorios son un medio eficiente de consolidar materiales sin cohesión. Los de tipo de apisonamiento resultan muy adecuados cuando el material es cohesivo.

CURADO

La publicación *Cement and Concrete Terminology*¹⁶ define el curado como "el proceso de mantener la humedad y temperatura del hormigón recién colocado, durante algún periodo definido posterior a su colocación, vaciado o terminación, para asegurar la hidratación satisfactoria de los materiales cementantes y el endurecimiento apropiado del hormigón". El curado mejora grandemente la condición de la superficie y la calidad general del hormigón (Véase el Capítulo 5).

Esta discusión se refiere principalmente al curado efectuado a temperaturas ordinarias; en casos de hormigonado en clima cálido o frío, hay que emplear métodos especiales como se discute más adelante. En la Referencia 58 se encuentran recomendaciones extensas sobre el proceso de curado hechas por el Comité 308 del ACI.

La mayoría de las especificaciones requiere que las superficies expuestas de hormigón que contenga cemento portland estándar (Tipo I) se mantengan húmedas continuamente, por lo menos durante siete días. Los hormigones con cementos de alta resistencia inicial (Tipo III) requieren menos tiempo (aproximadamente, la mitad), y los hechos con cementos de endurecimiento lento (Tipos II, IV, V e IP, y reemplazos de cementos puzolánicos) necesitan más tiempo que los de cemento Tipo I estándar para obtener los mejores resultados (el duplo o triple de tiempo). Ensayos extensos indican que para un hormigón dado, con cierta cantidad de agua de amasado, mientras mayor sea la cantidad de humedad retenida dentro del hormigón, mejor será la eficiencia del curado.

Curación húmeda

Los métodos preferidos de curado son: **rocío continuo, agua corriente/ó empozada, o cubiertas de arena, arpillera u otro material absorbente, continuamente saturados.** El curado húmedo, por supuesto, resulta efectivo (y tiene preferencia) si es continuo. El agua deberá aplicarse a las superficies libres, tan pronto como sea posible hacerlo sin dañar el acabado, y a las su-

perfiles formadas, *inmediatamente* después de quitar las formaletas. El agua de curado no ha de manchar en los casos en que la apariencia de la estructura acabada sea importante. Pueden resultar manchas si se emplea agua con alto contenido de hierro o se usan tubos de este material en la distribución del agua de curado. Los tubos perforados de plástico y las mangueras remojadoras de lona, son satisfactorios para la distribución del agua de curado.

La arpillera mojada es un medio valioso de mantener las superficies no formadas en condición húmeda, por ser aplicable, sin dañar la superficie, casi inmediatamente después de terminado el hormigón. Los rociados de agua de curado, si están planeados, deberán hacerse preceder por la aplicación de arpillera o de otro tipo de cubierta. Estas cubiertas se dejan en su lugar y se mantienen mojadas hasta que no haya peligro de erosión superficial por los rociados de curado. La arpillera mojada también es útil en el curado de superficies formadas, siempre y cuando se la mantenga húmeda y en contacto con la superficie de hormigón. Es indispensable usar más de una capa de arpillera. Los tapetes de algodón y las alfombras viejas sirven también en defecto de la arpillera.

Si se utiliza *tierra o arena mojada* como agentes de curado, hay que lograr que estén libres de terrones grandes o de piedras (puesto que el secamiento ocurre más rápidamente en tales puntos) y mantenerlas continuamente mojadas. Si se utilizan *tierra o arena mojada* como agentes de curado, hay que lograr que estén libres de terrones grandes o de piedras (puesto que el secamiento ocurre más rápidamente en tales puntos) y mantenerlas continuamente mojadas. Si se utilizan *tierra o arena mojada* como agentes de curado, hay que lograr que estén libres de terrones grandes o de piedras (puesto que el secamiento ocurre más rápidamente en tales puntos) y mantenerlas continuamente mojadas. Si se utilizan *tierra o arena mojada* como agentes de curado, hay que lograr que estén libres de terrones grandes o de piedras (puesto que el secamiento ocurre más rápidamente en tales puntos) y mantenerlas continuamente mojadas. Si se utilizan *tierra o arena mojada* como agentes de curado, hay que lograr que estén libres de terrones grandes o de piedras (puesto que el secamiento ocurre más rápidamente en tales puntos) y mantenerlas continuamente mojadas.

Si se utilizan *tierra o arena mojada* como agentes de curado, hay que lograr que estén libres de terrones grandes o de piedras (puesto que el secamiento ocurre más rápidamente en tales puntos) y mantenerlas continuamente mojadas.

Curado mediante membranas

La norma ASTM C 309 proporciona especificaciones estándar para los compuestos líquidos de curado de membrana. Los compuestos de curado que forman membrana, rociados sobre la superficie del hormigón retardan efectivamente la evaporación del agua de amasado, y por eso se aceptan generalmente como medios satisfactorios de curado, particularmente si están precedidos por curado húmedo. Comúnmente se utilizan compuestos de curado pigmentados de blanco en sitios en que la apariencia futura no es crítica, pues permiten comprobar fácilmente el cubrimiento y la reflexión minimiza el calentamiento de la superficie. En sitios en que deban usarse compuestos incoloros (áreas en donde la apariencia de un compuesto de cu-

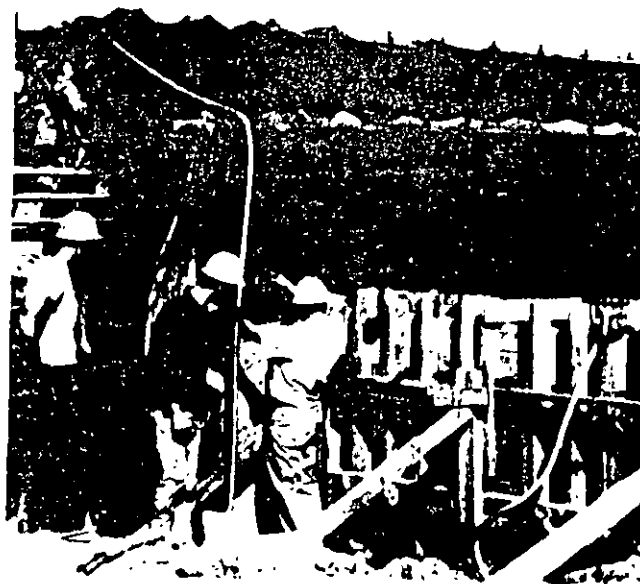


Fig. 10-3—Se puede obtener un excelente curado si se coloca sobre el hormigón una cubierta empapada, tan pronto se quitan las formaletas, y se la mantiene en contacto con la superficie del material y permanentemente húmeda mediante una manguera de empapar terrenos, colocada a lo largo de su borde superior, por lo menos durante 7 días.

rado blanco sería objetable durante el periodo de desvanecimiento), éstos tienen que tener un tinte pasajero de rápida desaparición para asegurar el cubrimiento total. La superficie deberá estar húmeda en el momento de aplicarle la capa de compuesto de curado. La aplicación se hace con equipo aspersor motorizado, capaz de aplicar una capa lisa, de textura pareja. El compuesto de curado deberá ir en dos capas, mediante una operación continua de rociamiento, y de manera que la segunda se aplique perpendicularmente a la primera.

Si no se especifica el cubrimiento requerido, el de cada capa no ha de exceder los 10 metros cuadrados por decímetro cúbico. El uso de rociadores "tipo jardín", operados a mano, sólo se permite en trabajos muy pequeños. El inspector deberá verificar que el cubrimiento sea uniforme y total, y que la cantidad de material utilizado se corresponda con el área de superficie cubierta. Para poder continuar el trabajo en un área que haya sido tratada con un compuesto de curado, es necesario que éste tenga suficiente resistencia para resistir tránsito peatonal o de otra clase. En caso contrario, es imprescindible cubrir el área con suficiente arena o tierra para proteger la membrana, o resellar diariamente las manchas dañadas durante por lo menos la primera semana.

En áreas áridas resulta a veces satisfactorio utilizar un compuesto de curado de membrana, si se emplea, durante las primeras 24 horas después de la terminación o de la remoción de las formaletas, uno de los métodos de curado húmedo discutidos atrás. Aunque normalmente basta una capa doble, en condiciones muy secas son necesarias dos capas dobles, puesto que con sólo minúsculos agujeros en la primera capa resulta factible que haya evaporación considerable. Sin un buen curado inicial con agua, el que se haga mediante sellamiento resulta de valor limitado en clima árido. Las formaletas de madera, si se mantienen mojadas, y las metálicas proporcionan alguna protección contra la pérdida de humedad. Las superficies superiores expuestas del material deben mantenerse lo suficientemente mojadas para asegurar, en caso necesario, el escurrimiento del agua por el interior de las formaletas, previamente aflojadas, con el fin de mantener húmedo el hormigón. De lo contrario, habrá que remover las formaletas, tan pronto como sea posible, de manera que el curado prescrito comience con la mínima demora después del vaciado. Cuando se acuda al empleo de un compuesto de curado sobre superficies en que las formaletas se hayan dejado durante 24 horas o más, la superficie tiene que ensoparse por un tiempo considerable, antes de aplicarle el compuesto de curado. Este ensopamiento es importante, especialmente en el caso de mezclas ricas, pues aunque el hormigón esté sellado, se seca parcialmente por el autosecamiento que acompaña a la reacción entre cemento y agua. (Véase también el párrafo titulado "Curado" en el Capítulo 5).

Curado mediante láminas impermeables

La película de polietileno es un agente de curado satisfactorio para trabajo plano si además de mantenerla pegada a la superficie del hormigón, se cumple que las costuras entre las láminas adyacentes quedan selladas herméticamente, y las láminas no presentan ningún daño. Además de retardar la evaporación del agua de amasado del hormigón, estas láminas tienden a proteger el material de posibles daños durante la construcción. Ocasionalmente deberá inspeccionarse la superficie de hormigón por debajo de ellas y, si aparecen secas, rehumedecerse su superficie y sellarse de nuevo las aperturas. El papel impermeable ("kraft") se usa también exitosamente. En pavimentos y tableros que requieran una superficie con textura, se exige tener cuidado en evitar que la cubierta dañe la textura cuando el hormigón está todavía en estado plástico.

Cuando la apariencia es importante, hay que acudir al curado del hormigón por otros métodos puesto que, en caso contrario, la condensación de humedad sobre el lado inferior de la película plástica lisa (especialmente en donde hay arrugas) crea una distribución dispareja de agua en el hormigón, con desplazamiento de las sustancias solubles, que a menudo producirá una apariencia moteada y el descoloramiento por hidratación diferencial.

Curado acelerado

La mayoría del hormigón prefabricado, y en especial del preesforzado, excepto en el caso de paneles decorativos, se cura por medio de procedimientos

acelerados. El curado acelerado se logra con el uso de vapor saturado o de calor seco, que requieren el sellamiento del miembro para impedir la pérdida del agua de amasado. Véanse en el Capítulo 17 los métodos óptimos de curado acelerado.

Acelerantes

Algunas especificaciones han incluido el uso de acelerantes, principalmente de cloruro de calcio, como medio de aumentar la rata de hidratación y de acelerar, por consiguiente, la ganancia en resistencia del hormigón. Esto reduce el tiempo necesario de protección. El cloruro de calcio, cuando actúa como aditivo en el hormigón, tiende también a acelerar el fraguado y el endurecimiento del material, facilitando así el comienzo de las operaciones de acabado. La utilización del cloruro de calcio, o de otros aditivos que lo contengan, tiene como límite máximo el 2 por ciento del peso de cemento y el cloruro o aditivo deberá disolverse completamente en agua antes de introducirlo a la mezcla. Nunca se ha de permitir el uso de cloruro de calcio seco en una mezcla. Muchos aditivos de marca registrada, especialmente aditivos plastificantes utilizados como acelerantes (inclusive, reductores de agua de fraguado normal) contienen cloruro de calcio como ingrediente activo.

Es necesario prevenir contra el uso indiscriminado del cloruro de calcio y de los otros acelerantes y recordar que solo se tolera su uso en el caso de que sea absolutamente necesario. A menudo se han encontrado efectos colaterales graves, como por ejemplo corrosión de metales. El cloruro de calcio también aumenta, tanto la susceptibilidad al ataque de sulfatos como la reacción álcali-agregado. Su uso en clima cálido resulta a menudo en fraguado rápido del hormigón, haciendo difícil o imposible el acabado. Mucha gente cree que, en clima frío, el cloruro de calcio actúa como elemento "anticongelante" en el hormigón. En realidad, con la dosis máxima admisible señalada atrás, no puede bajar significativamente la temperatura de congelación. El cloruro de calcio nunca deberá usarse en hormigón preesforzado (Véase el Capítulo 17). En el mercado se encuentran acelerantes que no contienen cloruro de calcio.

CONDICIONES ESPECIALES DE CURADO Y PROTECCION

Aunque los requisitos de curado para hormigón colocado en climas extremadamente fríos o cálidos, son los mismos que para el vaciado a temperaturas normales, se vuelve extremadamente crítica la técnica utilizada para cumplirlos. Es necesario planear con bastante anticipación a su ocurrencia, las técnicas de curado y protección para ambos tipos de climas extremos.

Curado en clima frío

Cuando se prevea que el aire en el sitio de vaciado alcanzará temperaturas de congelamiento, o aun menores, después de colocado el hormigón, se recomienda tomar las medidas protectoras señaladas en la Referencia 57. Si

es probable que la temperatura diaria promedio esté por encima de 5°C, resulta necesario proteger de la congelación al hormigón recién colocado, sólo durante las primeras 24 horas. Véase en el Capítulo 16 lo referente al curado y protección de secciones de hormigón en masa.

Temperaturas de protección—En las Referencias 6, 40 y 57, se requiere que cuando el promedio de la temperatura ambiente diaria sea menor que 5°C, las secciones delgadas de hormigón recién colocado, con aire incorporado hecho con cemento Tipo I y Tipo II sin acelerantes, se mantengan, por medio de calefacción artificial, protección o aislamiento, a una temperatura no menor de 10°C durante 6 días, para asegurar su resistencia bajo carga parcial. El hormigón hecho con cemento Tipo III (de alta resistencia a edad temprana), acelerantes o cemento extra, deberá mantenerse a no menos de 10°C durante cuatro días, para efectos de durabilidad y de resistencia, en miembros cargados parcialmente. Habrá que hacer un estudio con el fin de asegurar que no se excedan los esfuerzos admisibles en el hormigón. El hormigón sin aire incorporado, que no es recomendable cuando se necesita durabilidad al congelamiento y descongelamiento, requiere períodos de protección de aproximadamente el doble de tiempo.

En todos los casos es buena práctica mantener una temperatura de por lo menos 5°C, durante los cuatro días siguientes al cumplimiento de los requisitos de tiempo señalados atrás. Al final del período de curado, habrá que discontinuar la calefacción artificial y remover los elementos de abrigo, de tal manera que la caída de temperatura en cualquier punto del hormigón sea uniforme y no exceda de 3°C por hora o de 28°C en 24 horas. Si se permite que la temperatura caiga demasiado rápidamente, habrá contracción superficial excesiva productora de agrietamiento.

Es preciso llevar un registro de las temperaturas del aire exterior, del recinto y de la superficie del hormigón. Esta se mide, por lo general, mediante termómetros insertados en él, con cubrimiento de 2 a 3 milímetros.

Protección—El método preferido de protección a temperaturas bajas requiere aislamiento completo o encerramiento del hormigón fresco (Fig. 10-4), con calentadores en el recinto, en caso necesario. En construcción por encima del nivel del terreno, a menudo resulta problemático encerrar la superficie superior del hormigón. En estos casos, es deseable cubrirlo primero con una película de polietileno, y luego, con mantas protectoras y aislamiento diseñados a propósito. Se encuentran en el mercado mantas con calentamiento eléctrico para dar este tipo de protección. En circunstancias en que no resulten prácticos los encerramientos superiores, con frecuencia es necesario proporcionar un encerramiento parcial o un rompevientos para impedir que los vientos fríos congelen el hormigón.

La temperatura del aire puede mantenerse a nivel adecuado dentro del encerramiento, por medio de vapor a baja presión, de calentadores eléctricos, o de quemadores de combustible. Se debe tener cuidado para impedir que los calentadores soplen aire en exceso caliente y seco, directamente sobre el hormigón, pues habría secamiento y contracción rápidos. Los calentadores con quemadores de combustible deben estar ventilados apropiadamente, o de lo contrario, causarán carbonatación rápida en la superficie del

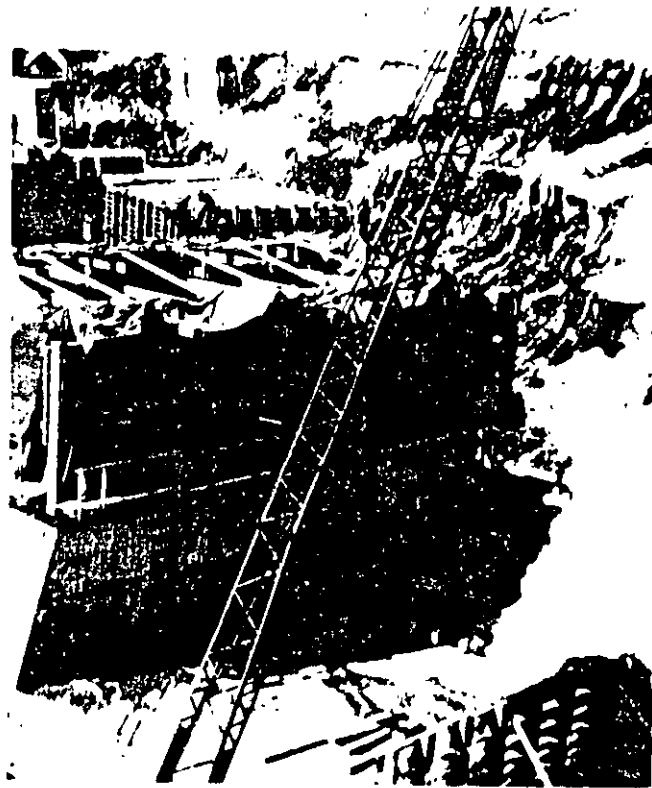


Fig. 10-4—El hormigonado en clima frío requiere vigilancia especial para que ninguna parte del hormigón se congele o seque.

hormigón, que originará más tarde problemas de polvo. Los problemas de secado y de carbonatación durante el hormigonado y protección en clima frío pueden evitarse inyectando vapor saturado dentro del encerramiento. Es muy importante que el encerramiento sea relativamente hermético y que el vapor se mantenga tan cercano al punto de saturación como sea posible. Hay que evitar el uso de compuestos de curado en superficies que vayan a curarse con vapor. Durante el curado y protección, el inspector debe comprobar que todas las superficies del hormigón estén a la temperatura apropiada y no permitirá que el calentamiento excesivo de un lado de una sección, cause altas diferencias de temperatura entre los dos lados.

Curado en clima cálido

Repárese la Referencia 59 antes de vaciar hormigón durante períodos de clima cálido. El curado impropio durante períodos de clima extremadamen-



Fig. 10-5—El pronto recubrimiento con lonas que siempre se mantienen empapadas, protege el hormigón durante su curado en clima cálido.

te cálido puede causar apariencia pobre y baja resistencia en el hormigón, resultante de la evaporación rápida y excesiva, y aumento en las grietas, por contracción plástica. El hormigón colocado a temperaturas por encima de 21°C experimentará mayores exigencias de agua, posible rigidez prematura, dificultades para mantenerse húmedo y resistencia relativamente menor a edades posteriores.

En clima extremadamente caliente y ventoso, puede necesitarse un rompivientos, rociados de neblina, láminas plásticas, u otra protección similar (Fig. 10-5), para impedir el secamiento excesivo de la superficie del hormigón antes de su endurecimiento. El inspector ha de cerciorarse que comience el curado tan pronto como sea posible. Las largas demoras resultarán en evaporación y agrietamiento excesivos. Deberán evitarse las cubiertas y compuestos de curado que den membranas de color oscuro, puesto que aumentan la temperatura de la superficie, alta ya de por sí, por absorción de la radiación calórica.

El agrietamiento por contracción plástica, susceptible de originar problemas en climas cálidos, secos y ventosos, se discute en el Capítulo 9.

CAPITULO 11 — CORRECCION DE DEFECTOS EN HORMIGON RECIEN ENDURECIDO Y REPARACIONES DE HORMIGON DE MAS EDAD

A pesar de que se cuente con buena mano de obra y con esfuerzos para producir un hormigón impecable, es posible que se requiera corregir algunos defectos después de removidas las formaletas. Además, puede ser preciso efectuar reparaciones a estructuras en servicio, por causa de sobrecargas, deficiencias en el diseño, abrasión, incendio, congelamiento, ataque químico agresivo o corrosión del refuerzo. Entonces habrá que estudiar primero la extensión de la reparación y la calidad de la porción ilesea de la estructura, para determinar si se justifican los costos de la restauración necesaria, y luego considerar la posibilidad de que alguna modificación a la estructura original, como por ejemplo más apoyo, agrietamiento de la sección, o mejor drenaje, contribuya a una mejor funcionalidad futura.

Es esencial que las reparaciones al hormigón recién endurecido se hagan tan pronto como sea evidente la necesidad de ejecutarlas. Esto mejora grandemente su compatibilidad con el hormigón original puesto que mientras más "fresca" esté la base de hormigón, más receptiva será la superficie a la adherencia de las reparaciones. El curado simultáneo del hormigón de base y de la reparación promoverán un mejor empate del color. El mejor modo, y el menos caro, de tratar las reparaciones, consiste en evitarlas por medio de formaletas herméticas, métodos apropiados de colocación y consolidación completa mediante amplia vibración.

Es también importante que las reparaciones al hormigón recién endurecido se hagan tan pronto como sea evidente la necesidad de ejecutarlas. Esto mejora grandemente su compatibilidad con el hormigón original puesto que mientras más "fresca" esté la base de hormigón, más receptiva será la superficie a la adherencia de las reparaciones. El curado simultáneo del hormigón de base y de la reparación promoverán un mejor empate del color.

El mejor modo, y el menos caro, de tratar las reparaciones, consiste en evitarlas por medio de formaletas herméticas, métodos apropiados de colocación y consolidación completa mediante amplia vibración.

En la Referencia 35 se presenta una discusión general de la evaluación del daño y del proceso selectivo de un método de reparación.

SUPERFICIES A LA VISTA HECHAS CON FORMALETA

El tener cuidado en la fabricación, montaje y remoción de las formaletas, reducirá grandemente la necesidad de medidas correctivas. El inspector deberá examinar cuidadosamente los encofrados en lo referente a la aplicación correcta de los agentes separadores y a las causas potenciales de malas superficies, como por ejemplo, materiales de revestimiento inapropiados, juntas abiertas, grietas, desalineamientos y otras muestras de mano de obra pobre, posibles causantes de rebabas, filtración del mortero y otros defectos. El acero de refuerzo debe tener el recubrimiento apropiado para evitar su oxidación en la estructura. Las superficies de hormigón expuesto pueden dañarse por una remoción descuidada de las formaletas. Un problema común en la remoción de éstas es el descascaramiento de los bordes formados, por el uso descuidado de barras de pata de cabra; se aconseja utilizar únicamente cuñas no metálicas. La falta de cuidado al remover los amarres de las formaletas es otra causa de daños.

Reparación de manchas

Se dice que las superficies expuestas de hormigón simple están manchadas cuando se notan áreas o regiones que modifican y demeritan la buena apariencia general de las áreas superficiales que las rodean. Hay que acudir entonces, al buen juicio y a la experiencia para decidir si realmente se requieren medidas remediales, y si la reparación será menos visible y de apariencia más agradable que la mancha original. Desafortunadamente, muchas reparaciones son más notorias y menos atractivas que las manchas originales. Por ejemplo, en la mayoría del hormigón fundido en sitio puede esperarse que haya una cierta cantidad de poros superficiales ("hormigueros"). Siempre y cuando la consolidación del hormigón haya sido satisfactoria, y la ocurrencia de poros superficiales no resulte excesiva, su reparación puede resultar en una apariencia menos satisfactoria que si no se hubiera intentado hacer nada, exceptuando el frotamiento con costales o un tratamiento similar. Por lo general, el mismo consejo se aplica al tratamiento de desalineamientos horizontales en sitios donde las formaletas no han sido ancladas y apretadas en forma apropiada en la parte inferior de un nuevo vaciado de hormigón.

Los materiales para reparación de manchas tienen que escogerse cuidadosamente y aplicarse con métodos apropiados establecidos con anterioridad a la construcción. A menos que se tomen precauciones, la mayoría de este trabajo aparecerá con un tono más oscuro que el del hormigón original. Esto puede minimizarse evitando las mezclas ricas y las herramientas de acabado de acero, y utilizando en el material de reparación, la cantidad de

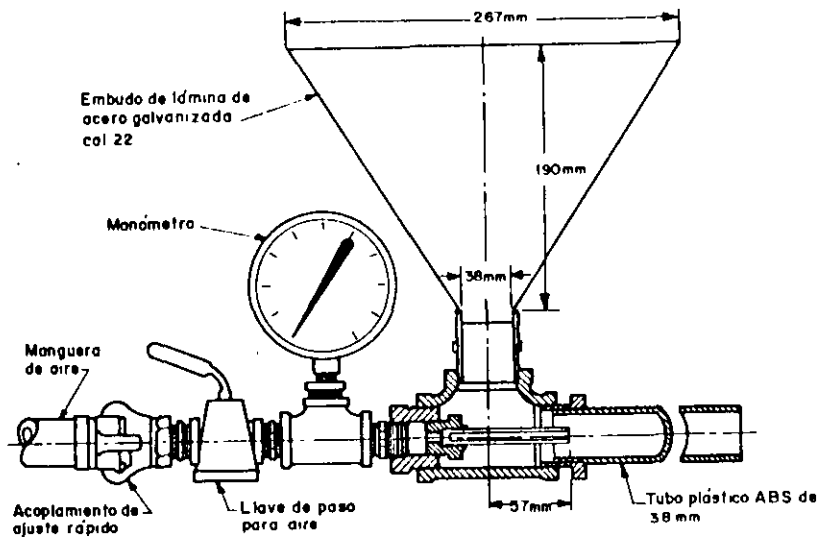
cemento blanco que resulte en el tono de color más próximo al de las superficies vecinas, después de que hayan sido curadas y maduradas durante un mes o más.

Las áreas más difíciles de reparar satisfactoriamente son aquellas que presentan peladuras en la superficie, lo mismo que otros defectos que requieren emmiendas relativamente poco profundas. Tales reparaciones no serán satisfactorias, a menos que los trabajadores y supervisores tengan experiencia en este tipo de trabajo. Las peladuras ocurren, generalmente, cuando las formaletas no se aceitearon en forma apropiada, estaban demasiado calientes, o se quitaron demasiado pronto, antes que el hormigón hubiera obtenido resistencia suficiente. El mejor modo de prevenir la presencia de peladuras es atender estrictamente a la aplicación correcta del agente separador apropiado y restringir el tiempo de desencofrado. Algunas veces, la revibración tardía de las porciones superiores eliminará las peladuras y la decoloración de dichas áreas. Sin embargo, esta revibración deberá hacerse antes que ocurra el fraguado inicial.

La reparación de áreas peladas y de otros defectos poco profundos se logra mediante aplicación cuidadosa de un rociado de mortero tipo "paquete húmedo". Dicho mortero se rocía neumáticamente a alta velocidad sobre la superficie. Esencialmente, es una operación de hormigón proyectado a pequeña escala, utilizando mortero premezclado de cemento portland, bastante seco, y equipo pequeño, con base en un control rígido de las operaciones. En la Fig. 11-1 se muestra el diseño de una "pistola" típica hecha en taller, para aplicar este tipo de mortero. El mortero para esta clase de reparación consiste de una parte de cemento portland, por 4 partes en peso, de arena para hormigón estándar (ASTM C 33), y una relación agua-cemento, en peso, de aproximadamente 0.35. El contenido de agua deberá producir un mortero fácil de alimentar pero sin rebote excesivo. El mortero con contenido correcto de agua retendrá justamente su configuración cuando se aprieta en la mano, en forma de bola. La presión de aire para la pistola deberá estar entre 4 y 5 kg/cm² (60 y 75 lb/pulg²). El equipo requiere de un operador para la pistola y de un ayudante para que alimente el mortero. Este se aplica de acuerdo con la buena práctica del hormigón proyectado (véase el Capítulo 15). El hormigón de base deberá estar húmedo pero no mojado en el momento de la aplicación.

El mortero colocado a mano y otras operaciones de colocación manual raras veces son satisfactorios para reparaciones poco profundas. Si se utilizan métodos manuales de pañetado, la reparación deberá adherirse con resina epóxica. (Véase la discusión posterior sobre adherencia). Es preciso que el hormigón de base para la adherencia con resina epóxica esté seco y por lo menos a 20°C. Hay que tener extremo cuidado en el acabado del mortero aplicado, para prevenir que se altere la adherencia, y evitar el alisado duro, con llana de acero, de mortero aplicado a superficies formadas, puesto que el resultado será una superficie oscurecida, de tersura contrastante.

El espesor del material de reparación de superficies peladas es, por lo general, demasiado delgado; y es muy importante que la nueva superficie se



NOTA: Las dimensiones que aparecen son aproximadas

Fig. 11-1—Pistola de mortero para reparación del hormigón.

mantenga tibia y curada en humedad durante tiempo considerable, por lo menos 7 días, para enseguida aplicar un compuesto de curado o una membrana impermeable. El curado adecuado es esencial en el caso de reparaciones puesto que la resistencia a la adherencia se desarrolla mucho más lentamente que la resistencia a compresión. Si el curado es insuficiente, el mortero se agrietará excesivamente o podrá desprenderse.

Se recomienda tener cuidado en la reparación de manchas de la superficie o de áreas peladas, para no interferir con el curado general del hormigón original. Sólo el área que pueda repararse de modo conveniente en tiempo razonablemente corto, deberá privarse por algún tiempo del proceso de curado. Estas reparaciones hay que realizarlas tan pronto se remueven las formaletas.

Frotación con sacos

Se ha logrado reparar las manchas en el hormigón expuesto, frotando con sacos toda su superficie. Este método es aplicable principalmente en el caso de hormigueros pero se aplica también para corregir la falta de apariencia uniforme u otras deficiencias de la superficie. Cuando se especifica frotamiento con sacos, deberá aplicarse a mano sobre toda la superficie, una lechada compuesta de una parte de cemento y 2 partes de arena fina (que pase el tamiz No. 30), con consistencia de crema gruesa, y frotarse en todos los

vacos superficiales, con arpillera limpia o con una llana de caucho, mientras la superficie está todavía húmeda, después de haberla mojada completamente. Al hacerlo, se requiere trabajo continuo de parte del aplicador. Una vez aplicada la mezcla cemento-arena y endurecida suficientemente como para que no se la pueda arrancar de la superficie, ésta tendrá que volver a frotarse con cemento seco y arena fina para remover todo el material de exceso, pero no el depositado en las cavidades de los hormigueros. Hay que estimar cuidadosamente el momento oportuno de remover el material de exceso pues al proceder demasiado pronto, se quitará parcialmente el relleno de las depresiones, hormigueros y demás defectos; por otra parte, si el material aplicado se ha endurecido demasiado será difícil o imposible remover de la superficie el exceso del mismo. Como con otros métodos de reparación es imperativo que las superficies frotadas con saco se curen adecuadamente. En clima cálido y seco es mejor, siempre que sea posible, efectuar tal frotación cuando la superficie se halla a la sombra.

Agujeros causados por varillas de amarre y otros agujeros pequeños y profundos

Los agujeros provenientes de varillas de amarre, particularmente los formados por conos, se dejan a menudo abiertos para proporcionar un efecto arquitectónico a la superficie de hormigón. En tal caso, hay que tomar medidas para impedir la corrosión futura del extremo libre de los amarres. Esto puede lograrse cubriendo el extremo del amarre con material epóxico o insertando tapones especiales de plástico u otros materiales, de manera que el tapón quede por debajo de la superficie del hormigón. Se debe tener el cuidado de que estos tapones especiales queden apretados en el agujero de forma cónica.

Si las especificaciones requieren que los huecos dejados por las varillas de amarre y otros elementos similares se rellenen, esto puede realizarse con el uso de un mortero seco. Como con otros tipos de reparación, es aconsejable probar con el emparejamiento del color antes de aplicarlo. La consistencia del mortero deberá ser tal que cuando se forme con él una bola en la mano, ésta quede húmeda pero no sucia. Después de humedecer ligeramente la superficie interior o de aplicar una capa de adherente extremadamente delgada, se tiene que colocar el mortero en el agujero y compactarse con un apisonador de madera dura. El apisonamiento deberá hacerse firmemente. Después de rellenar el agujero ha de pulirse la superficie con un bloque de madera, puesto que las herramientas de acero oscurecen el relleno. Luego vendrá un curado adecuado. Este resulta mejor y más seguro si los agujeros se rellenan poco después de retirar las formaletas y el respectivo material se cura simultáneamente con el hormigón. Es del todo objetable el uso de mortero seco apisonado en reparaciones poco profundas o donde no pueda obtenerse verdadera restricción lateral.

Se han desarrollado morteros epóxicos para el relleno de agujeros de varillas de amarre con pistola de calafatear. Tienen la ventaja de que sólo re-

quieren para el proceso de curado, de la protección de temperatura. En el uso de estos materiales, es preciso cumplir estrictamente las recomendaciones del fabricante y tomar precauciones para evitar la presencia de manchas en la superficie de hormigón.

Remoción de manchas

Las manchas en la construcción de hormigón surgen de muchas fuentes. Son comunes las manchas de óxido causadas por el agua de curado. Por supuesto, la mejor solución para estos problemas es de carácter preventivo, pero parece inevitable la ocurrencia de manchas en la mayoría de las construcciones de hormigón.

Los métodos mecánicos usuales de remoción de manchas son el chorro de arena, el esmerilado, la limpieza con vapor, el cepillamiento y la estregadura. No conviene utilizar cepillos de alambre pues depositan partículas de metal en la superficie, que, posteriormente, causarán manchas de óxido.

También se usan productos químicos específicos, de acuerdo con la naturaleza de la mancha. El tratamiento actúa, ya sea disolviéndola o decolorándola, ya cambiándose a un producto que no se vea. El procedimiento de limpieza deberá planearse cuidadosamente y no hacerse ningún intento de remoción de la mancha a menos que esté bien identificada. Es mejor experimentar primero con manchas localizadas en un área no notoria. Las Referencias 60 y 61 proporcionan mucha información sobre una amplia gama de métodos para quitar manchas.

La remoción de manchas puede cambiar la apariencia de la superficie a menos que se tomen las siguientes precauciones: el restregamiento con soluciones fuertes de detergente causa quizás el mínimo cambio en la superficie. Este tipo de limpieza es efectivo únicamente para manchas superficiales y deberá aplicarse tan pronto como se note la mancha. Para remover grasas, aceites, asfalto y materiales similares, se deberá utilizar siempre la restregadura con detergentes, en lugar de disolventes, pues estos, normalmente, llevarán las manchas a mayor profundidad dentro del hormigón.

La Referencia 62 proporciona métodos para la remoción química de manchas en trabajos planos. Al usar sin cuidado los correspondientes productos químicos, puede modificarse el carácter de la superficie, y por tanto, conviene emplearlos solo después de haberse familiarizado con ellos y haberlos experimentado ampliamente en superficies no notorias. Es muy importante que se haga un buen lavado de la superficie de hormigón después del uso de productos químicos.

Otro tipo común de manchas en la construcción de hormigón es la eflorescencia; consiste en un depósito de sales, por lo general blancas, que se filtran a través del hormigón y se depositan en la superficie. Si la restregadura con detergentes no remueve la eflorescencia, puede ensayarse la aplicación de ácido muriático. Esto da lugar a ataque de la superficie del hormigón y si resulta alguna alteración en ella, este cambio en la textura deberá considerarse con anterioridad al uso del ácido. Se aconseja ensayar primero solu-

ciones débiles de éste (menores de 5% por volumen), y nunca aplicar soluciones más fuertes que un 10%. Habrá que mojar toda la superficie de hormigón antes de aplicar el ácido y lavarse inmediatamente después de que haya cesado la formación de espuma en la superficie. Sin un lavado inmediato y especialmente con soluciones más fuertes, es posible que se forme una capa de silicato blanco insoluble sobre la superficie del hormigón. Se debe tener el cuidado de impedir que la solución de ácido y el agua de enjuague entre en contacto con las superficies que están alrededor y por debajo. Los obreros tienen que estar protegidos adecuadamente de la inhalación de vapores y evitar las quemaduras de ácido en vestidos, piel y ojos.

La limpieza con chorro de arena suave es uno de los mejores métodos para la remoción de manchas en el hormigón formado, pero produce alguna abrasión en su superficie. La limpieza con chorro de arena, aun en aplicaciones ligeras, hará surgir defectos que anteriormente estaban ocultos bajo la superficie. Al tomar la decisión de utilizar chorro de arena para remover las manchas, vale la pena considerar su aplicación a toda la superficie de hormigón, con el fin de mantener la uniformidad de apariencia. Lo mismo se aplica al lijamiento con disco flexible, si se encuentra que sea efectivo y aceptable. El frotamiento con sacos puede reducir aceptablemente los contrastes antiestéticos de las manchas o de su remoción incompleta e inaceptable.

REPARACIONES A ESTRUCTURAS EN SERVICIO

Las Referencias 8 y 38 son fuentes excelentes de información sobre las reparaciones de estructuras en servicio. El texto en las páginas siguientes bajo el encabezamiento "Hormigón Estructural" es aplicable, en general, tanto a la reparación de estructuras en servicio como a la de estructuras en construcción. Las diferencias significativas esenciales en la preparación de tales reparaciones, cuando se trata de estructuras en servicio, se anotan en esa sección.

HORMIGON DECORATIVO

Por la naturaleza de su carácter y propósito, la corrección de defectos en hormigón decorativo es más exigente que la de superficies simples de hormigón expuesto. Debe tenerse mayor cuidado y mejor mano de obra en la restauración y obtención de la apariencia requerida.

HORMIGON ESTRUCTURAL

Es preciso brindar especial atención y cuidado a las reparaciones de hormigón estructural distintas de las superficiales, sobre todo si estas reparaciones van a afectar la conducta estructural futura del miembro. Es imprescindible analizar la estructura para asegurar que el hormigón repara-

do funcionará como se diseñó originalmente. Las causas más comunes de necesidad de reparaciones estructurales son la colocación inapropiada del acero de refuerzo, el hormigón defectuoso, el agrietamiento por esfuerzos o por contracción térmica y de secamiento. En estructuras más antiguas, como se mencionó anteriormente, el hormigón deteriorado o dañado puede requerir reparación. Las Referencias 8, 38 y 63 proporcionan detalles adicionales sobre la reparación de hormigón estructural.

Reemplazo con hormigón nuevo — áreas profundas o extensas

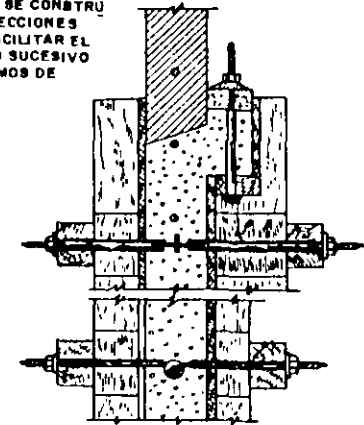
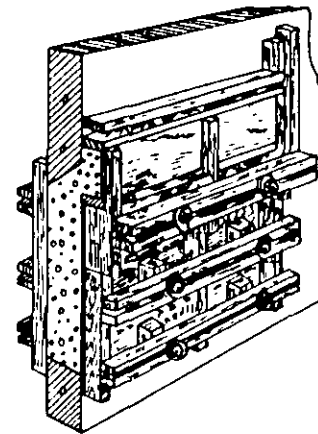
Deberá removerse todo el hormigón defectuoso hasta encontrar material sano, dejando los bordes perpendiculares a las superficies de hormigón, preferiblemente mediante aserrado, y evitarse los bordes en cuña y las esquinas agudas. Ocurre algunas veces, que superficies aparentemente sanas en hormigón viejo, al ser expuestas por primera vez, se ablandan después de unos pocos días de exposición. Por consiguiente, hay que permitir que estas superficies queden expuestas durante cierto tiempo y examinarlas luego críticamente, en búsqueda de cualquier pérdida de solidez, antes de colocar hormigón nuevo contra ellas.

Especialmente cuando se está acondicionando para reparación un hormigón viejo, es mejor remover algo más de lo que parezca necesario, con el fin de asegurar la remoción del material adyacente que se halle en estado de deterioro invisible pero incipiente, y que, de lo contrario, antes de largo tiempo estaría, obviamente afectado, bordeando al hormigón reemplazado. Normalmente, la remoción deberá realizarse con herramientas manuales y de motor para trabajo liviano, sostenidas a mano, particularmente alrededor de los bordes, para prevenir el daño al hormigón restante y al acero. Si hay acero de refuerzo en el área que va a repararse, los productos de corrosión fuerte y el hormigón adherido tendrán que removerse con un espacio libre de por lo menos 2.5 mm.

La dosificación y colocación del hormigón de reparación deberá planearse con miras a asegurar adherencia máxima con el hormigón original y minimizar la contracción de secamiento de las reparaciones. Una reparación temprana de los defectos en los trabajos nuevos, ayuda a este respecto. Si las reparaciones al miembro estructural van a estar expuestas durante el servicio, conviene tomar las debidas precauciones en cuanto a textura y color, como se describió atrás.

Las formaletas para reemplazo de hormigón, como cualquier encofrado, tienen que ajustarse en los bordes y uniones de manera que no se filtre el mortero al vibrar el hormigón; ser además, fuertes y mantenerse en posición con seguridad. Para proporcionar acceso máximo en la colocación y vibración del hormigón, con el objeto de obtener un llenamiento apropiado y completo, la cara de las formaletas de más de 45 centímetros de alto, deberá disponerse para ser instalada por etapas, en secciones de 30 centímetros de alto, a medida que se funden porciones de esta altura. (El respaldo de la formaleta puede construirse en una sola pieza). En la parte superior hay que disponer a todo lo ancho, una "chimenea", que permita y asegure el llenamiento hasta la cima de la abertura. El uso de una cachucha a presión sobre el hormigón de la chimenea, por encima de la parte superior de la abertura, que posteriormente se apriete a tiempo que se hace el revibrado de la formaleta, asegurará un sellamiento hermético en la parte superior de la reparación. El hormigón de la chimenea es eliminable, una vez quitada la formaleta, en virtud de lo cual se recomienda tener cuidado de no quebrar el hormigón de la superficie restante que va a permanecer, y de revestir luego la superficie de nuevo hormigón en la cantidad requerida. En las Referencias 8 y 38 hay ilustraciones de tales formaletas y de su preparación, que se reproducen en las Figs. 11-2 y 11-3.

LA FORMAleta DEL
FRONTE SE CONSTRUYE
EN SECCIONES
PARA FACILITAR EL
VACIADO SUCESIVO
DE TRAMOS DE
30 cm



LA FORMAleta TRASERA SE
PUEDE CONSTRUIR EN UNA
SOLA PIEZA.

POR MEDIO DE PERNOS DE ANCLAJE, ESTAS FORMALETAS FRONTALES PUEDEN UTILIZARSE PARA REPARAR SUPERFICIES DE ESTRUCTURAS MASIVAS DE HORMIGON

Fig. 11-2—Encofrado para el reemplazo de hormigón en paredes.

En toda reparación, deben tomarse las medidas necesarias para garantizar la adherencia del hormigón nuevo al hormigón original. El mejor modo de asegurar dicha adherencia es mediante una limpieza cuidadosa del segundo. Uno de los mejores métodos de hacerla es el empleo de chorro de arena. Independientemente de los métodos de remoción y limpieza utilizados, la arena del chorro, el hormigón erosionado y las otras partículas finas también deben sacarse totalmente de la cavidad. Hay que obtener que la superficie del hormigón original esté húmeda, pero no mojada, antes de aplicarle una capa adherente de mortero de cemento portland, la cual consiste en una

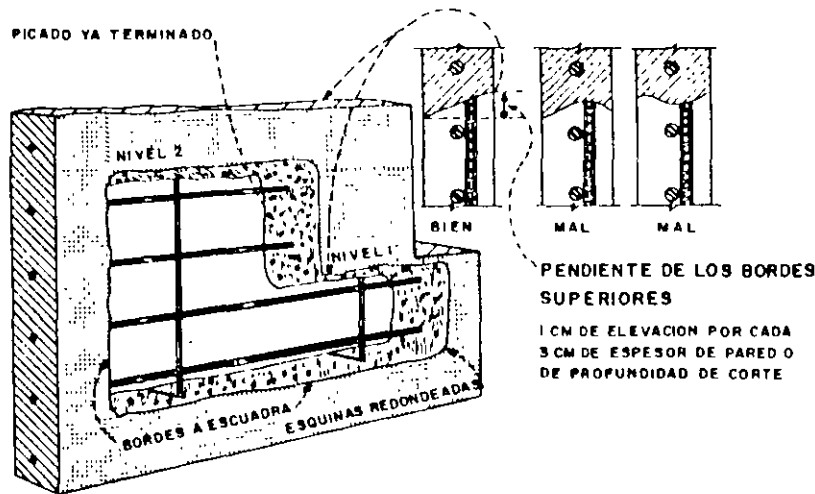


Fig. 11-3—El borde superior de la abertura debe dejarse inclinado para que pueda vibrarse el hormigón sin que queden bolsas de aire en la parte de arriba de la reparación.

mezcla, por partes iguales de cemento y arena fina que pase el Tamiz No. 30. La capa de revestimiento deberá tener la consistencia de una crema espesa, y restregarse o frotarse bien en la superficie del hormigón original: algunas veces se utiliza una lechada de cemento puro (Fig. 11-4). En ningún caso puede permitirse que la capa de adherencia fragüe con anterioridad al reemplazo del hormigón. En todos los casos, hay que colocar el hormigón de reemplazo antes que haya endurecido la capa de adherencia, independientemente del tipo que ésta tenga.

Hay en el mercado agentes de adherencia químicos como, por ejemplo, resinas epóxicas y látex, que se usan a menudo en reparaciones especializadas. Si se emplean apropiadamente, siguiendo las recomendaciones del fabricante, los materiales formulados con este fin pueden ayudar a obtener la adherencia apropiada en condiciones difíciles, particularmente cuando se trata de reparaciones delgadas. Los agentes químicos de adherencia no deben diluirse a menos que así lo recomiende el fabricante. Se recomienda desechar el uso de revestimientos de adherencia que contengan resina epóxica en áreas superficiales grandes expuestas a climas severos, en donde la humedad que emigra hacia la superficie va a quedar bloqueada por la barrera impermeable creada. Esta agua, al permanecer inmóvil, puede congelarse y romper la reparación. Lo mismo que en el caso de mortero de adherencia hecho con cemento portland, hay que evitar el fraguado de los agentes químicos antes de la aplicación del hormigón de reparación.

Para asegurar que el hormigón de reparación sufra contracción mínima, habrá que colocarlo con contenido de agua y asentamiento bajos. De preferencia, conviene premezclarlo y permitirle que llegue a edad entre 30 y 40



Fig. 11-4—Para reparar una zona de estacionamiento, se retiró el hormigón dañado, se limpió el refuerzo con chorro de arena para quitarle el óxido y se instalaron algunas barras adicionales de refuerzo al lado de las que estaban dañadas o corroídas. Para lograr adherencia se aplicó una lechada de cemento puro, inmediatamente antes de vaciar la nueva capa de hormigón.

minutos, antes de usarlo. Se ha de procurar, hasta donde lo permitan las condiciones, que este hormigón tenga la misma composición del hormigón original.

Curado de reparaciones hechas con mortero de cemento portland o con hormigón

Las reparaciones hechas con mortero de cemento o con hormigón adquieren, como cualquier otro hormigón, su mejor calidad y funcionalidad cuando se curan en forma apropiada. El curado deberá hacerse por lo menos durante siete días, a temperaturas por encima de la de congelación, utilizando cubierta mojada, y dejando que ésta se seque completamente antes de removerla. Cuando se usan formaletas esto se logra fácilmente insertando bajo ellas seis o más capas de arpillera saturada y colocando de nuevo las formaletas, en su sitio, atadas apretadamente, después de remover la chimeña y cualquier otro aditamento requerido. Es aconsejable cubrir otras áreas, en forma similar, con tableros o con madera laminada, que se aplican firmemente contra la cubierta mojada de una arpillera gruesa. En casos en que el trabajo general se cura por medio de membrana, ésta puede aplicarse, pero preferiblemente no sin que hayan transcurrido por lo menos 24 horas (ojalá 3 días) de cubrimiento saturado, como se describió atrás.

Reparaciones estructurales con otros materiales a base de cemento portland

Si el volumen total no es demasiado grande, como para que el tiempo requerido se vuelva poco práctico, pueden hacerse reparaciones estructurales muy satisfactorias utilizando morteros húmedos tipo paquete, atomizados neumáticamente con equipo a pequeña escala, como se describió previamente para las reparaciones poco profundas. En las reparaciones estructurales de volúmenes algo mayores es aconsejable utilizar hormigón proyectado, aplicado con procedimientos estándar, siempre y cuando se mantenga un control estricto sobre todas las operaciones. Véanse la Referencia 64 y el Capítulo 15. Con cualquiera de estos métodos de reparación no conviene usar capa de adherencia de ninguna clase. En ambos métodos los bordes del área de remoción del hormigón, deberán acampanarse hacia afuera, con pendiente aproximada de uno a uno, de tal manera que el rebote caiga libremente, y las esquinas hacerse redondeadas. Una ventaja de ambos métodos es que no es necesario usar formaletas, o por lo menos, éstas quedarán muy limitadas.

Las reparaciones con hormigón de agregado precolocado resultan muy satisfactorias si se efectúan en forma adecuada. El hormigón de agregado precolocado y su uso se describen en el Capítulo 15. Las ventajas de este material en el trabajo de reparación son su baja contracción y el hecho de que, mediante controles adecuados, puede colocarse con buen éxito bajo agua.

REPARACIONES ESTRUCTURALES QUE UTILIZAN RESINAS EPOXICAS

Hay disponible una amplia variedad de resinas epóxicas para reparación del hormigón. Sólo resinas epóxicas formuladas específicamente para el uso en construcciones de hormigón deberían usarse en las reparaciones correspondientes. Normalmente tiene que ser resinas epóxicas sin disolventes ni líquidos reactivos, ciento por ciento sólidas, constituidas por solo dos componentes. Estos materiales de resina epóxica se suministran en diferentes clases, que varían desde materiales de pegamiento sin modificar, de baja viscosidad, hasta pastas y gels de aplicación con llana, formados por adición de espesadores o de llenantes minerales finos.

Lo mismo que en otros lugares de este manual, se hace énfasis en que el inspector está gobernado estrictamente por los requisitos de las especificaciones del proyecto, y esto se cumple en cuanto a la selección de materiales de resina epóxica para las reparaciones. En ausencia de requisitos de especificación, deberá consultarse al ingeniero de diseño sobre los requisitos e instrucciones al respecto. La norma ASTM C 881 se ha desarrollado para cubrir los varios tipos de resina epóxica utilizados en la adherencia del hormigón. La información que se da acá tiene por objeto únicamente suministrar antecedentes y servir como guía adicional.

A veces se utilizan también en trabajos de reparación de hormigón materiales distintos a las resinas epóxicas, en especial, materiales de látex y de poliéster, con el doble fin de servir como agentes adherentes y como aditivos

para aumentar la resistencia a la flexión y la ductilidad de los morteros de cemento portland para reparaciones.

En la guía preparada por el Comité ACI 503⁶⁸ y en 4 especificaciones estándar del ACI, las Referencias 66, 67, 68 y 69 hay detalles sobre el uso de materiales de resina epóxica en construcciones de hormigón, incluyendo trabajos de reparación. En la Referencia 8 y en el Apéndice A de la Referencia 70, se pueden hallar datos adicionales para que sean consultados antes de intentar el uso de resina epóxica en trabajo de reparación de hormigón.

Sensitividad a la humedad y a la temperatura

Las primeras resinas epóxicas eran sensitivas a la humedad, no solo durante el curado sino también, en menor extensión, después del endurecimiento; y muchos de los productos disponibles hoy en día todavía lo son. Muchos de esos productos son buenos, pero su uso debe restringirse a sitios donde no vayan a estar sujetos a humedad antes del curado, o durante largos períodos después de él. Por otra parte, hay resinas epóxicas en el mercado esencialmente insensibles a la humedad y que pueden utilizarse con éxito en aplicaciones donde no es práctico secar completamente el hormigón de base en sitios donde han de estar bajo agua durante el servicio y para adherir hormigón fresco de cemento portland.

Las resinas epóxicas tienen poder de adherencia en la mayoría de los trabajos de construcción. Hay en el mercado productos epóxicos especializados que se pegan al PVC y al neopreno y pueden usarse en reparaciones de hormigón que involucren dispositivos de estancamiento. Sin embargo, la resina epóxica se adhiere poco a ciertos materiales como el polietileno, el teflón y las superficies engrasadas o enceradas. Por esto, se usa comúnmente polietileno y papel encerado fuerte para el revestimiento de las formaletas requeridas en reparaciones con resinas epóxicas.

La resina epóxica endurecida tiene un coeficiente de expansión térmica mucho más alto que el hormigón. A menos que se compense, este hecho tiende a producir reparaciones que se agrietan y desprenden al verse sometidas al ciclo de expansión-contracción resultante de los cambios de temperatura. Esto es particularmente cierto para todas las reparaciones epóxicas. No es problema grave cuando se trata de capas de adherencia de resina epóxica, por la delgadez de la capa (una buena razón para hacerlas delgadas). Sin embargo, existen en el mercado resinas epóxicas formuladas para que tengan alta extensibilidad, que permita el alargamiento del material y aliviar así los esfuerzos diferenciales. Siempre hay que utilizar estas resinas epóxicas cuando se trata de capas gruesas o de hormigón y mortero epóxicos. Cuando se añaden materiales de relleno a las resinas epóxicas, y se utilizan agregados en morteros y hormigones, el efecto de "dilución" produce un coeficiente de expansión más bajo en todo el material mezclado y proporciona considerable alivio. Las resinas epóxicas se curan prácticamente sin contraerse. Esta es una de sus grandes ventajas en trabajos de reparación, pero que puede ocasionar también problemas en el caso de reparaciones de hormigón recién endurecido, cuando no haya alcanzado todavía su condición estable de vo-

lumen. De nuevo, la solución está en el uso de resinas epóxicas extensibles que permitan el alivio de los esfuerzos diferenciales.

Temperaturas limitantes

Pocas resinas epóxicas curan satisfactoriamente a temperaturas por debajo de 10°C y casi ninguna por debajo de 4°C. No se aconseja intentar reparación alguna que involucre la aplicación o curado de resinas epóxicas a temperaturas por debajo de los 10°C hasta no hacer un ensayo de aplicación utilizando los materiales propuestos, a la temperatura esperada, y haber probado núcleos para asegurar que realmente ocurre la ganancia deseada de resistencia. Hay que evitar las altas temperaturas (generalmente las que estén por encima de 29°C), puesto que el incremento en temperatura aumenta la rata de endurecimiento hasta un punto en que puede volverse imposible la mezcla, colocación y acabado del material de resina epóxica, antes que endurezca. A temperaturas más altas, deberá normalmente usarse un material de endurecimiento lento, mezclarse en tandas más pequeñas, y colocarse en capas menos profundas. Se prescribe *no usar* adelgazadores con las resinas epóxicas.

Como se discutió previamente al hablar de las capas de adherencia, es, por lo general, indeseable usar estas capas o morteros u hormigones de resina epóxica, en áreas grandes, sometidas a exposición exterior de climas de congelamiento, y en condiciones en que la resina epóxica puede actuar como barrera impermeable que atrapa la humedad emigrante a la superficie.

SEGURIDAD DURANTE LAS OPERACIONES DE REPARACION CON RESINA EPOXICA

Se debe tener cuidado de evitar el contacto de la resina epóxica o de sus solventes con la piel, e instruirse al respecto a todo el personal. Se aconseja el uso de vestidos de protección, incluyendo guantes y anteojos, y la aplicación de cremas protectoras sobre las partes de la piel que vayan a estar expuestas. Cuando se utilicen en reparaciones interiores tiene que existir ventilación adecuada; pues de lo contrario, hay riesgo de fuego por los solventes utilizados en la operación de limpieza. Queda *terminantemente* prohibido usar estos solventes en la limpieza de la piel; es preciso prevenirse contra cualquier contacto accidental de ésta con la epóxica lavando *inmediatamente* la parte afectada con agua y jabón.

REPARACION CON MORTERO Y HORMIGON DE RESINA EPOXICA

Los morteros y el hormigón de resina epóxica constan de esta resina, mezclada en el sitio únicamente con agregados: agregado fino para el mortero y agregados fino y grueso para el hormigón. Tanto los morteros como los hormigones de resina epóxica constituyen materiales de reparación excelen-

tes para el hormigón. Sin embargo, su alto costo por unidad de volumen los hace inapropiados para reparaciones diferentes de las de pequeñas áreas aisladas y de áreas sometidas a condiciones severas de servicio, como cavitación, alta abrasión, cargas puntuales excesivas, ataques químicos y condiciones similares. Normalmente se usa mortero epóxico en reparaciones menores de tres a cinco centímetros de profundidad, y hormigón epóxico en reparaciones más profundas.

Materiales

Los aglomerantes de resina epóxica deberán ser los formulados especialmente para este uso y que normalmente constituyen los materiales más extensibles. Los agregados tienen que ser duros, densos, limpios, presentar esencialmente forma redondeada o cúbica, y hallarse completamente secos en el momento de usarlos. La tabla siguiente da gradaciones recomendadas de agregado. Rara vez se utilizan agregados gruesos con tamaño mayor de 19 milímetros. En morteros epóxicos, hay que acudir a las gradaciones más gruesas de agregado fino para las reparaciones más profundas y a las más finas para las menos profundas; el material retenido en el Tamiz No. 16 es el más grueso que se aconseja usar cuando es preciso que el mortero presente bordes en cuña nitidos. Las gradaciones de agregado para mortero epóxico que aparecen en la tabla son las que han dado resultados óptimos en la producción de morteros no escurridizos. Se utilizan con éxito, muchas otras gradaciones, algunas inclusive constituidas por agregado uniforme.

Preparación de la superficie

La preparación de la superficie deberá seguir, por lo general, los requisitos discutidos previamente para otras reparaciones estructurales. Generalmente es preferible señalar el área de reparación con un corte de sierra, de 13 milímetros de profundidad en los morteros y de 25 a 50 milímetros en el hormigón. En lo posible, la superficie del hormigón de base ha de estar completamente seca. De lo contrario, es esencial utilizar una resina epóxica que tolere la humedad. Las líneas de aire comprimido utilizadas en la limpieza y secamiento de la superficie tienen que estar equipadas con separadores adecuados de agua y aceite. Hay que tener en cuenta los requisitos de temperatura discutidos previamente para las resinas epóxicas. A ser posible, el hormigón de base y el aire ambiente deberán estar a temperaturas moderadas (15 a 27°C) antes de colocar el material de resina epóxica y durante el curado.

Preparación, mezclado y manejo

Las dosificaciones usuales de mortero de resina epóxica son: una parte de ésta por cada 4 a 7 porciones de agregado, en peso. Por lo general, las proporciones del hormigón de resina epóxica son: una parte de resina epóxica por cada 6 a 10 partes de agregado, en peso. Con las gradaciones de agregados que figuran en las tablas acompañantes, se utilizan partes iguales de

TABLA 11-1 — GRADACION DE LOS AGREGADOS

Porcentaje acumulado del material que pasa							
Tamiz	Agregado grueso †	Agregado fino para hormigón con resina epóxica	Agregado fino para mortero con resina epóxica				
			Tamaño máximo				
			No. 5	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30
19.0 mm	100						
12.7 mm	90-100						
9.5 mm	40-70	100	100				
No. 4	0-15	95-100	65-77	100			
No. 8	0-5	80-90	40-60	65-77	100		
No. 16		60-80	25-45	40-60	63-75	100	
No. 30		30-60	15-35	25-45	38-56	61-75	100
No. 50*		15-35	10-25	16-34	22-40	37-55	40-60
		(10-25)	(8-18)	(15-25)	(20-39)	(36-46)	
No. 100*		6-14	8-18	12-22	16-26	25-35	24-36
		(2-10)	(4-12)	(6-14)	(9-17)	(14-22)	(12-22)

*Si la mitad o una cantidad mayor del material con tamaño inferior a la abertura del tamiz No. 100, pasa el No. 200 utilícese los valores entre paréntesis.

†Tamaño No. 7 de la norma ASTM C 13

agregados fino y grueso. En general, es deseable usar la cantidad máxima de agregados que sea práctica, pero nunca más de la que quede completamente mojada por la resina epóxica y tenga todos sus poros llenos cuando se compacte la mezcla.

El agregado secado en horno y la resina epóxica deberán acondicionarse a una temperatura entre 21 y 29°C con anterioridad a su mezcla. La resina epóxica debe mezclarse separadamente antes de añadir el agregado, asegurándose de añadir el componente de agente curador al componente epóxico (siguiendo las direcciones de la fórmula): utilizar el orden inverso puede causar dificultades. La resina epóxica deberá mezclarse con equipo mecánico, como por ejemplo un taladro neumático de baja velocidad o uno eléctrico a prueba de chispas, con un aditamento mezclador de pintura o una hélice. La mezcla deberá combinar completamente todas las partes de cada componente y deberá hacerse a baja velocidad para prevenir las burbujas de aire atrapado. La resina epóxica mezclada se transfiere luego a mezcladores o recipientes más grandes y se añade el agregado. Esta mezcla puede hacerse a mano en una vasija o caja grande de mortero, o en un mezclador mecánico; son preferibles los mezcladores de mortero con eje horizontal. A menudo se usan mezcladores de motor que utilizan baldes desechables de cinco galones, montados en ángulo sobre una base motorizada. En el caso de hormigón epóxico frecuentemente es deseable añadir primero todo el agregado grueso al aglomerante epóxico para obtener mejor dispersión. El mezclado deberá continuarse hasta que todas las partículas de agregado queden com-

pletamente cubiertas. Generalmente deberá descargarse la tanda tan pronto como se complete la mezcla y extenderse sobre el área de reparación para minimizar el desarrollo de temperatura.

Colocación y acabado

Se prescribe que inmediatamente antes de colocar mortero de hormigón de resina epóxica, se dé a la superficie de la base de hormigón una capa delgada de ligante de resina epóxica muy bien restregado sobre ella, procurando que al hacerlo no se formen charcos de material líquido. Es preferible que la colocación del mortero o del hormigón se demore hasta que la capa de adherencia se vuelva ligeramente pegajosa, pero para completarla antes que se endurezca la capa de adherencia. Si esto ocurre, se raspa ligeramente la capa y luego se aplica una nueva.

El mortero y el hormigón de resina epóxica se colocan en capas que no excedan 5 centímetros de espesor, por lo general, con una ligera demora de tiempo entre capa y capa. Si se presenta generación excesiva de calor, hay que alargar la demora. El material debe compactarse muy bien, usualmente mediante apisonamiento a mano, para eliminar todos los vacíos. El emparejado y el terminado se efectúan esencialmente en la misma forma en que se procede con otros morteros y hormigones. Generalmente se utilizan para el acabado llanas de madera y palustres de acero. Se excluye totalmente el uso de un adelgazador como ayuda en el acabado. Si la pegajosidad se vuelve problemática, pueden envolverse en polietileno los palustres de acero, o utilizarse palustres plásticos especiales.

En sitios en que las reparaciones quedan especialmente expuestas a la vista, puede removerse la superficie satinada lijando ligeramente o aplicando chorro de arena a la reparación endurecida para que mate mejor con el hormigón que la rodea. Hay disponible en el mercado alguna provisión en colores de resinas epóxicas y se puede seleccionar un material que sea apropiado para el hormigón de los alrededores. Para ayudar a obtener el case en color en superficies no formadas, se ha usado cemento portland esparcido ligeramente sobre la superficie antes del emparejado final.

Curado y protección

Los morteros y hormigones de resina epóxica deberán curarse a las temperaturas anotadas anteriormente. De preferencia deberán recibir por lo menos 72 horas de curado a temperaturas comprendidas entre 15 y 27°C y protegerse del agua, de la abrasión y de cargas significativas, por lo menos durante 24 horas.

Limpieza

Se prescribe la limpieza del equipo inmediatamente después de usarlo y antes que se endurezca la resina epóxica. Por lo general, se utiliza para ello el solvente tolueno. También pueden usarse solventes de la familia "ketone", que son más rápidos, pero presentan problemas de seguridad mucho

mayores, tanto en lo que se refiere a la salubridad como en cuanto al riesgo de explosión. Hay que proporcionar ventilación apropiada para remover los humos explosivos del solvente y prevenir a los trabajadores para que tengan cuidado de evitar su contacto. Nunca ha de acudir a un solvente para limpiar de epóxico a la piel; sólo se recomienda usar jabón y agua, y eso inmediatamente.

RELLENO DE GRIETAS

Todo lo relativo al relleno de grietas para reparar el hormigón estructural agrietado y restablecer su capacidad estructural se ha desarrollado hasta el punto de que resulta posible una restauración casi completa, incluyendo la inyección de grietas tan pequeñas como de .05 milímetros de ancho. Cualquier operación importante de este tipo deberá ser objeto de revisión cuidadosa por parte de un ingeniero estructural. Algunas grietas son tan sólo síntomas de otros problemas estructurales de mayor entidad, y, si se rellenan, simplemente reaparecerán como nuevas grietas de la misma área general. Hay que tener cuidado de no rellenas ninguna junta que esté diseñada para permitir movimiento.

Antes de efectuar reparaciones de grietas en hormigón estructural, deberán identificarse los requisitos estructurales y los efectos de las grietas. Por lo general, si el acero longitudinal y los estribos están a salvo de filtraciones de humedad (y, por consiguiente, de corrosión) por entre las grietas, las reparaciones se convierten en asunto de cosmética. Si no hay presente acero de refuerzo y el agrietamiento fuera inducido por esfuerzos se debe considerar el reemplazo del miembro agrietado o el uso de refuerzo de acero externo.

La reparación destinada a contrarrestar el agrietamiento estructural, consiste en el rellenamiento a presión con resina epóxica, como se describe en los parágrafos siguientes. Lo indicado es demorar el proceso mientras los movimientos por temperatura o contracción de secamiento se estabilizan substancialmente con respecto a la apertura máxima. Sin esta demora, la contracción y el cambio de temperatura causarán probablemente una nueva grieta, más o menos paralela a la original. La aplicación de epóxica inyectada a presión y las precauciones de seguridad deberán estar en completo acuerdo con las recomendaciones del productor o distribuidor.

Materiales

Para rellenar grietas estrechas, se requiere baja viscosidad. Puesto que es generalmente imposible remover la humedad presente dentro del elemento, hay que utilizar material epóxico que se adhiera a una superficie húmeda, pero con exclusión de solventes en la fórmula y evitando que haya adelgazamiento posterior. La resina deberá ser capaz de permanecer fluida por un límite de tiempo predeterminado, y formularse para emplearla en el intervalo de temperatura en que va a trabajar. Algunas veces se considera que las resinas flexibles son preferibles a las de otro tipo, especialmente si es probable que el miembro reparado quede sujeto a cambios de volumen y a defor-

maciones que podrían no ser acomodadas por un material muy duro y quebradizo.

Las cuadrillas normales de construcción pueden rellenar grietas relativamente anchas, utilizando aglomerantes y rellenos de resina epóxica de viscosidad moderada. Es menester que los materiales utilizados para este tipo de trabajo tengan tiempo de endurecimiento relativamente largo para permitir que la resina se maneje con propiedad. Se necesita un mínimo de 30 minutos. Las grietas estrechas y las extremadamente finas, hasta de .05 milímetros de ancho, deberán rellenarse con resina epóxica de viscosidad muy baja, formulada especialmente para esta clase de trabajo. Es lo común que este tipo de reparación quede a cargo de cuadrillas especiales, entrenadas y calificadas por el fabricante de epóxica. Para rellenar las grietas finas, sobre todo cuando están a profundidad considerable, se requieren presiones de inyección relativamente altas. A menudo se utilizan para este trabajo resinas epóxicas de endurecimiento rápido en parte, para ayudar a retener el material en las grietas.

Equipo

El relleno de grietas anchas puede hacerse por medio de recipientes de vaciado y pistolas de calafatear cuando el ancho de la grieta y la viscosidad del material permitan un relleno completo. Se prohíbe usar estos métodos en grietas tan estrechas donde el material no sea capaz de entrar fácilmente. En el caso de grietas estrechas y finas debe usarse equipo especial de inyección a presión. Las tandas de material mezclado pueden inyectarse con pistolas de calafatear, con recipientes a presión similares más o menos al equipo de pintura al duco, y con bombas hidráulicas que operan desde recipientes abiertos. Tal equipo requiere resina epóxica premezclada, con endurecimiento relativamente largo. La resina epóxica se mezcla como se describió anteriormente al hablar de morteros y hormigones epóxicos.

El equipo de inyección más usado generalmente en trabajos grandes consta de un equipo de bombeo que suministra por separado los dos componentes de resina epóxica, a través de líneas independientes, a un artefacto de medición y mezcla continuos, localizado en el punto de la boquilla de inyección donde se unen las dos líneas. No se requiere otro equipo y este sistema es capaz de manejar resinas epóxicas que tienen endurecimiento extremadamente corto.

Preparación

La preparación para la inyección se hace removiendo de las grietas, hasta donde sea posible, el polvo y otras basuras, por medios mecánicos, lavado y soplado con aire comprimido. Hay que tener cuidado de prevenir daños adicionales a la estructura durante la limpieza, y de soplar las grietas hasta que queden tan secas como sea posible. Todas las líneas de aire comprimido deberán estar equipadas con separadores de agua y aceite.

La grieta tiene que sellarse en la superficie para evitar que el relleno se salga antes de haber coagulado. Esto puede lograrse extendiendo a propósi-

to, con brocha, una resina especial, a lo largo de la superficie de la grieta, y dejándola endurecer. Si se necesita de altas presiones de inyección, se agranda la grieta tanto en profundidad como en anchura de superficie, y luego se rellena con una mezcla de resina para proporcionar un sello más masivo. Se deben instalar orificios de entrada para la inyección. Un método consiste en perforar agujeros en la grieta a través del sello de resina e insertar boquillas de tubo, acoplamientos Alemite, válvulas de llanta, u otros acoplamientos especiales, adheridos y mantenidos en lugar por la resina sintética. Otro método prescinde totalmente de los acoplamientos para dejar sólo una abertura en el sello. La inyección puede aplicarse con una boquilla dotada de punta elástica, que se acomode ajustadamente contra el orificio de entrada al presionarla a mano contra la boquilla, y que permita operar sin que se presenten fugas. Debe haber suficiente distancia entre los orificios de inyección para asegurar que el líquido inyectado en uno fluya a través de todo el espesor del miembro antes de salir por el siguiente. Puede taponarse el orificio adyacente para impedir que el flujo salga a través de él. La distancia de espaciamiento entre los orificios de inyección se hace comúnmente igual a la profundidad de inyección requerida, medida desde la superficie.

Inyección

Después que toda la resina utilizada para arreglar la grieta y para pegar los orificios de entrada se haya endurecido, se mezcla e inyecta el relleno de resina. Es aconsejable hacer esto en el momento del día (o de la noche) en que el hormigón esté en su estado más frío y las grietas sean lo más amplias posible. Sin embargo, no hay que excederse en los límites de temperatura de la resina epóxica que se esté usando.

Si la grieta es vertical, la operación comienza con la inyección en el orificio más bajo hasta que empiece a salir por el de encima. Luego se sella el primer orificio y se comienza la inyección en el siguiente. En grietas horizontales el operador procede de un extremo a otro de ellas. Los miembros horizontales deberán inyectarse, a ser posible, por el lado de abajo. La grieta se considera llena si se puede mantener la presión. Si no ocurre así, esto indica que el líquido todavía está fluyendo en porciones sin rellenar o escapando de la grieta. Se debe tener cuidado durante la inyección para no aplicar una presión tan alta que se haga daño adicional al miembro por la acción hidráulica del relleno fluido. Después que haya curado la resina se remueven todos los acoplamientos y luego se pule y repara la superficie en la medida en que sea necesario.

Algunas veces puede rellenarse con resina por el *método de gravedad* consistente en dejar que una resina de viscosidad muy baja penetre en las grietas por la acción de la gravedad. Esta técnica es adaptable a superficies horizontales, como pisos y tableros. Si la grieta penetra en toda la profundidad de la losa, deberá sellarse el lado inferior de la misma, para impedir que la resina se escape por ahí. Cuando las grietas se rellenan usando este método, sus bordes superiores deberán cortarse en forma de "V", de aproximadamente 6 milímetros de profundidad, soplarse muy bien y limpiarse con aire

comprimido libre de aceite, o con aspiradora, para mezclar luego muy bien la resina y verterla dentro de la "V". A veces conviene repetir esta operación varias veces hasta llenar completamente la grieta.

Si luego de hacer un cálculo preliminar de la cantidad teórica requerida de resina, se encuentra que no se ha usado dicha cantidad, es razonable sospechar que la grieta no está completamente llena o que era más estrecha de lo que se esperaba. El único modo de asegurar que el relleno ha tenido éxito consiste en perforar algunos núcleos de pequeño diámetro para verificar que la grieta ha sido rellenada.

CAPITULO 12 — LOSAS DE EDIFICIOS

Las losas de hormigón exigen atención cuidadosa a todos los factores aplicables de inspección del hormigón y de la construcción, con el fin de obtener un producto acabado de alta calidad. Por sus grandes superficies libres de formaletas, las losas requieren mucho más tiempo y esfuerzo que la mayoría de los otros productos de hormigón. Dependiendo de la localización y destino, algunos aspectos de la inspección y construcción pueden ser más importantes que otros, pero en todos los casos hay que considerar como objetivos principales el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones, las tolerancias en superficie y en elevación del diseño terminado, la funcionalidad, durabilidad y apariencia.

Antes de verse involucrado en la construcción de losas, el inspector deberá familiarizarse completamente con la Referencia 53.

COLOCACION DEL REFUERZO

Muchas losas que van sobre el terreno se diseñan con refuerzo; generalmente, se especifican, con este fin, mallas de alambre soldada. La colocación precisa de este refuerzo es importante, y sin embargo se descuida a menudo, de lo que resulta que frecuentemente se encuentra, bien al puro fondo de la losa, bien tan cerca de la superficie superior que el recubrimiento es inadecuado (Fig. 12-1). Las losas de hormigón construidas sobre el terreno con cemento expansivo requieren normalmente refuerzo en su mitad superior. Las losas estructurales suelen tener dos capas de refuerzo: una cerca de la parte superior y otra cerca de la inferior. En este caso, la precisión en la colocación es todavía más importante. Se debe poner especial atención a la colocación del refuerzo alrededor de las esquinas de huecos en la losa, donde frecuentemente ocurren agrietamientos. El refuerzo tiene que estar apoyado firmemente en su nivel de diseño antes de comenzar el hormigonado. *Nunca* ha de permitirse la práctica de dejar la postura del refuerzo, en especial de la malla de alambre soldado, sobre la subrasante, para más tarde, después de colocado el hormigón, intentar halarlo a su lugar en el centro de la losa.

REQUISITOS DE LA MEZCLA

Los requisitos de mezcla en trabajos generales son usualmente satisfactorios para las losas (véase el Capítulo 6). Sin embargo, las mezclas deberán tener buena facilidad para el acabado, y por esta razón, cumplir los requisitos de la Sección 5.2 del informe del Comité ACI 302¹¹. En caso de no especificarse otra cosa, se entiende prescrito el uso de un contenido de agua

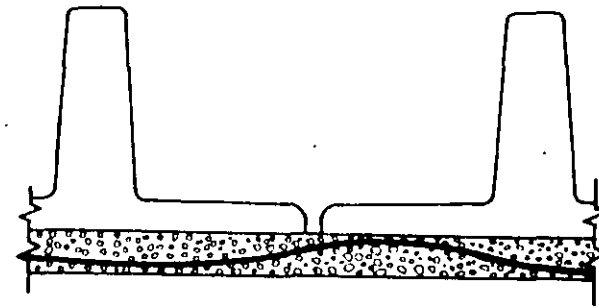


Fig. 12-1— Toda malla de alambre que ha estado enrollada trata de abalanzarse, como se muestra acá. El Inspector verificará que la malla quede razonablemente plana y a la altura especificada.

que produzca asentamientos que cumplan las provisiones de la Sección 3.5 de la publicación "Specification for Structural Concrete for Buildings" (ACI 301)¹⁰. El hormigón debe tener plasticidad y cualidades de acabado satisfactorias, y ser suficientemente cohesivo para minimizar la segregación, y en cuanto al de losas exteriores, tener aire incorporado cuando así lo requieran las condiciones de exposición. El hormigón de peso normal para todas las otras exposiciones deberá tener una pequeña cantidad de aire incorporado para aumentar la plasticidad y reducir la exudación. El hormigón hecho con agregado liviano requerirá incorporación de aire en todas las condiciones, con el fin de mejorar su manejabilidad.

Si se presenta *exudación* en exceso (presencia de agua libre sobre la superficie de la losa) puede ocurrir que la arena contenga una cantidad insuficiente de finos que pasan los tamices No. 50, No. 100 y No. 200. Esto es corregible algunas veces mediante el uso de aditivos apropiados, combinando la arena para mejorar su gradación, con puzolanas, incrementando el contenido de cemento, o volviendo a dosificar la mezcla. Si ésta causa dificultades en manejabilidad y acabado, hay que hacer el ajuste correspondiente. El uso de aditivos plastificantes ayuda a veces a superar este problema; sin embargo, debe obtenerse la aprobación del ingeniero antes de cambiar las proporciones de la mezcla. Se recomienda que las mezclas contengan la cantidad máxima de agregado grueso que pueda usarse sin causar dificultades en la colocación y el terminado. El tamaño máximo nominal de agregado grueso no debe exceder $\frac{1}{3}$ de la profundidad de la losa, ni generalmente, sobrepasar 38 milímetros. Las mezclas para capas de desgaste en superficies sometidas a tráfico pesado deben tener bajo asentamiento y una cantidad menor de finos.

LOSAS SOBRE TERRENO

Antes de colocar losas sobre terreno es preciso preparar y compactar la subrasante de acuerdo con los planos y especificaciones. La parte inferior

de las capas de base granular deberá tener drenaje; si ello no resulta posible, es malo que tal parte quede más baja que la rasante adyacente terminada. Las capas de base sin drenaje se convierten en depósitos de agua.

En muchos casos, particularmente en pisos de edificios encerrados, se especifica la colocación sobre la subrasante de una lámina impermeable o de material similar, como barrera de vapor; para prevenir la emigración, a través del hormigón, del agua capilar que sube a la superficie de los suelos de subrasantes de grano fino. Si se usa dicho material impermeable, el cubrimiento deberá ser total y cada lámina traslaparse en forma adecuada con las adyacentes. Se recomienda tomar precauciones durante la instalación y el hormigonado para prevenir la perforación de la barrera de vapor. Esta no constituye impermeabilización al agua.

La Sección 2.4.1 del informe del Comité ACI 302¹¹ señala que el agrietamiento usual por contracción de secamiento de losas con barrera de vapor es mucho menor si se colocan primero ocho centímetros de arena mojada sobre tal barrera.

Cuando no se especifica barrera de vapor, hay que humedecer la subrasante antes del hormigonado, rociándola con agua. En ningún caso es aconsejable colocar hormigón para losas de piso sobre terrenos congelados.

Colocación y consolidación del hormigón

La colocación del hormigón se hace de tal manera que una vez terminada la losa, quede el espesor de diseño dentro de las tolerancias especificadas. Esto puede lograrse utilizando un número suficiente de listones guías, apropiados y rígidos, y verificando la profundidad hasta la subrasante en suficientes puntos. Los mamparos o formaletas pueden servir como maestras, que habrán de colocarse en el nivel apropiado y no tener proyecciones, de manera que el hormigón resulte emparejable uniformemente. Otro método aceptable de obtener el nivel apropiado del hormigón es con el uso de una maestra o listón guía de hormigón, llamada algunas veces *maestra mojada*. Consiste en fundir hormigón de bajo asentamiento entre las estacas indicadoras del nivel, enrasándolo al nivel apropiado, en quitar luego las estacas y colocar y terminar el resto de la losa, para lo que estas franjas de hormigón sirven como maestras. El uso de maestras de hormigón en la colocación de hormigón para losas es una operación difícil de controlar en forma apropiada, discontinuable, por tanto, inmediatamente si hay dudas sobre la consolidación del hormigón de las maestras o del hormigón de la losa a lo largo de los lados de aquellas.

El hormigón de las losas se coloca mediante grúa y canecas, bombas, transportadores de banda, a mano, o con carritos motorizados. Hay que tener cuidado de no desplazar de su sitio el refuerzo, y de depositar el hormigón tan cerca de su localización final como sea posible, pero sin amontonarlo en pilas. Se debe evitar todo movimiento horizontal y una excesiva segregación. A medida que se entrega el hormigón, la caída dentro de la losa debe ser vertical y a la altura más baja posible. La distribución horizontal requerida tiene que hacerse con palas de punta cuadrada y no a base de vibración.

Los vibradores internos, que proporcionan el mejor modo de consolidación de losas de hormigón más gruesas, deberán insertarse y moverse en posición vertical y hundirse a espaciamientos cortos en todo el área. Se debe prestar atención particular a la vibración a lo largo de mamparos y en los estribos. Si no se dispone de vibradores es necesario emplear la pala conscientemente a medida que se coloque el hormigón, evitando cuidadosamente la sobrevibración, que es fácil de producir en losas delgadas, para prevenir el transporte de material fino y de agua, en exceso, a la superficie.¹¹

El hormigón en losas más delgadas es consolidable mediante el movimiento de "aserrado" que se obtiene con listones rígidos de enrasar, maestras vibratorias (enrasadoras) y rodillos. Pueden utilizarse vibradores de superficie tipo cacerola, cuidando de que no lleven demasiada pasta a la superficie; con hormigón de bajo asentamiento es admisible usar, pero con gran cuidado, apisonadoras de parrilla. Se aconseja el uso de esta clase de apisonadoras con mezclas de mayor asentamiento o con hormigón de agregado ligero. Se prohíbe en todo caso el empleo de las apisonadoras vibratorias de parrilla pues por la probable sobrevibración y segregación resultantes, es de temer que lleven demasiada pasta a la superficie.

Acabado

Inmediatamente después que el hormigón se haya compactado y enrasado a nivel, se procede a la remoción de las irregularidades superficiales, utilizando para ello una aplanadora de mango largo o un fratás. Esto conviene hacerlo antes que aparezca agua en la superficie. No se permitirá manipulación adicional de la superficie hasta que sea hora del alisado, ni trabajarla bajo ninguna circunstancia mientras haya agua presente.

Después del enrasado y de la nivelación inicial la siguiente operación es la alisadura que se hace a mano o con alisadora de motor (Fig. 12-2). La operación no se tiene que empezar sino hasta que haya desaparecido todo el brillo del agua de exudación y el hormigón haya adquirido la suficiente rigidez como para permitir que se camine sobre la superficie sin que los tacones dejen huellas de más de 6 milímetros de profundidad. Si el hormigón tiene aire incorporado, hay que alisar con una herramienta de magnesio o de aluminio para prevenir el rayado de la superficie. Un terminador experimentado utilizará la cantidad apropiada de presión para obtener los mejores resultados. En ningún caso deberá comenzar la alisadura antes que haya desaparecido toda el agua de exudación; el acabado prematuro traerá un exceso de finos a la superficie y causará, por lo tanto, que la losa terminada tenga una superficie blanda que tenderá a soltar polvo durante el servicio. Es preciso evitar cualquier tipo de sobrealisadura o sobreterminado. Se recomienda acudir a la alisadura únicamente en la medida necesaria para asegurar que una capa de mortero cubra el agregado grueso. Esta precaución se prescribe especialmente en el caso de las alisadoras de motor. Puede ocurrir que la alisadura sea la operación final de acabado, o que a ella siga un emparejamiento con llana.



Fig. 12-2—Máquinas terminadoras, que alisan y pulen la superficie de una losa de hormigón.

La formación de bordes se hará solo cuando así lo requieran los planos y las especificaciones. Si se requiere formar bordes, hay que tener mucho cuidado para prevenir un sobretabajo del hormigón. Las herramientas para formar el borde deberán tener radio no mayor del permitido por las especificaciones; si no se especifica, el radio no deberá exceder de 5 milímetros. En vez de darles formas a los bordes de la superficie de juntas de construcción se podrá pulirlas ligeramente, después de quitada la formaleta y antes de colocar la losa adyacente. Hay que rechazar el uso de agua adicional aplicada a la superficie mediante rocío con brocha, aspersion o pulverización, durante las operaciones de terminación o de formación de bordes. En ningún caso se permite el uso de máquinas de terminación que tengan aditamentos de agua para humedecer la losa.

Muchas losas requieren una superficie alisada con llana metálica. Esta operación se realiza después del alisado con listón de madera y se demora tanto como sea posible para prevenir el arrastre de demasiados finos y agua a la superficie; por lo menos hasta que la película de humedad de ésta y el brillo que queda después de la operación de alisado con listón hayan desaparecido. Sin embargo, no conviene demorarse tanto como para permitir que la superficie se endurezca demasiado y no puedan compactarse los finos en la superficie. No hay que efectuar la alisadura con llana metálica sobre superficies que no hayan sido alisadas previamente con llana de madera. En la mayoría de las operaciones modernas, se efectúa primero una alisadura a

motor, seguida por otra de terminación a mano, con llana metálica. Las llanas son hechas de acero de resorte y en las pulidas segunda y posteriores se inclinan ligeramente para aumentar la presión del área de contacto, produciendo así una superficie densa y dura. La alisadura manual con llana metálica requiere alto grado de habilidad para producir una superficie uniformemente densa, libre de imperfecciones. Cuando se requiere una superficie dura, pulida o bruñida, se continúa el acabado con llana metálica hasta que produzca un sonido de timbre.

En algunas áreas, como las correspondientes a caminos o rampas, y particularmente a caminos exteriores, es más deseable usar sólo un acabado con llana de madera, sin pulir con llana metálica, para mejorar la tracción, puesto que proporciona una superficie más burda. Esta condición puede obtenerse también aplicando primero un acabado con llana de acero y luego, justo antes que frague el hormigón, "barriendo" ligeramente la superficie con un cepillo de cerdas finas o con un elemento similar.

Losas de superficie, endurecidas

Los pisos industriales, particularmente los de bodegas, se diseñan a veces, para recibir una superficie endurecida producida mediante rociamiento de un producto batido hecho con agregado metálico. Un agregado manufacturado, que usualmente el fabricante mezcla con cemento seco, se distribuye parejamente sobre la superficie, después de haberla alisado una vez. (No hay que confundir esto con la adición de cemento para secar el agua de exudación excesiva antes del terminado, que nunca deberá permitirse). Se aplican primero dos tercios del batido seco en una dirección, y luego se alisan en la superficie sin adición de agua. El tercio restante se aplica entonces a ángulo recto con el de los dos primeros y se pule de nuevo para asegurar una aplicación uniforme. Las operaciones de acabado se efectúan entonces como se describió atrás. A menudo se añade agregado abrasivo a las superficies de la losa, de manera muy similar, con el fin de producir una superficie no deslizante.

Construcción en dos capas y revestimientos especiales

Pueden construirse pisos de dos capas, aplicando una capa delgada encima del hormigón de una capa de base, antes que se endurezca completamente (cubrimiento integral), o de hormigón de base ya endurecido y de edad apreciable (revestimiento adherido).

La losa de la capa de base deberá construirse con los mismos métodos de las de capa sencilla, excepto que solo se ha de alisar con aplanaderas de listón, que producen una superficie a la cual se adhiere bien la parte superior. Los cubrimientos integrales deberán aplicarse cuando el hormigón de la base se haya endurecido lo suficiente para que las pisadas de los trabajadores se noten escasamente.

Antes de aplicar una capa adherida de cubrimiento a losas de base endurecidas, éstas tienen que limpiarse muy bien hasta que queden libres de todo

material suelto, nata, cascarilla u otro material, como por ejemplo, aceite, pintura o polvo, por medio de chorro de arena o de agua a presión ultra alta. Estos métodos son efectivos, pero a veces no son aceptables en trabajos dentro del interior del edificio. En tal caso es posible usar agentes limpiadores que no dejen residuos, o tratar la superficie con una solución al 10% de ácido muriático restregada sobre el área contaminada, seguida de un lavado muy completo. Se previene tomar las precauciones apropiadas en el almacenamiento y manejo del ácido. Antes de colocar la capa superior, se ha de humedecer muy bien la inferior y no permitir que queden charcos de agua libre. Algunas veces se aplica a la superficie una lechada de cemento puro, mezclada a la consistencia de pintura gruesa, o un agente especial de adherencia, justo con anterioridad a la colocación del hormigón. No deberá permitirse que estos sequen o fraguen antes de aplicar la capa superior.

La dosificación de la mezcla de la capa superior (espesor mínimo de 19 milímetros) es importante. Con agregado grueso constituido por piedra triturada o gravilla, con tamaños comprendidos entre el de tamiz No. 4 y 13 milímetros, la mezcla debería ser: 1: 1: 1 ½ en peso, con no más de 42 kilogramos (42 litros de agua) por 100 kilogramos de cemento. Hay que controlar cuidadosamente el contenido de agua y especificar que sea el mínimo que permita efectuar, sin dificultad especial, la colocación, consolidación y enrasado. Por lo general, esto significa un asentamiento menor de 25 milímetros. Si se siguen estas instrucciones, sin excepción, resultará una mejor calidad de la superficie terminada.

Los métodos de terminación para losas de dos capas son los mismos que para losas de una simple capa.

Las capas superiores para tránsito pesado se construyen con una mezcla que contenga no más de 31 kilogramos (31 litros) de agua por 100 kilogramos de cemento y con un asentamiento que no exceda de 25 milímetros. Estas capas superiores se consolidan y acaban con alisadoras de motor tipo disco, equipadas con un mecanismo integral de impacto.

Curado y protección

El *curado* es uno de los factores más importantes para obtener hormigón durable. Es imposible poner demasiado énfasis en esta fase de la construcción de losas, que deberá comenzar inmediatamente después que se haya completado la fase de acabado.

Hoy en día el uso de compuestos de curado formadores de membrana es el método más común de curar losas de hormigón. Usualmente se incluyen en las especificaciones los tipos y marcas aceptables, junto con los métodos aprobados y las tasas de aplicación. Ordinariamente se rocían por encima. Si se siguen las direcciones del fabricante, es de esperar resultados razonablemente buenos puesto que retardan la pérdida de agua por evaporación. Su aplicación ha de hacerse inmediatamente después de completar el acabado.

Donde sea práctico, el mejor método de curado de losas consiste en "inundarlas", lo que, como su propio nombre indica, prescribe mantener cierta profundidad de agua sobre toda el área después de terminar el acabado y

una vez que el hormigón haya obtenido el fraguado inicial. En la mayoría de los casos, sin embargo, no es práctico usar este método a causa de las complejidades de la construcción y del costo de retener el agua.

Otro método muy efectivo consiste en cubrir la losa con arpillera o algún material similar, el cual ha de *mantenerse empapado* durante todo el período de curado con el fin de que el proceso resulte exitoso. Es mejor esperar hasta que se haya presentado el fraguado inicial antes de cubrir con la arpillera; de lo contrario, al remover ésta se evidenciarán marcas indeseables sobre el hormigón, en los sitios donde la arpillera tenía uniones o estaba arrugada. En clima que produzca secamiento, después que ha pasado el período especificado de curado húmedo, será menos probable que haya agrietamiento si el curado húmedo se descontinúa de manera tal que el hormigón seque lentamente. Un modo de disminuir la velocidad del proceso de secamiento consiste en dejar las cubiertas de arpillera en su lugar hasta que ésta se haya secado. A menos que se tenga demostrado mediante ensayos que no existe ningún problema, se debe evitar el uso de arpillera nueva en aquellos sitios en los que sean objetables las manchas en el hormigón. Se prescribe usar arpillera limpia y no costales viejos de productos de consumo puesto que a menudo están contaminados.

Otro método de curar losas utiliza papel de curado o láminas plásticas. Si es preciso evitar la decoloración o moteado de la superficie se prefiere acudir a algunos otros medios de curado. Cuando se utilizan papel de curado o láminas plásticas, sólo es posible prevenir la decoloración o el moteado si se logra obtener y conservar en toda el área un contacto completo íntimo y libre de arrugas. También se puede minimizar el moteado (y mejorar el curado) manteniendo agua libre bajo la cubierta.

El curado deberá mantenerse durante el período mínimo especificado. Normalmente se recomienda que sea de 7 días cuando se usa cemento Tipo 1.

Antes de comenzar los vaciados de hormigón, hay que tener en su sitio todos los materiales y equipo necesarios para su protección; también disponer de los materiales y procedimientos necesarios para protegerlo de cambios repentinos del tiempo (lluvia, nieve, viento, cambio drástico de temperaturas, etc.)

Protección durante tiempo frío—Es de esperarse que el hormigón vaciado y curado apropiadamente a 10°C proporcione excelentes resultados a largo plazo en lo que respecta a resistencia y durabilidad. En clima moderadamente frío, como ocurre, por ejemplo durante el otoño, cuando la temperatura promedio diaria en el sitio de la obra cae por debajo de 4°C durante más de un día, hay que proteger todo el hormigón de los ambientes congeladores por lo menos durante las primeras 24 horas después de su colocación. También hay que proporcionar protección inicial similar contra el congelamiento hasta que la temperatura promedio diaria se eleve por encima de 4°C durante más de 3 días. El hormigón así protegido estará a salvo de daño por congelación a edad temprana y, si tiene aire incorporado y es curado subsecuentemente, en forma apropiada, no sufrirá daño en durabilidad última, siempre y cuando no se le permita congelarse en condición saturada. La Referencia 57 da guías adicionales sobre cómo proteger en tiempo frío.

Protección durante tiempo cálido—En días calientes, secos y ventosos, ocurre a veces que las superficies de la losa se secan más rápidamente de lo que se eleva el agua de exudación a la superficie; esto puede producir una capa de hormigón seco en la superficie que descansa sobre hormigón interior sin endurecer. También ocurre agrietamiento por contracción plástica bajo estas condiciones climáticas. La protección deberá consistir en dar sombra al hormigón o proveerlo de deflectores de viento, o rocíos de neblina.⁵⁹

LOSAS ESTRUCTURALES

La construcción satisfactoria de losas estructurales involucra la mayoría de requisitos descritos atrás para losas sobre el terreno. Consecuentemente, adelante sólo se discutirán los requisitos adicionales para losas estructurales. El inspector de éstas deberá estar muy familiarizado con los requisitos necesarios para losas sobre el terreno.

Maestras

Las maestras de las losas estructurales reforzadas van colocadas sobre los miembros que soportan las formaletas. En todo caso, hay que tener en cuenta las deflexiones de los miembros de apoyo causadas por las cargas de hormigón impuestas, y prever tales deflexiones al colocar las maestras. Esto puede exigir el apuntalamiento de los miembros de apoyo. Si se utilizan apuntalamientos, deberá seguirse la trayectoria de las cargas verticales y, si es el caso, proporcionar apuntalamiento adicional en los pisos inferiores, para prevenir posibles deflexiones de los miembros de dichos pisos que soporten el apuntalamiento.

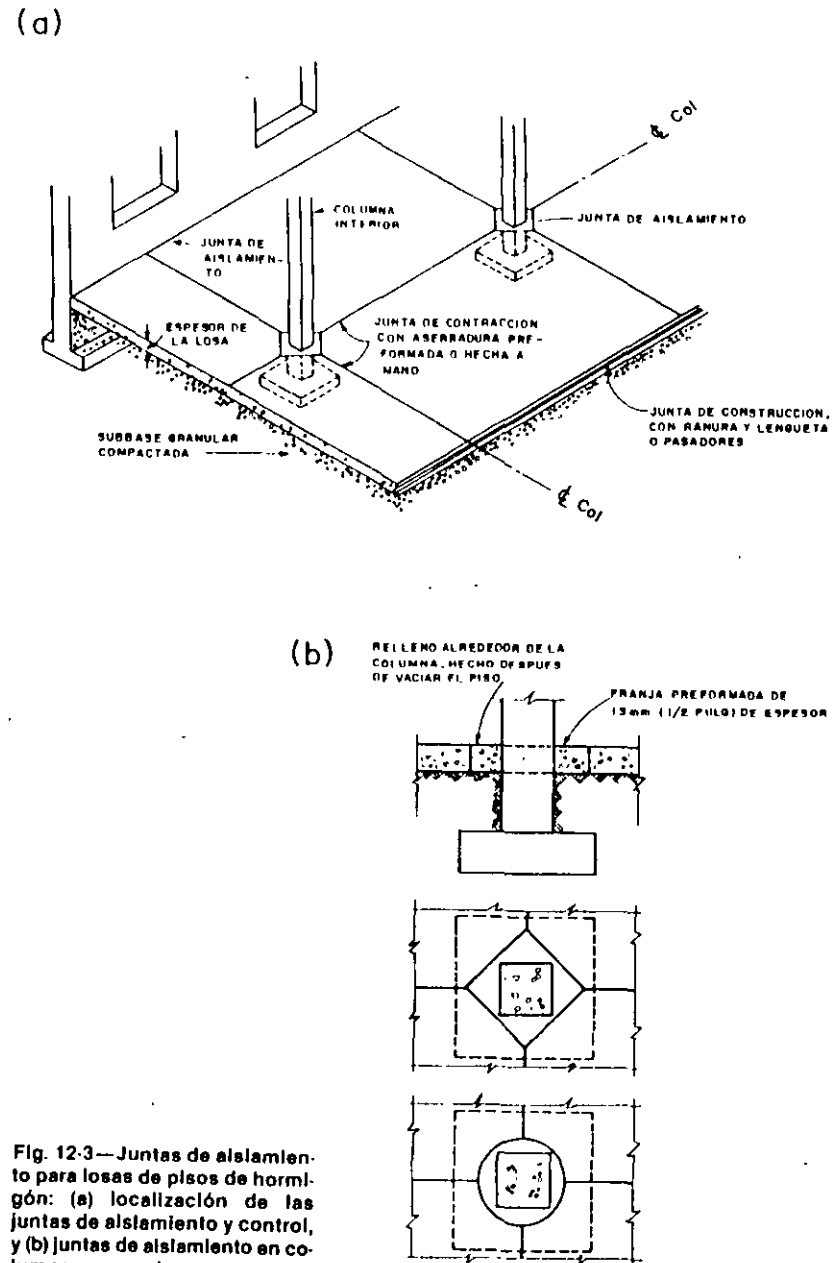
Se prescribe hacer la verificación cuidadosa de los niveles finales de la parte superior de la losa alrededor de las columnas, puesto que existe la tendencia a rellenar demasiado estos puntos.

Protección

Además de los requisitos de curado y protección discutidos atrás para losas sobre el terreno, en las losas estructurales deberán protegerse las superficies, tanto superiores como inferiores. Se hace referencia al Capítulo 10 para los detalles de protección del hormigón, incluyendo hormigonado en clima cálido o frío.

CONSTRUCCION DE JUNTAS

Los tipos y localización de juntas para losas de edificios, bien sean losas sobre el terreno o estructurales, tienen que coincidir con los indicados en los planos y especificaciones del proyecto y el inspector carece de autorización para permitir ningún cambio. El ingeniero deberá planear cuidadosamente las juntas, para que sirvan el propósito que se intenta, por ejemplo: aislar las columnas (Fig. 12-3) o controlar la expansión o contracción (Fig. 12-4).



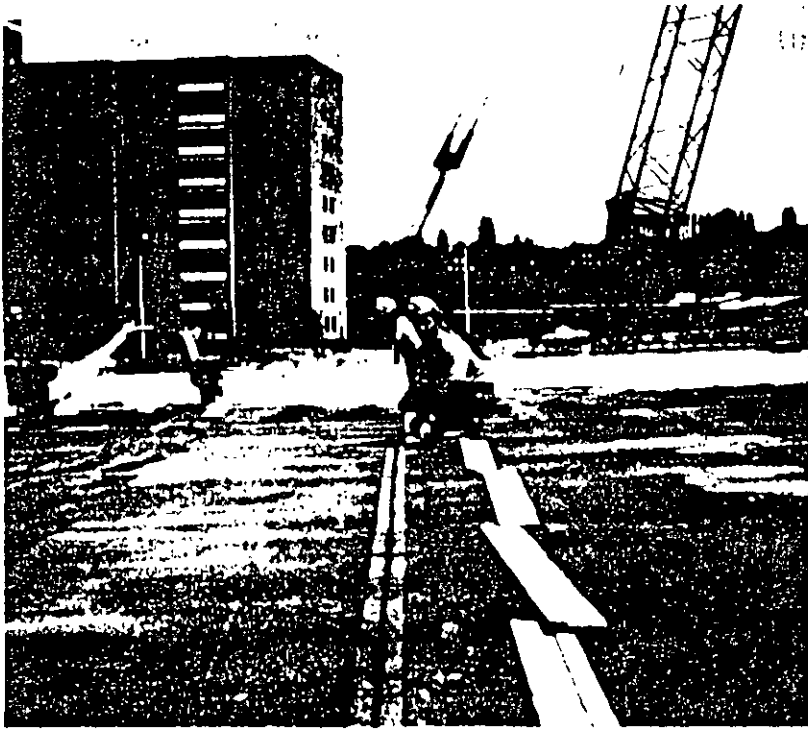


Fig. 12-4—En losas sobre el terreno, las juntas de contracción hechas con herramienta en el hormigón fresco, proporcionan un plano débil que evita el agrietamiento arbitrario causado por contracción de fraguado o cambios de temperatura.

Dependiendo del propósito de la junta, pueden especificarse diversos tipos de selladores o de protección armada. Corresponde al inspector verificar que el sellador, armadura, o material de expansión se coloque y trate en forma apropiada.

El vaciado del hormigón para la losa se tiene que planear en conjunto con la localización de las juntas. Mientras sea posible, las juntas de construcción deberán coincidir con las juntas planeadas.

Las juntas para el control de contracción de secamiento se aserran a menudo. Véase el Capítulo 13 sobre pavimentos, para las condiciones óptimas de aserrado exitoso de las juntas. Al construir losas sobre el suelo, hay que serruchar las juntas en por lo menos un quinto del espesor de la losa. Es muy importante que *no se coloquen juntas no especificadas en una losa estructural* sin la aprobación previa del calculista.

CAPITULO 13 — LOSAS DE PAVIMENTO Y TABLEROS DE PUENTE

Los pavimentos de hormigón varían en espesor desde losas relativamente delgadas, de 13 o 15 centímetros, utilizadas para tránsito de carga ligera en parqueaderos y algunas calles residenciales, pasando por losas más gruesas para carreteras y calles principales, losas para pavimentos interestatales diseñadas para soportar un tránsito vehicular de cargas pesadas, alta intensidad y alta velocidad, hasta llegar finalmente, a losas para pavimentos de aeropuertos que pueden tener hasta 70 centímetros de espesor y que están diseñadas para soportar aeroplanos con cargas brutas hasta de 340 000 kg. Todos estos tipos pueden carecer de refuerzo o tener únicamente acero de repartición; estar muy reforzadas, como en pavimentos de hormigón con refuerzo continuo, e inclusive estar preesforzadas.

En general, mientras mayor sea el espesor del pavimento o mayor la carga establecida, mayor será el costo por unidad de área y mayor la prioridad dada (y el dinero disponible) para la inspección, el ensayo y medidas sofisticadas de control de construcción. Este no es necesariamente un arreglo muy satisfactorio de prioridades. A menudo, un poco más de dinero empleado en la inspección y control de construcción de los pavimentos de tipo menor devolvería grandes beneficios en mejoramiento de la calidad y alargamiento de la vida útil de los pavimentos. Todas las actividades de control de construcción y la inspección deberán tener por meta producir un pavimento de rodamiento suave, con larga vida de servicio, capaz de resistir las cargas repetidas y el desgaste de tránsito y los efectos deteriorantes de la erosión natural; a menudo intensificados por productos químicos deshelantes, todo ello al menor costo posible.

El inspector (y el técnico de ensayos), ya estén empleados directa o indirectamente por el propietario para verificar inspección de calificación, ya por el contratista para efectuar inspección de control de calidad, tienen un papel importante en la construcción de pavimentos satisfactorios. Como con toda otra discusión de la inspección de hormigón, en este manual se hace mucho énfasis en que el inspector debe regirse estrictamente por los requisitos de las especificaciones del proyecto. Las instrucciones y discusiones de prácticas de pavimentación dadas acá tienen por objeto proporcionar antecedentes y servir como guía adicional en asuntos no cubiertos adecuadamente por las especificaciones.

Se hace aquí referencia a las publicaciones "Recommended Practice for Construction of Concrete Pavements and Concrete Bases" (ACI 316)¹, *Better Concrete Pavement Serviceability*², y *Roadway and Airport Pavements*³. También se puede encontrar información útil en las Referencias 74 y 85.

CIMENTACION (SUBRASANTE Y SUBBASE)

Un pavimento proporciona el rodamiento más suave cuando está nuevo. El grado de suavidad retenido depende, en gran parte, de la calidad de la cimentación. La gradación y compactación de la subrasante y la construcción de las capas de la sub-base deberán hacerse estrictamente de acuerdo con las especificaciones del proyecto.

Para pavimentos con volumen de tránsito bajo, tales como por ejemplo: calles residenciales y carreteras secundarias, a menudo se prescinde de sub-base para el pavimento de hormigón. El empleo de una sub-base con material selecto puede facilitar la construcción y su uso se permite a veces, a opción del contratista.

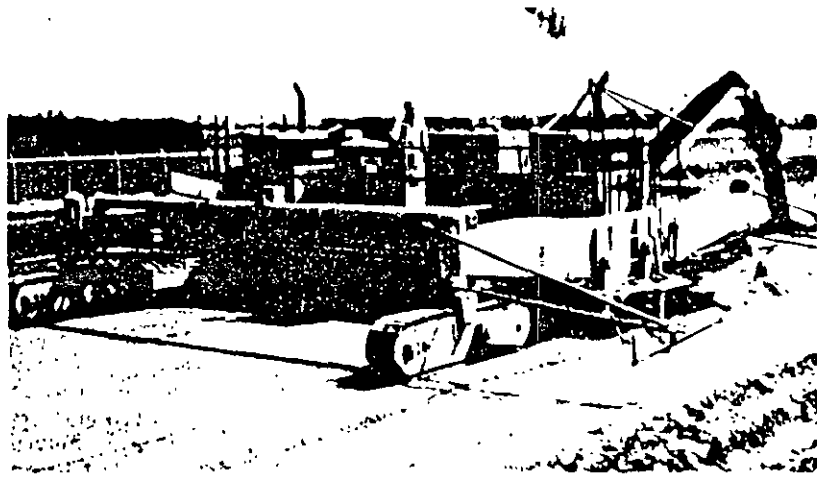


Fig. 13-1—Terminadora de subrasante operada automáticamente a partir de alambres guías, tanto en pendiente como en alineamiento.

Nivelación precisa de subrasante y sub-base

La nivelación precisa de pavimentos de hormigón formados con formaleta deslizante se hace casi siempre con máquinas que tienen artefactos automáticos de control de nivelación que operan a partir de líneas o alambres guías o de subrasantes adyacentes ya terminadas, con el nivel preciso (Fig. 13-1). En la práctica, se instalan primero los alambres de nivelación, con mediciones precisas tomadas a partir de las estacas de chaflán del ingeniero, y luego tomando vistas cuidadosamente a lo largo del alambre, para corregir las discrepancias, bien sea de medidas, bien de las estacas de chaflán.

En trabajos de pavimentación a base de formaleta fija, la nivelación de precisión se hace con máquinas operadas a partir de estacas de nivel o de las formaletas puestas.

El trabajo del inspector consiste en cuidar que con la nivelación de precisión se logre la altura correcta, tomando medidas desde una línea de control o una regla, con base en la elevación de las estacas de nivel. Una nivelación de precisión a la altura correcta, reducirá las pérdidas en rendimiento del hormigón y los conflictos sobre la profundidad del pavimento que siguen a la toma de núcleos.

Algunas veces se permite en las especificaciones que los vehículos de transporte de hormigón operen sobre la subrasante preparada. En tal caso, el inspector deberá cuidar de que se corrija cualquier deformación de la subrasante y se recompacte añadiendo agua en caso necesario, antes de vaciar el hormigón.

Base estabilizada

Algunos pavimentos de carreteras de tránsito pesado o de aeropuertos se colocan sobre una sub-base granular o un lecho de base estabilizado con la adición de materiales químicos estabilizantes, como por ejemplo: cemento, asfalto, cal o combinaciones de éstos. Es importante terminar tales bases al nivel exacto, dentro de las tolerancias especificadas, en el momento de la construcción original. Hay que evitar la manipulación excesiva de la superficie pues resulta en una capa superior debilitada, susceptible a erosión durante el servicio. Esto conduce a fallas en las juntas y a otros problemas del pavimento. Se encarece proteger de todo daño las bases estabilizadas, después de que se las coloque.

El equipo para colocar la capa de sub-base o la base debe tener control de nivelación automático. Una tolerancia superficial típica para bases estabilizadas por debajo de pavimentos de hormigón es de más o menos 6 milímetros cuando se verifica la operación con listones de 3 metros.

Al construir pavimentos de hormigón se está usando cada vez más una base de hormigón pobre, colocada por el mismo equipo que ya está en la obra. Normalmente, no deberá hacerse acabado a mano una vez pase la máquina pavimentadora. Sobre la superficie se rocía un compuesto de curado del tipo que forma membrana, a fin de mantener la humedad necesaria para la hidratación del cemento y romper la adherencia entre sub-base y pavimento. La sub-base de hormigón pobre deberá contener aire incorporado con fines de durabilidad. Hay que efectuar la fabricación y el ensayo de especímenes de prueba de resistencia, lo mismo que pruebas de hormigón fresco para propiedades tales como el contenido de aire y la consistencia, de la misma manera que para el pavimento de hormigón.

Independientemente del tipo proporcionado de subrasante, de sub-base, o de base, el requisito especial para el buen comportamiento de un pavimento de hormigón es la uniformidad de apoyo. Deberá hacerse un control cuidadoso de la uniformidad de materiales, de la compactación y del espesor de la base. La atención estrecha del inspector a estas características de las operaciones de prepavimentación pagará dividendos en los años por venir, en la forma de menores exigencias de mantenimiento y una vida más larga del pavimento.

FORMALETAS

En épocas pasadas, la construcción de pavimentos requería el uso de formaletas fijas para contener el hormigón en el carril de pavimentación. A finales de los años 50, se introdujo equipo de pavimentación de formaleta deslizante y su uso ha aumentado rápidamente hasta el punto de que un alto porcentaje de los grandes proyectos de pavimentación emplea hoy este método. En la pavimentación con formaleta deslizante, el hormigón es expulsado o formado por un equipo pavimentador con formaletas laterales móviles que moldean y retienen el hormigón plástico rígido por sólo algunos momentos, a medida que pasan. La pavimentación con formaleta fija se utiliza a menudo en pequeñas áreas de pavimentación que involucran hormigón colocado y terminado a mano y en algunas otras aplicaciones, como por ejemplo: pavimentación de calles o de rampas de ancho variable, en que la extensión y el acabado del hormigón se hacen con equipo montado sobre las formaletas. Las formaletas fijas se usan todavía en algunos trabajos grandes, pero su uso está declinando. Normalmente, las formaletas están hechas de acero y deben tener resistencia y rigidez adecuadas para soportar las máquinas de pavimentación sin que se produzcan deflexiones excesivas (Fig. 13-2). Las formaletas tienen que ser rectilíneas dentro de una tolerancia de 3 milímetros en 3 metros a lo largo del riel superior y de 6 milímetros en 3 metros a los lados; en cuanto a las destinadas a soportar equipo de pavimentación deben estar hechas en acero, con espesor no inferior a 7.9 milímetros (5/16 de pulg).

Normalmente las formaletas tienen profundidad igual al espesor del hormigón. Para áreas pequeñas de pavimento de espesor variable, se fabrican con tablas de madera con su ancho total, agarradas firmemente a la parte

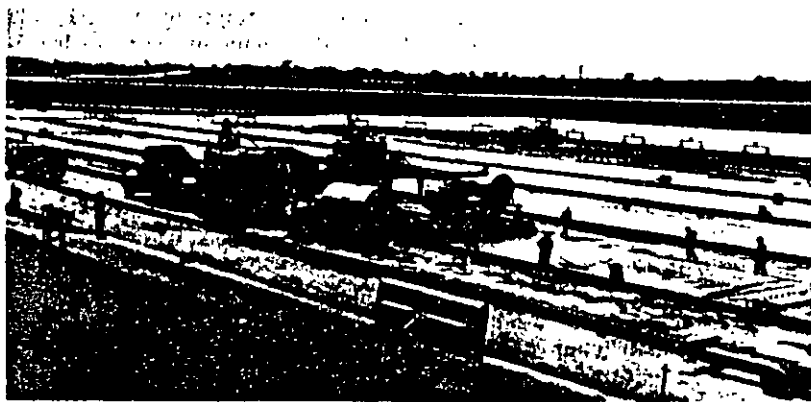


Fig. 13-2—Pavimentación de una pista de carreteo en un aeropuerto con carriles alternos. Los carriles intermedios se pavimentan después de remover las formaletas de los primeros.

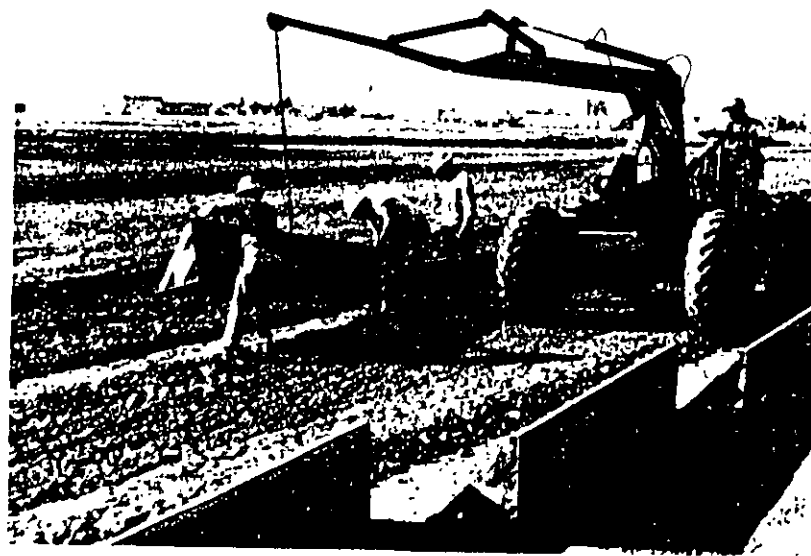


Fig. 13-3—Instalación de una formaleta para la pista de aterrizaje de un aeropuerto. La base ancha sirve para estabilizar la formaleta.

inferior, en tal forma que la profundidad no se aumente en más del 25 por ciento de la profundidad original de la formaleta. Está prohibido hacer añadidos en la parte superior de las formaletas. El ancho en la base de todas éstas debe ser por lo menos, 3/4 de la profundidad (Fig. 13-3). Hay que usar formaletas flexibles o curvilíneas en curvas con radios de 30 metros o menos.

Es imprescindible retirar del proyecto las formaletas dobladas, torcidas, o con abolladuras que no cumplan los requisitos anteriores, así como limpiar antes de usarlas, las formaletas oxidadas o que tengan pegostres de hormigón endurecido.

Las formaletas deberán anclarse al suelo en forma segura y estar en contacto completo en todos los puntos, así como rellenarse y recompactarse las depresiones en la base antes de volver a poner las formaletas. Jamás se ha de intentar rellenar y compactar las depresiones por debajo de las formaletas después que éstas estén en su lugar. Se proscribe el uso de aditamentos para corregir todo apoyo no parejo. Las formaletas han de tener la profundidad total del pavimento, y no colocarse nunca en depresiones con montículos para compensar la altura inapropiada. Las secciones lindantes de las formaletas deben enclavarse juntas estrechamente. También hay que hacer ajustes finales después de comprobar la nivelación a partir de las estacas de nivel y verificar la lisura con una regla. Finalmente, tiene que aceitarse ligeramente la cara interior de la formaleta, con anterioridad al vaciado del hormigón.

Formaletas endentadas

A menudo se requiere dejar uniones de caja y espiga para transferir la carga a través de las juntas longitudinales. Las formaletas destinadas a este fin deben estar unidas a las de pavimentación durante el vaciado del primer carril (o carriles) de hormigón. La otra mitad de la unión se forma en los carriles adyacentes o de relleno, a medida que el hormigón en ellos se moldea contra los de la primera colocación. La caja de la unión se forma casi siempre al vaciar el primer carril (o carriles), fijando una formaleta con aditamento de espiga al interior de las formaletas de pavimentación (Fig. 13-4). La primera debe fijarse firmemente a la formaleta de pavimentación para impedir movimientos. Por lo general, se exige soldarlas con soldadura de punto a las formaletas de acero. Las dimensiones y localización (centrada a mitad de profundidad de la losa) de la espiga son muy importantes y han de estar de acuerdo con las dimensiones mostradas. Cada espiga disminuye rápidamente en su efectividad a medida que se aparta de la localización y dimensionamiento requeridos. Es previsible que las espigas de madera al mojarse se hinchen y agrieten el surco donde encajan.

Línea guía

La línea o alambre guía para encauzar los artefactos de control automático en las pavimentadoras de formaleta deslizante deben colocarse cuidadosamente por lo que respecta a alineación y nivel y mantenerse suficientemente tenso para impedir que se deflece.

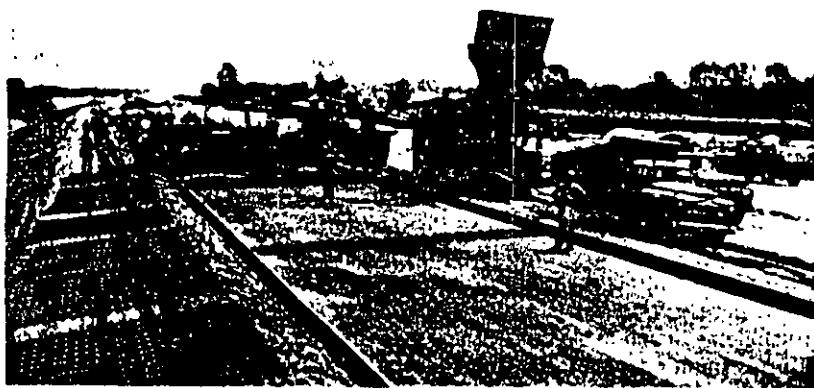


Fig. 13-4—Pavimentadora de formaleta fija con encofrado de lengüeta adosado al riel de la derecha. En primer plano se observan los pasadores para una junta de expansión.

ACERO DE REFUERZO

Se utiliza acero de refuerzo de repartición, generalmente malla de alambre soldado, cuando se pavimentan en hormigón áreas con alta tendencia al agrietamiento. Se da el nombre de acero de repartición al acero de refuerzo que se utiliza en cantidad mínima para asegurar un contacto íntimo entre las caras adyacentes de la losa en las grietas, sin que tenga esencialmente otra función estructural. El área de la sección transversal de este acero es, por lo general, 0.05 por ciento del área de la sección transversal del hormigón. El propósito de este acero es conservar todas las grietas lo más cerradas que sea posible de manera que la trabazón del agregado proporcione la transferencia de cargas en estos sitios. Normalmente, se construyen juntas de contracción transversal, a intervalos lo bastante próximos para prevenir el agrietamiento transversal, en cuyo caso no se proporciona acero de refuerzo de repartición, exceptuando las losas de formas raras y las áreas en que las juntas no están bien empatadas. Se utilizan altos porcentajes de acero de refuerzo en losas estructurales y en pavimentos de hormigón reforzado continuamente (PIIRC). El acero de refuerzo viene en forma de malla de alambre soldado (liso o deformado), de rejillas de barras o de barras separadas.

La oxidación ligera del acero de refuerzo no es perjudicial y, en realidad, mejora la adherencia con el hormigón. Si el óxido es tan profundo que reduce la sección transversal del acero, hay que reemplazar el refuerzo. Un criterio común es que el óxido debe quitarse si se desprende un poco al frotarlo con arpillera. Cuando se descarga y apila, el acero necesita protección contra la oxidación sólo en el caso de almacenamiento por largo tiempo. En estos casos, la protección contra el óxido se proporciona colocando el acero sobre una capa de láminas de polietileno y cubriendo la pila con el mismo material.

Hay varios métodos para instalar el refuerzo de acero en el pavimento. Uno consiste en construir dos capas; la primera se enrasa a la profundidad especificada del acero, luego se coloca éste sobre el hormigón, y finalmente se vacía la capa superior del hormigón, haciéndolo antes que la inferior empiece a endurecerse o de lo contrario resulta una junta fría que puede conducir a que el pavimento falle.

Otro método consiste en poner el acero sobre sillas fabricadas (apoyos), clavadas en la base con anterioridad a la pavimentación. El hormigón se vacía, entonces, en su profundidad total, de una sola pasada.

Un tercer método es el de colocar el hormigón en todo su espesor, poner el acero sobre la superficie, y luego empujarlo hasta que quede en la posición especificada mediante una máquina aparte.

Si los planos sólo exigen barras longitudinales de acero cuando se está construyendo pavimento de hormigón, reforzado continuamente, a menudo las barras requeridas se ensamblan sobre la base y se proveen a la losa por medio de tubos en forma de campana que se fijan al frente de la pavimentadora. Los tubos se ajustan para guiar las barras al espaciamiento y elevación correctos en el pavimento terminado.

Nunca debe colocarse el acero de refuerzo, bien sea de mallas de alambre soldado o de barras de refuerzo, directamente sobre la subrasante para intentar halarlo en posición después de vaciado el hormigón.

Independientemente del método usado para la colocación del acero de refuerzo, el inspector tiene que sondear el hormigón fresco tras del paso de la pavimentadora para verificar que el acero quede en su justa posición dentro de las tolerancias prescritas.

HORMIGON

Materiales

El cemento deberá suministrarse a granel, y cada envío revisarse para asegurar que cumple con las especificaciones del proyecto.

Es necesario mantener control estrecho sobre los agregados para garantizar que cumplen las especificaciones del proyecto. La variación en gradación de los agregados puede hacer muy difícil mantener uniforme la consistencia del hormigón. En muchas áreas, los agregados gruesos, en particular las gravillas, contienen cantidades significativas de materiales que resultan inestables cuando se someten a congelación y descongelación e inclusive a mojado o secamiento. Cuando se utilizan en hormigón de pavimento sometido a clima severo, estas partículas inestables pueden causar reventones en la superficie del pavimento. Esto es indeseable, especialmente en pavimentos de aeropuertos para aviones a chorro. La succión y las ráfagas de aire causadas por los motores de dicho tipo de avión recogen las partículas sueltas de la superficie y a menudo las chupan dentro de los motores donde pueden causar gran daño. Para estos pavimentos, las especificaciones del proyecto pueden tener límites muy estrechos sobre tales materiales dañinos.

Otro problema de agregados peculiar a los pavimentos es el "agrietamiento en d". Algunas calizas impuras causan grandes problemas cuando se utilizan como agregado grueso en hormigón de pavimento. Las partículas de agregado son inestables y a medida que se deterioran se forma un patrón de grietas progresivo, aproximadamente paralelo a los bordes y juntas del pavimento. La medida común utilizada para minimizar o prevenir el problema cuando es preciso utilizar tales agregados gruesos consiste en limitar su tamaño máximo a 13 o 19 milímetros y usar un porcentaje extremadamente bajo de agregado grueso, a lo más de 40 a 50 por ciento.

Los aditivos que se emplean en hormigón de pavimentos son los siguientes:

Agentes incorporadores de aire—Utilizados en la mayoría de los hormigones de pavimento, aun en climas moderados.

Retardadores—Utilizados especialmente en clima cálido.

Reducidores de agua—De uso muy común.

Cloruro de calcio—Utilizado a veces en hormigón de pavimentos construido en clima frío. Sin embargo, la mayoría de las especificaciones desestiman e inclusive prohíben su uso.

Mezclas y su dosificación

Las mezclas para hormigón de pavimento deben dosificarse de acuerdo con la última edición de la publicación "Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete", (ACI 211.1).

La resistencia a flexión es comúnmente la base para establecer dosificaciones de mezcla y determinar la calidad del hormigón de pavimentación puesto que en ellas se basa el diseño del espesor del pavimento. Sin embargo, en proyectos más pequeños se utilizan a menudo los cilindros para determinar la resistencia a compresión como método de control. En cualquier caso, se prescribe seguir estrictamente los procedimientos para la toma de muestras y su correspondiente ensayo si se desea que éste sea significativo. Es de particular importancia proteger la superficie superior de las vigas de ensayo para evitar su secamiento, que puede producir resistencias aparentes más bajas.

Dosificación y amasado

En épocas anteriores, para las operaciones en trabajos grandes de pavimentación, los materiales del hormigón se dosificaban en una planta central, luego se transportaban al sitio de pavimentación, y se amasaban en hormigoneras de pavimentar que operaban adyacentes al lugar de vaciado. Todavía se usa este sistema, pero está siendo reemplazado rápidamente por la producción de hormigón en planta central. Entonces, el hormigón de pavimento se dosifica y amasa en una de estas plantas, bien sea la propia del contratista, armada en el sitio de trabajo para proyectos grandes, o cerca de él, o en una planta de hormigón premezclado comercial cuando se trata de proyectos más pequeños. El hormigón se amasa en hormigoneras estacionarias de la planta central, en camiones para amasado en tránsito durante el viaje al sitio de pavimentación, o en un sistema mixto (el amasado se inicia en la planta central y se termina en hormigoneras de camión).

El hormigón amasado en central se transporta en camiones agitadores, camiones de hormigón premezclado, camiones especiales no agitadores, y a veces, cuando se utilizan mezclas bien proporcionadas de asentamiento bajo, camiones regulares de volteo. A menudo se especifican límites de tiempo para la entrega, permitiendo mayores plazos para las unidades agitadoras y hormigoneras de camión. Sin embargo, lo importante es la condición del hormigón en el momento de colocarlo, pues entonces debe cumplir todos los requisitos en materia de dosificación, uniformidad, consistencia, temperatura, contenido de aire, y resistencia.

El inspector deberá estar alerta para los cambios visuales en el hormigón y en sus características de manejo indicadores de cambios significativos en estas propiedades. Si hay variaciones entre las coladas, ocurrirá asentamiento diferencial durante el endurecimiento y esto puede producir un pavimento áspero.

Habrà que hacer ensayos de uniformidad si están especificados, o si hay dudas en cuanto a la uniformidad dentro de la tanda del hormigón. En estos

ensayos se toman muestras de hormigón de la primera y de la última porción de la tanda y se prueban siguiendo lo descrito en la norma ASTM C 94 o como se especifique en cualquier otra parte. Véase el Capítulo 19.

Una de las responsabilidades más importantes del inspector (o técnico de ensayos) radica en asegurar que el hormigón contiene el porcentaje especificado de aire incorporado y es de la consistencia apropiada (asentamiento). En áreas donde el hormigón pueda estar sometido a congelación y descongelación y a sales para deshelar, la cantidad apropiada de aire incorporado es esencial para la durabilidad. En todos los climas, la incorporación de aire mejora la manejabilidad del hormigón y reduce su exudación. Únicamente se usarán equipos de ensayo y procedimientos debidamente especificados para la aceptación o rechazo del hormigón.

El asentamiento del hormigón es importante puesto que la variación que haya en él afectará la operación del equipo de terminación. Esto es particularmente cierto en el caso de pavimentación con formaleta deslizante. A menudo, las especificaciones limitan el asentamiento del hormigón para pavimentación con formaleta fija a un máximo de 50 mm y para pavimentación con formaleta deslizante, a 38 mm.

Colocación del hormigón

Con el fin de proporcionar humedad que posteriormente ayude en el proceso de curado del hormigón, y coadyuve a mantener bajas las temperaturas del hormigón en días cálidos, deberá humedecerse la base, pero sin que haya agua libre de exceso cuando se coloca el hormigón. Este tiene que ponerse en forma pareja a través del ancho del carril. Si se procede a hacerlo en pilas o hileras ocurrirá una compactación muy dispareja del hormigón productora de un pavimento áspero. No se permitirá que circule equipo de transporte de hormigón sobre la subrasante preparada en el carril que está siendo pavimentado, especialmente cuando ella es demasiado blanda para soportar las unidades de transporte del hormigón sin sufrir deformaciones. En los casos en que el transporte sobre la base preparada esté prohibido por las especificaciones, se utiliza a menudo equipo de transferencia consistente de extendedores de banda o tolvas móviles, con el fin de transferir el hormigón desde los camiones colocados en la berma hasta el frente de la pavimentadora. En algunos pavimentos, la subrasante o la capa de base se estabilizan con aditivos químicos (cal, cemento, asfalto, etc.) y en este caso se permite que el equipo de transporte transite por el carril que se está pavimentando y que descargue el hormigón inmediatamente al frente de la pavimentadora.

PAVIMENTACION

Vibración

Una vibración adecuada es esencial para que la pavimentación resulte exitosa. Esto se logra a menudo mediante una combinación de vibradores in-

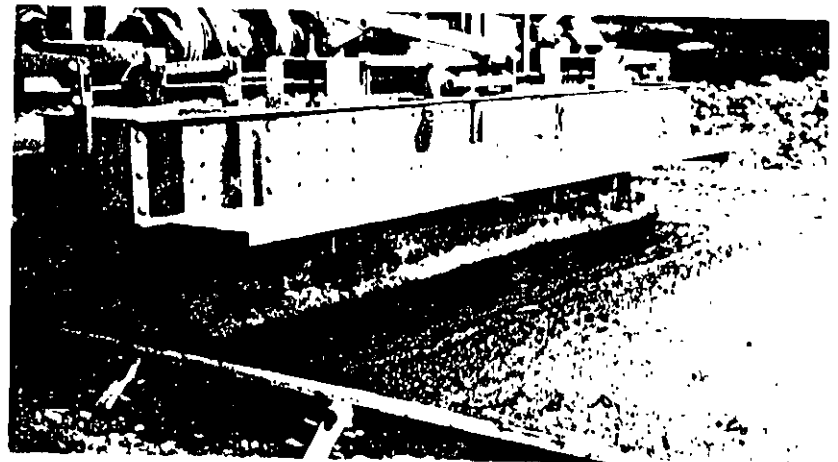
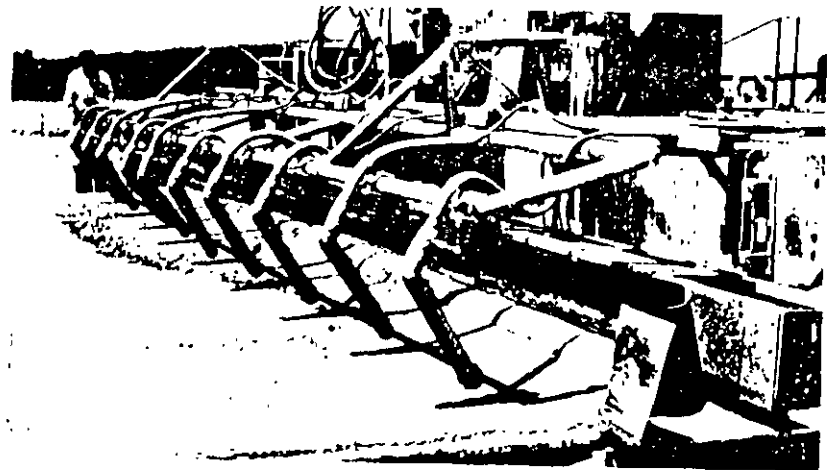


Fig. 13-5—Vibradores montados en la pavimentadora: (arriba) batería de cabezas vibratoras, (abajo) vibrador superficial tipo cazuela.

ternos de inserción y de barras golpeadoras de superficie (Fig. 13-5), que deberán montarse rígidamente al frente de la pavimentadora de manera que todos queden a la misma profundidad y ángulo. Los vibradores de inserción se orientan, por lo general, paralelamente a la dirección longitudinal de la pavimentación y se localizan a intervalos de no más de 60 a 65 cm a todo lo ancho de la pavimentadora. Sin embargo, a veces resulta ventajoso orientarlos transversalmente cuando se trabaja con mezclas rígidas pobres como las que se utilizan en las sub-bases de hormigón. Por lo general, se especifica

una frecuencia mínima y la frecuencia real debe medirse mediante un tacómetro, para asegurar el acuerdo entre ambas. También, frecuentemente, se especifica la amplitud mínima.

Es indispensable proporcionar medios para variar la frecuencia y profundidad de los vibradores, de acuerdo con la consistencia del hormigón, materiales, condiciones de clima y otras variables, así como mantener una cantidad apreciable de hormigón sobre las vibradoras para lograr compactación efectiva. Habrá trabazones internas para la suspensión automática de la vibración cuando se detenga el movimiento de la pavimentadora.

Pavimentadora

Además del vibrador en serie, la pavimentadora debe tener un esparcidor colapsable al frente de la máquina con el fin de que extienda el hormigón uniformemente a través del carril, con la superficie ligeramente por encima de la rasante terminada. El esparcidor es usualmente del tipo de paleta o de barrena.

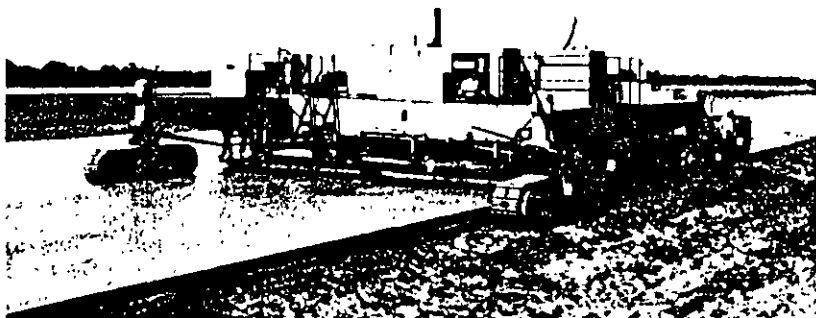


Fig. 13-6—Pavimentadora de formaleta deslizante guiada por palpadores de alambre.

Las pavimentadoras de formaleta deslizante son autopropulsadas y marchan sobre pistas de orugas que están por fuera del carril de pavimentación. Las pavimentadoras de formaleta deslizante varían en tamaño, desde las diseñadas para construcción de andenes y cunetas hasta las que pavimentan 15 metros de una sola pasada. Producen espesores desde 5 centímetros en proyectos de repavimentación de la capa de rodadura hasta 50 centímetros o más en pavimentos de aeropuertos. Pueden ser lo suficientemente pequeñas como para que se las traslade intactas varias veces al día en proyectos



Fig. 13-7—Máquina extendidora y terminadora apoyada a la izquierda en el carril pavimentado previamente y a la derecha en el riel formaleta. La subbase se humedece delante de la extendidora.

municipales de pavimentación, o tan grandes que pavimenten varias millas de carretera interestatal en un solo día. Las pavimentadoras de formaleta deslizante están equipadas con sensores e instrumentos eléctricos o hidráulicos que controlan automáticamente el nivel a partir de líneas o alambres-guía (Fig. 13-6). Sin embargo, si se ha usado un control similar en la nivelación final de la base preparada, resultarán pavimentos más suaves y un mejor rendimiento del hormigón cuando la pavimentadora se referencia a partir de dicha base.

Algunas pavimentadoras de formaleta deslizante están equipadas con alisadoras transversales oscilantes para enrasar y acabar la superficie de hormigón. Otras lo hacen por extrusión para formar la superficie de hormigón y tienen formaletas móviles laterales que confinan el hormigón y moldean los bordes del pavimento.

Con buena dosificación del hormigón, las pavimentadoras de formaleta deslizante harán extrusión de bordes exactos en espiga y surco en caso de que se planeen carriles adicionales; además, pueden instalar barras de acero de refuerzo (barras de enlace) a la posición especificada, pero no, en forma apropiada, las barras transversales de trabazón de las juntas longitudinales de construcción, en el hormigón plástico.

El derrumbamiento o asentamiento del borde (escurrimiento del hormigón plástico en el borde del pavimento) pueden ocasionar problemas en pavimentaciones con formaleta deslizante, sobre todo en las juntas de construcción longitudinales cuando se va a añadir posteriormente otro carril. El asentamiento excesivo del borde se corrige ajustando las partes móviles de la pavimentadora para que aprieten un poco más, y variando la consistencia y dosificación de la mezcla de hormigón, en particular, mediante

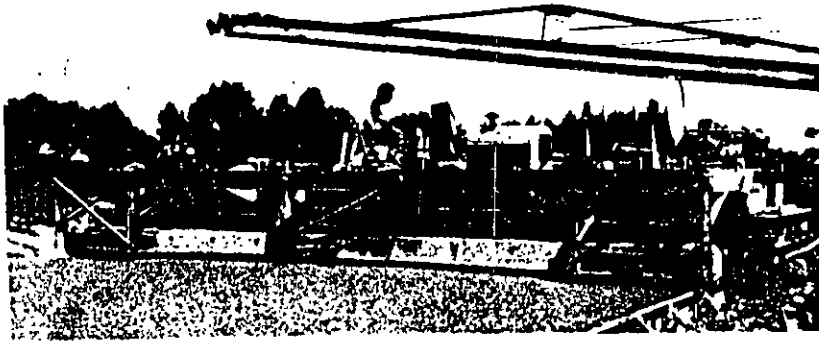


Fig. 13-6—Una maestra oscilante, fijada a la extendidora de hormigón, produce el bombeo especificado en la superficie pavimentada.

cambio del contenido de arena. Comúnmente se utiliza un límite de 6 milímetros para el asentamiento máximo permisible del borde.

Las pavimentadoras que utilizan formaleta fija son autopropulsadas y viajan sobre la parte superior de las formaletas, con ruedas en las aletas, o sobre la losa del pavimento adyacente con llantas de caucho duro (Fig. 13-7). La mayoría de las pavimentadoras de formaleta fija están equipadas con alisadoras transversales oscilantes que enrasan y terminan el hormigón (Fig. 13-8). Algunas tienen dispositivo de extrusión. Todas las ruedas que marchen sobre las formaletas deberán estar equipadas con raspadoras, ajustables contra las ruedas, para mantener libres de hormigón tanto a éstas como a la parte superior de las formaletas.

Un factor muy importante para tener éxito en la pavimentación, especialmente en la hecha con formaleta deslizante, es la uniformidad del hormigón. El trabajo del inspector radica no sólo en hacer ensayos, sino en asegurar que el hormigón sea aceptable y uniforme. Las pruebas son una de sus herramientas; pero el estar alerta a cualquier cambio en las condiciones, con observaciones basadas en la propia experiencia, proporcionan la seguridad de que se obtengan los resultados deseados. Aunque el uso del equipo apropiado de pavimentación con formaleta deslizante es de por sí garantía de calidad, la percepción y el estado de alerta del inspector son necesarios para asegurar la calidad del pavimento de hormigón. Es por medio de la experiencia como el inspector llegará a entender las sutiles relaciones entre la dosificación de la mezcla e ítems tales como el terminado y la comodidad de rodamiento del pavimento, lo mismo que la relación existente entre el asentamiento del hormigón y el asentamiento del borde.

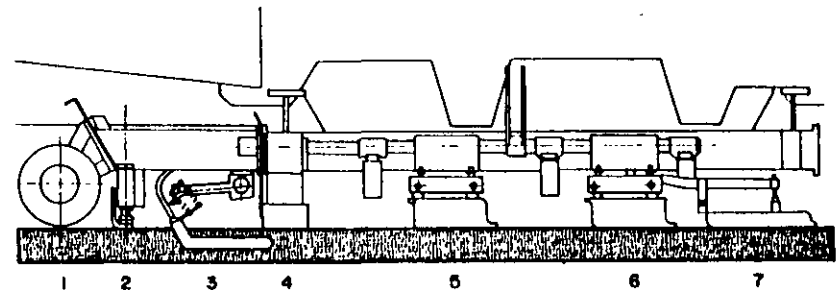
Terminado

Las operaciones de terminado mecánico tras el paso de la pavimentadora incluyen el uso de alisadoras transversales anchas, rodillos, y alisadoras de

tubo no rotativas operadas en ángulo con la línea central del carril. El uso de alisadoras de tubo tipo rotatorio, y de alisadoras Clary es, por lo general, indeseable porque producen demasiado mortero en la superficie.

Las operaciones de terminado a mano, una vez pasa la pavimentadora, incluyen alisado ocasional con alisadoras de mango largo y listones, formación de bordes y corrección de defectos superficiales menores.

Las pavimentadoras modernas están diseñadas para producir pavimentos de sección transversal y calidad de rodamiento especificadas, con un mínimo de terminado a mano. Los vibradores, alisadoras de conformación, sistemas de extrusión y las alisadoras de cazuela deben ajustarse rápidamente para regular la cantidad de hormigón que sale por detrás de la pavimentadora, de manera que la superficie terminada quede a la elevación y con el bombeo prescritos (Fig. 13-9). Ajustes de cambio rápido en las alisadoras y pulidoras mecánicas permiten cambios suaves en el bombeo cuando sea necesario.



- | | |
|--|--|
| 1. Extendidora de hormigón, de tornillo y 7.32 m (24 pies) de longitud | 5. Terminadora primaria, oscilante, del hormigón expulsado |
| 2. Dosificador primario de alimentación del hormigón. | 6. Terminadora final, oscilante, del hormigón expulsado. |
| 3. Área de montaje de vibradores | 7. Terminadora final, con llana, de la superficie; 7.32 m (24 pies). |
| 4. Dosificador secundario de alimentación del hormigón | |

Fig. 13-9—Componentes de pavimentadora de formaleta deslizante, en que el hormigón sale a presión con el ancho, espesor y bombeo exactos.

Aunque las emparejadoras y llanas estén inicialmente en ajuste correcto, se requerirán algunos cambios a medida que progresa el trabajo. El inspector debe estar alerta sobre los cambios de clima, dosificación de la mezcla y otras variables que pueden afectar las características del terminado del hor-

migón. Si la superficie empieza a agrietarse, por ejemplo, es aconsejable utilizar alisadoras manuales para cerrar la superficie, pero en todo caso deberá corregirse inmediatamente la condición, ajustando la pavimentadora o la dosificación de la mezcla de hormigón (para obtener manejabilidad adecuada), de manera que se reduzca o elimine el trabajo manual.

El acabado excesivo, ya sea mediante equipo mecánico o a mano, crea una capa débil en la superficie del pavimento que tiende a deteriorarse por la acción del tránsito y de la intemperie. Hay que evitar sobre todo la adición de agua durante el terminado a mano, puesto que esta práctica literalmente lava el cemento y el aire atrapado, sacándolos de la capa superficial.

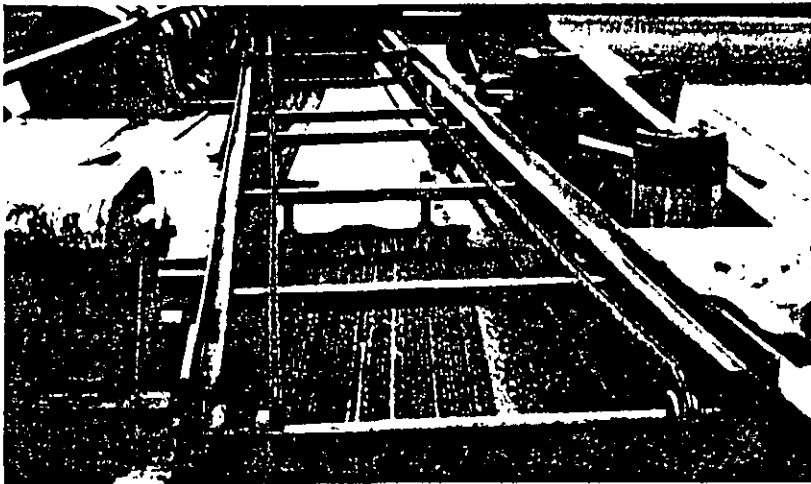


Fig. 13-10—Máquina productora de una textura burda en el hormigón recién pavimentado.

Durante la terminación, sólo se necesita añadir agua a la superficie en casos de emergencia, como por ejemplo, cuando condiciones de secamiento rápido causan agrietamiento de la superficie y la formación de grietas de contracción plástica; en tal caso, se requiere que la adición del agua sea en la forma precisa de rocío de niebla a presión, y sólo en la cantidad necesaria para restablecer el brillo de la superficie. Las boquillas que gotean, los tubos que dejan escapar agua y otros defectos similares en el sistema, exigen pronta reparación.

En temperaturas bajo cero, es esencial contar con un buen sistema de aire incorporado en la superficie. El controlar estrechamente el contenido de aire y el evitar el exceso de terminación tras el paso de la pavimentadora, ayudarán a prolongar la textura contra patinaje proporcionada durante la construcción.

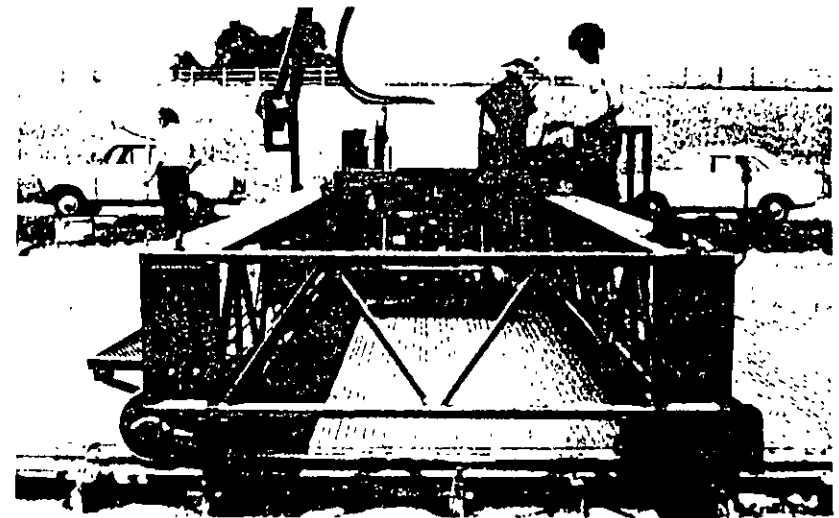


Fig. 13-11—Máquina formadora de surcos en una superficie de hormigón recién pavimentada.

Textura

Los dos factores principales que afectan la resistencia inicial al patinaje, del pavimento de hormigón son: el agregado fino en el mortero superficial y la textura formada en la superficie.

Es menester que el agregado fino tenga alto porcentaje de partículas silíceas, y que la proporción de agregado fino en la mezcla de hormigón esté cerca del límite superior del intervalo que permite acabado, terminado y texturización apropiados.

La textura superficial determina qué tan rápido escapa el agua atrapada entre la llanta y el pavimento, y también qué tan rápido drena el agua de la superficie durante la lluvia. El agua presente en el pavimento puede resultar en pérdida de contacto entre éste y la llanta, causando pérdida del control de dirección del vehículo y patinamiento. Este fenómeno, conocido como hidroplaneo, ocurre durante el viaje a alta velocidad, cuando la capa de agua sobre la superficie está en un nivel crítico en relación con la velocidad del vehículo.

Para pavimento de lotes de estacionamiento y de calles de baja velocidad, es posible obtener textura adecuada, mediante el arrastre de una arpillera sobre el hormigón plástico. Tiene que procurarse que haya por lo menos un metro (aprox. 3 pies) de arpillera en contacto con la superficie, a todo lo ancho del pavimento. La operación debe iniciarse tan pronto como sea posible después del paso de la máquina terminadora, y ciertamente antes que el brillo del agua haya desaparecido de la superficie del pavimento. Tam-

bién se logra una buena textura en el caso de pavimentos de baja velocidad utilizando cepillos de cerdas rígidas. Estos se arrastran transversalmente a través del pavimento en un momento en que no causen desgarramiento excesivo, y pueden ser manuales o estar adosados a una máquina mecánica (Fig. 13-10).

Para pavimentos de alta velocidad es posible que una textura obtenida mediante el arrastre de arpillera no proporcione en sí misma resistencia adecuada al patinaje. Un método utilizado para producir textura más profunda emplea peines con dientes de alambre que, al formar mecánicamente surcos en la superficie, permitan un drenaje más rápido y un mejor contacto de la máquina con el pavimento (Fig. 13-11). Los surcos pueden ser, ya transversales, ya longitudinales. Si los primeros proporcionan mejor drenaje, los segundos son más silenciosos. El espaciamiento de los surcos deberá promediar, aproximadamente, entre 13 y 19 milímetros para carreteras. Espaciamientos más amplios, de hasta 5 centímetros o más, son satisfactorios en pavimentos de aeropuerto. Los surcos para carreteras están cerca de los 3 milímetros de ancho y otros tantos de profundidad. Las profundidades del surco y los anchos para aeropuertos van hasta 5 milímetros. El tiempo adecuado para formar los surcos en el hormigón plástico es extremadamente crítico, y se necesita, para efectuar esta operación, que haya un operador experimentado.

Un método alternativo de hacer surcos en el pavimento de hormigón consiste en aserrar los surcos después que se haya endurecido el hormigón, utilizan-

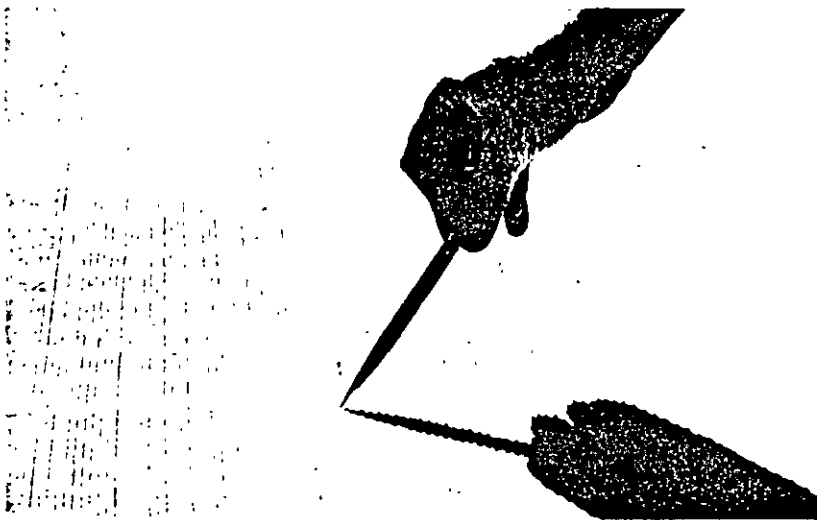


Fig. 13-12—Surcos antideslizantes aserrados en un pavimento de hormigón endurecido, mediante cuchillas múltiples de punta de diamante.

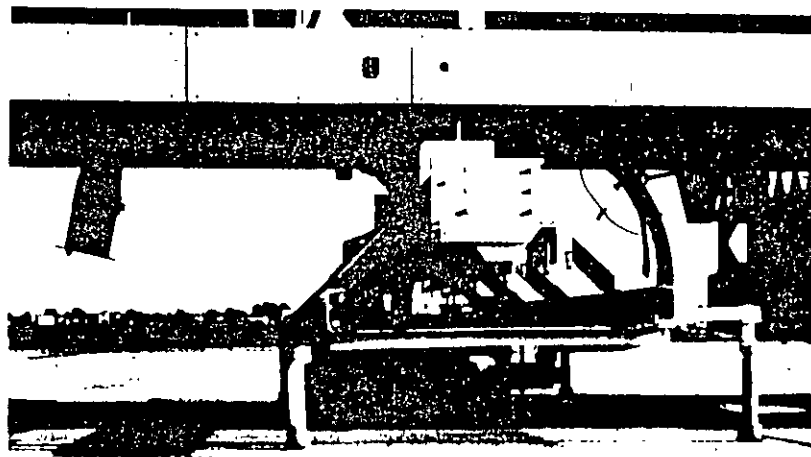


Fig. 13-13—Máquina productora de surcos en pavimento de hormigón endurecido.

do máquinas equipadas con cuchillas múltiples de punta de diamante. (Fig. 13-12). Los surcos proporcionan una trayectoria de escape para el agua entre la rueda y el pavimento y previenen así el hidropinaje. El aserramiento de surcos en la dirección longitudinal mejora el control direccional de los vehículos y se hace a menudo en las carreteras, especialmente en las curvas. Esta práctica ha reducido dramáticamente los accidentes por patinamiento en tiempos húmedos. El aserramiento transversal de los surcos eleva el coeficiente de fricción a mayor grado y se hace con frecuencia en sitios en donde son comunes las paradas o las reducciones de velocidad. Los surcos en las pistas de aeropuerto se sierran transversalmente (Fig. 13-13).

La producción de una textura superficial satisfactoria que dure bajo el tránsito depende de que se pongan en vigencia altos estándares durante el proceso constructivo. El uso de materiales de alta calidad, el control cuidadoso de la dosificación de la mezcla, los métodos de construcción que producen una superficie de pavimento durable, y un curado adecuado son todas condiciones necesarias.

Curado

La importancia de un curado adecuado para lograr las propiedades prescritas del hormigón se aplica especialmente al material para pavimento, y resulta esencial para obtener los niveles de resistencia y durabilidad del hormigón según los cuales se diseñó el pavimento.

El modo más común de curado de los pavimentos de hormigón recurre al rocío sobre ellos de un compuesto líquido formador de membrana. El cubrimiento deberá ser completo, pero no requiere atención posterior durante

el período de curado, excepto el de volver a rociar las áreas donde la membrana se ha dañado por el tránsito de la construcción.

Los compuestos de curado para pavimentos contienen generalmente pigmento blanco para indicar cuando está completo el cubrimiento y reducir las temperaturas del hormigón mediante la reflexión de la luz solar. A fin de asegurar la dispersión uniforme del pigmento, se requiere agitarlo tanto antes como durante su aplicación.

Las aspersoras motorizadas son muy útiles cuando se trata de aplicar los compuestos de curado a la superficie y a los bordes expuestos. Si se utilizan formaletas fijas, la aplicación a los bordes debe hacerse tan pronto como se remuevan aquellas. Hay necesidad de rociar todas las superficies de hormigón expuesto tan pronto como se complete la textura del pavimento.

La tasa especificada de aplicación del compuesto de curado varía con el tipo de pavimento y la textura superficial. Usualmente se aplica una capa doble con la tasa de aplicación para cada capa variable entre 2 y 3 m²/litro (aprox. 300 y 400 pies²/galón); se vierten capas ligeramente más gruesas cuando la superficie tiene textura fuerte. El inspector deberá verificar la cantidad realmente aplicada. Es preciso que se disponga de medios de protección contra pérdida de líquido a causa del viento.

Otros métodos de curado del pavimento de hormigón incluyen papel impermeable, hojas plásticas o arpillera húmeda. Todos requieren atención constante durante el período especificado de curado. Las cubiertas impermeables son difíciles de mantener en su sitio en los días ventosos y deben verificarse constantemente para que resulte un curado apropiado. Hay que mantener las cubiertas de arpillera constantemente húmedas durante el período de curado; esto requiere atención cuidadosa y aplicaciones repetidas de agua. Todos los métodos que empleen cubiertas sueltas requieren tener grandes cantidades de materiales a mano para trabajos de producción grandes, como aquellos que dan en promedio un kilómetro y medio o más por día.

ACEPTACION

Los requisitos para la aceptación final contenidos en las especificaciones referentes a pavimentos de hormigón varían lógicamente con la clase de proyecto de que se trate. Es más importante pagar por mejores especificaciones y poner en vigor tolerancias más estrechas cuando se trata de la pista de un aeropuerto principal que en el caso del pavimento de una calle residencial.

Un requisito común es el de la resistencia, que se determina por medio de vigas o cilindros fundidos con el hormigón que está siendo vaciado (véase el Capítulo 19). Otro es el espesor de la losa, determinado por medio de núcleos extraídos del hormigón endurecido. Los planes especificados de muestreo varían con el tipo y volumen de tránsito que el pavimento vaya a servir. En el caso de grandes proyectos se establecen planes sofisticados basados estadísticamente. En proyectos pequeños, el comportamiento en el pasado puede ser la base de aceptación.

Puede especificarse uniformidad de la superficie para pavimentos que sirven grandes volúmenes de tránsito de alta velocidad. Esta se determina a menudo midiendo las desviaciones verticales de hormigón endurecido desde el lado inferior de una regla de 3 metros. Cada vez se usan más los medidores de perfil, que son artefactos sobre ruedas que miden las desviaciones superficiales en centímetros por kilómetro. Cuando los resultados de los medidores de perfil son base de las especificaciones del pavimento, los contratistas tienen que utilizar un medidor de perfiles para verificar la superficie de la sub-base antes que se inicie la pavimentación. La uniformidad del pavimento se considera, por lo general, aceptable para tránsito de alta velocidad, si las desviaciones verticales, medidas a partir del borde inferior de una regla de 3 metros, no exceden de 3 milímetros. Es preciso que esta herramienta se verifique mediante un cordón que asegure su rectitud, y que al usarla se levante y baje sobre el hormigón plástico a intervalos que no excedan la mitad de su longitud. También puede utilizarse como herramienta de terminación a fin de eliminar las partes altas y llenar las bajas cuando sea necesario.

La uniformidad del pavimento es condición estricta en autopistas y pistas de aeropuerto. Las especificaciones pueden ser menos severas en pavimentos de baja velocidad como, por ejemplo, rampas de intersección, calles residenciales, lotes de estacionamiento, y sitios de parqueo en los aeropuertos, en donde la uniformidad es más difícil de lograr y no es tan importante. En tales casos, a menudo, se especifican tolerancias de 5 o 6 milímetros por cada 3 metros.

Otro requisito que se está poniendo en vigor cada vez más a menudo en pavimentos de alta velocidad es la profundidad de textura promedio como indicación de la resistencia al patinaje. Esta se determina extendiendo un volumen conocido de arena fina seca sobre la superficie del pavimento en un área circular y midiendo el área cubierta. El ensayo se describe en la Referencia 86.

Es preciso seguir al pie de la letra los métodos de muestreo y de ensayo especificados para determinar estas propiedades del pavimento de hormigón, con el fin de asegurar un tratamiento justo a todas las partes involucradas y evitar disputas legales costosas.

Un factor final que debe considerarse en la aceptación final del proyecto es el referente a la limpieza de todos los residuos de la construcción.

JUNTAS

Al construir separadamente pavimentos adosados es importante que las superficies de éstos no se escurran por los bordes. Los ajustes cuidadosos del equipo y de la dosificación de la mezcla de hormigón son de aplicación estricta para lograr la tolerancia superficial especificada en la proximidad de los bordes del pavimento. Sin embargo, ésta puede lograrse con mucha atención y buena cooperación entre todos los que tienen que ver con ella.

Con una regla se puede comprobar el cumplimiento de las tolerancias superficiales en las juntas de construcción longitudinales.

Para construir una junta que funcione en forma apropiada es necesario entender el propósito que con ella se busca. Los ingenieros de diseño de pavimentos han elaborado cuidadosamente varios tipos diferentes de juntas, cada uno de los cuales intenta servir una función especial en el pavimento. El no construir estas juntas como se indica en los planos, y en las localizaciones apropiadas, dará origen a problemas.

Juntas de contracción

El pavimento de hormigón normal se encoge al endurecerse y secarse y nunca tendrá la misma longitud (ni ocupará el mismo volumen) que recién construido. Esto causa agrietamiento, en particular, agrietamiento transversal por los largos carriles de pavimentación que se usan normalmente. Las juntas de contracción son planos que se debilitan a propósito para predeterminar los sitios de ocurrencia de las grietas transversales y asegurar así que se formen según líneas rectas. Los planos debilitados pueden formarse en el hormigón plástico mediante herramientas especiales, con insertos removibles o permanentes, o aserrarse con cuchillas de diamante o carburo de silicio después que el hormigón se haya endurecido.

El agrietamiento y apertura inicial en las juntas de contracción proporciona espacio suficiente para acomodar los ciclos posteriores de expansión, si la junta permanece libre de material extraño incompresible. Sin embargo, las juntas atascadas causan descascaramiento del hormigón y sopladura del pavimento cuando se presente expansión en clima cálido. Las juntas se llenan con sellador de juntas para bloquear la intrusión de material extraño. El contar con juntas apropiadas, es factor crítico en el aspecto de reducir los costos de mantenimiento y prolongar la vida del pavimento.

A veces, en pavimentos residenciales y lotes de estacionamiento, se utiliza una cuchilla en la parte inferior de una alisadora manual para formar el plano debilitado; sin embargo, no conviene usarla mientras no haya seguridad de que la depresión que forma sea permanente y que se formará una grieta debajo de ella. También se usan insertos temporales para formar el plano debilitado, que se aconseja quitar sólo cuando al hacerlo no resulte daño al hormigón. Algunas veces, estos insertos se remueven, aserrándolos después que el hormigón se ha endurecido.

Los insertos permanentes deberán ser de material que no se deteriore ni con el tránsito ni con la intemperie. Las láminas de fibra impregnada de asfalto son económicas y se han comportado satisfactoriamente.

Es muy importante aserrar en el momento preciso las juntas de contracción del hormigón endurecido y que los operadores con experiencia determinen cuándo aserrar sin que se cause excesivo desmoronamiento del hormigón, y en todo caso antes que se desarrollen grietas incontroladas. El momento varía con las condiciones climáticas, los materiales del hormigón y el tipo de cimentación de pavimento. Generalmente está entre 8 y 24 horas después

del vaciado del hormigón y puede ocurrir en cualquier instante, de día o de noche. Por consiguiente, deberá disponerse de iluminación adecuada que permita aserrar de noche y tener una sierra de repuesto, en caso de que falle el equipo.

Juntas de expansión

Las juntas de expansión consisten de elementos compresibles verticales, insertados en toda la profundidad del pavimento, para separar sus movimientos de las estructuras fijas, como por ejemplo: losas de acercamiento a puentes o paredes de hormigón, cambios de dirección y cierres; para formar estas juntas se instala material premoldeado de juntas de expansión.

El llenante de la junta de expansión debe estar en contacto con la rasante en toda su longitud y extenderse por todo el ancho del carril para excluir los taponetes de hormigón en el espacio de expansión. El llenante tiene que mantenerse en posición vertical durante la colocación y endurecimiento del hormigón; de lo contrario, al ocurrir cualquier movimiento, una losa tenderá a montarse sobre la otra, causando posiblemente, falla de la junta, descascaramiento o sopladura.

El llenante de la junta de expansión deberá extenderse sólo hasta, aproximadamente, 13 milímetros de la superficie del pavimento, con el fin de proporcionar espacio para el sellador de la junta. Esto se logra, a menudo, con la inserción de un elemento removible encima del llenante.

Pasadores de pavimento

En pavimentos de tránsito pesado, puede especificarse transferencia mecánica de la carga a través de las juntas transversales, que se logra mediante pasadores hechos con varillas de acero redondo liso. Las varillas se instalan usualmente en las juntas transversales, en conjuntos de canastas de alambre que se colocan sobre la rasante antes de la pavimentación; su objeto es transferir los esfuerzos debidos a la carga a través de la junta, y reducir las deflexiones en la misma, pero, al mismo tiempo, permitir un movimiento horizontal sin restricción a medida que la junta se abre y se cierra. Por consiguiente, deben ser completamente lisas y libres de protuberancias. Para impedir la adherencia al hormigón se pintan y la mitad de cada una se aceita ligeramente. Algunas poseen revestimientos plásticos para reducir la adherencia al hormigón e impedir la corrosión.

Para que funcionen debidamente, las varillas se colocan paralelamente a la línea central y a la superficie del pavimento. Las tolerancias especificadas exigen a menudo que el desalineamiento no sea mayor que 3 mm en 30 cm. El alineamiento puede verificarse mediante niveles, cintas de medición y plantillas. Es de temer que el hormigón duro desvíe de la alineación a las canastas y las varillas, a menos que se tomen precauciones en la manera de colocar el hormigón.

En los extremos de movimiento libre de las espigas se instalan vainas especiales, diseñadas con el fin de proporcionar espacio para la expansión del

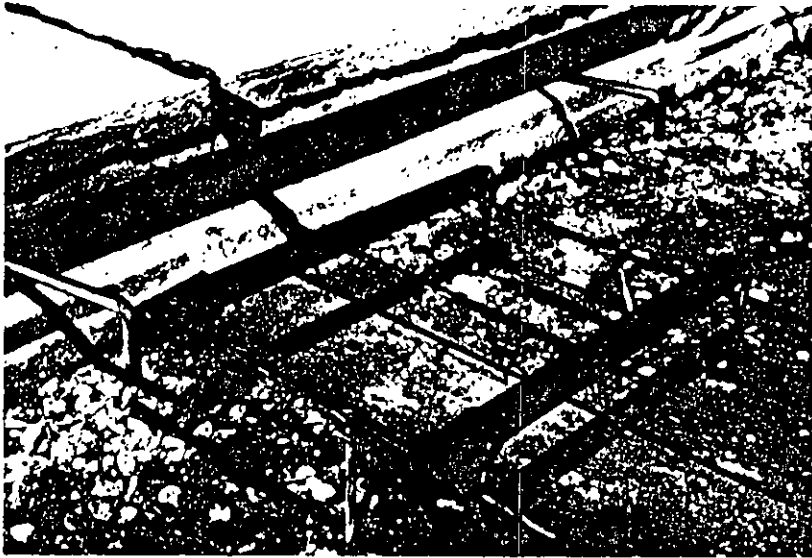


Fig. 13-14—Pasadores colocados en su sitio, provistos de casquetes para las juntas de expansión.

hormigón en las juntas correspondientes (Fig. 13-14). Este espacio permite el movimiento del hormigón sin que se generen esfuerzos críticos que podrían fracturarlo.

Hay disponibles máquinas para insertar mecánicamente los pasadores en las juntas transversales y en las juntas de contracción longitudinal. Las varillas se insertan desde la superficie después de colocar el hormigón. Cuando se construye pavimento reforzado en dos capas, las varillas se instalan en la inferior. Conviene verificar frecuentemente la posición de las varillas para cumplir con las tolerancias especificadas.

Juntas transversales de construcción

Las juntas transversales de construcción se construyen instalando formaletas transversales o testeros, como se llaman comúnmente, al final del trabajo de un día o en cualquier momento en que haya que interrumpir el vaciado del hormigón por un tiempo suficientemente largo como para que exista peligro de que el hormigón ya vaciado, pueda empezar a endurecerse. Se emplean por lo general formaletas de madera con perforaciones para colocar los pasadores o barras de unión. Es necesario que en el acabado de los testeros haya una considerable participación manual.

Si el último hormigón entregado no alcanza a llegar al testero, surge la tentación de lograr que el pavimento se extienda hasta allí, valiéndose para ello de una lechada de exceso, traída de las operaciones normales de pavimentación. Sin embargo, las juntas de construcción transversales ocasionan

muchos problemas en el pavimento y el hormigón en estos sitios tiene que ser de la más alta calidad. En consecuencia, es preciso ordenar hormigón extra para acabar la fundida del día, o de lo contrario, retroceder la junta. Es necesario que la pavimentadora pase completamente el testero, llevando un rollo de hormigón con ella. Se requiere cuidadosa vibración a mano en ambos lados de las juntas de construcción transversales para asegurar la consolidación adecuada del hormigón.

Las mencionadas juntas deberán localizarse en los sitios planeados para juntas de contracción siempre que sea posible. Cuando esto se logra, se instalan, por lo general, varillas lisas, inclusive si no se las suministra en las otras juntas del proyecto. Si se requiere una junta de construcción en sitio diferente del espaciamiento normal de las juntas de contracción, hay que instalar varillas de amarre deformadas para impedir movimientos posteriores de la junta, y esto, con el fin de prevenir la propagación del agrietamiento en los carriles adyacentes de pavimento, terminados previamente.

En pavimentos con refuerzo continuo, el acero longitudinal se extiende a través de la junta de construcción transversal en una longitud especificada y se traslapa con nuevo acero cuando se reanuda la pavimentación. Es extremadamente importante conservar las longitudes de traslapo especificadas y a menudo se especifica acero extra en las juntas de construcción de un pavimento reforzado continuamente.

Juntas de contracción longitudinales

Cuando se coloca de una pasada pavimento de hormigón en carriles muy anchos es preciso disponer de una junta longitudinal de plano debilitado para prevenir el agrietamiento incontrolado, en tal dirección. Tal agrietamiento se debe a esfuerzos causados por la tendencia del hormigón a alabearse cuando hay diferencias de temperatura y de humedad entre las partes superior e inferior de la losa. Por esto, dichas juntas en pavimentos de dos carriles, se mencionan a menudo como juntas articuladas. A diferencia de las juntas transversales, el propósito de aquellas no es abrirse y cerrarse. En pavimentos de carreteras y en los carriles exteriores de pisos anchos de dársena, normalmente se instalan barras de unión de acero deformado a través de las juntas longitudinales para mantenerlas en contacto estrecho. La profundidad del plano debilitado para las juntas longitudinales es muy importante en la prevención de grietas en dicho sentido y el inspector deberá preocuparse constantemente por ello. La profundidad especificada es a menudo un cuarto del espesor del pavimento más 6 mm.

Un modo de formar la junta consiste en disponer una franja de cinta de polietileno, del espesor y ancho especificados, colocada automáticamente desde un carrete a través de un aditamento especial que se fija a la pavimentadora. La parte superior de la cinta deberá quedar a la altura de la superficie del pavimento o ligeramente por debajo de ella. El inspector se asegurará de que la cinta quede instalada verticalmente.

El otro método común de construir juntas de plano debilitado longitudinales consiste en aserrarlas después que se haya endurecido el hormigón (Fig. 13-15). El momento de hacerlo no es tan crítico como en el caso de las jun-

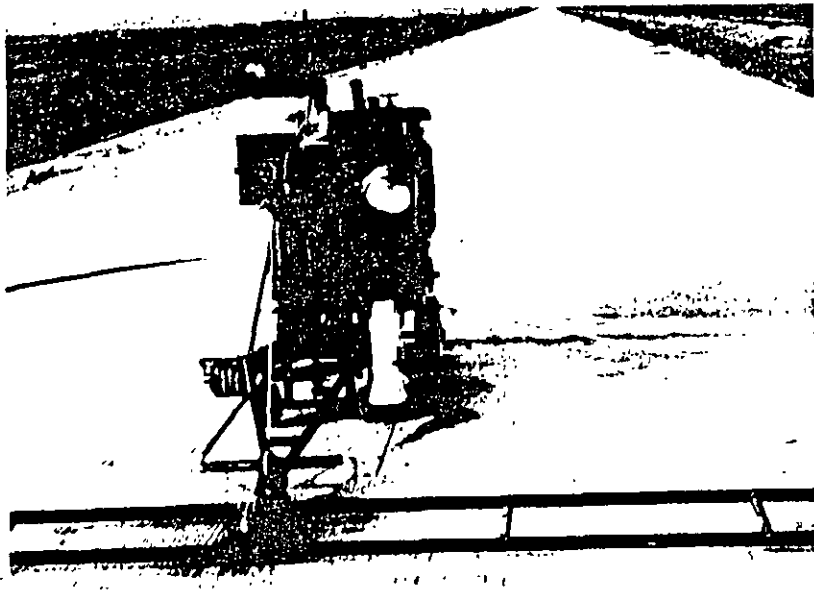


Fig. 13-15—Aserradura de una junta longitudinal de contracción.

tas de contracción transversales porque el encogimiento en la dirección transversal es menor ya que no tiene que mover toda la longitud de hormigón. Sin embargo, el aserrado de ambas se efectúa por lo general, al mismo tiempo. La junta longitudinal deberá completarse en el curso de 3 días y antes de este término no es procedente permitir cualquier tránsito, ni siquiera el de construcción, sobre el pavimento. El inspector deberá ser consciente de que las cuchillas de la sierra se desgastan rápidamente, lo cual puede resultar en cortes de profundidad insuficiente si no se verifican con frecuencia.

Juntas de construcción longitudinales

En pavimentos de hormigón se dejan juntas de construcción longitudinales en los bordes de los carriles cuando se construyen uno o más de ellos separadamente, en forma tal que el hormigón nuevo colinde con pavimento colocado previamente. En el borde de la losa que se coloca primero se dispone una caja de lengüeta o surco para proporcionar la transferencia de carga. Comúnmente se usan pasadores para tal transferencia en el caso de pavimentos de tránsito pesado.

Si se trata de pavimentos formados con formaleta deslizante, se pueden insertar en la losa original barras deformadas de amarre, dobladas en ángulo recto, que se sacan por entre la formaleta de cuña de la pavimentadora y se enderezan posteriormente, antes de colocar la losa adyacente.

Sellamiento de la junta

El sellamiento de las juntas impide la entrada de material incompresible. Si este material se cuele en las juntas, causa esfuerzos extremos en el hormigón que dañan el pavimento durante los ciclos de expansión. El sellamiento de las juntas también reduce la penetración de agua en la cimentación y es muy importante en pavimentos de tránsito pesado. A menudo se omite en pavimentos de lotes de estacionamiento y en calles de bajo volumen de tránsito, si las juntas quedan próximas, de manera que sus movimientos sean mínimos.

Los materiales usuales para el sellamiento de juntas de pavimentos de hormigón son asfaltos de caucho que se vierten calientes y a veces masillas aplicadas en frío, de componentes sencillos o múltiples. También se usan en pavimentos de clase alta y se insertan a menudo en las juntas aserradas, sellos a compresión de neopreno preformado, que duran mucho más. Los sellos preformados se diseñan y dimensionan para los anchos individuales de junta, a fin de que estén siempre en compresión y mantengan un sellamiento apretado.

Las juntas deben estar limpias y completamente secas en el momento del sellamiento. No se permite la presencia en las juntas de compuestos de curación puesto que impiden la adherencia del sellador a las caras de la junta. Con frecuencia se limpian las juntas con chorro de arena, para que presenten caras limpias con buena adherencia, y se las libra de cualquier material extraño, mediante aire comprimido, antes de aplicar el sellamiento. Cuando se vaya a instalar sellamientos preformados, es imperativo que todo descascamiento en la junta se repare mediante parches epóxicos u otros métodos. De lo contrario, los sellamientos no permanecerán en su lugar.

El sellador líquido de aplicación en caliente deberá calentarse en una marmita de doble caldera con control efectivo de temperatura, para impedir la descomposición química por sobrecalentamiento. Nunca conviene recalentar el material. Los selladores líquidos deben aplicarse por medio de una boquilla insertada en la junta (Fig. 13-16) y llenarse esta última de abajo hacia arriba, para impedir la formación de vacíos. En algunos casos, se instala previamente en la junta cuerda de yute o lazo hasta una profundidad especificada, para controlar el factor de forma del sellamiento e impedir que se adhiera a la parte inferior del espacio que se está sellando.

En días cálidos, los selladores líquidos tienen que instalarse hasta un nivel que quede próximo a la superficie del pavimento; en días más fríos, conviene aplicarlos hasta más o menos 6 mm por debajo de la superficie del pavimento, para prevenir que se salgan cuando la junta empiece a cerrarse a medida que sube la temperatura. Es preciso remover inmediatamente todo el sellador líquido que se derrame sobre la superficie del pavimento.

Cuando se trata de utilizar selladores preformados a compresión, se aplica primero un lubricante adhesivo líquido a los lados de la junta, y luego se instalan los selladores mecánicamente, para impedir el alargamiento excesivo del material. Las especificaciones limitan, por lo general, el alargamiento del material a un 5 por ciento durante la instalación de los selladores, con el fin de asegurar el comportamiento satisfactorio de éstos.

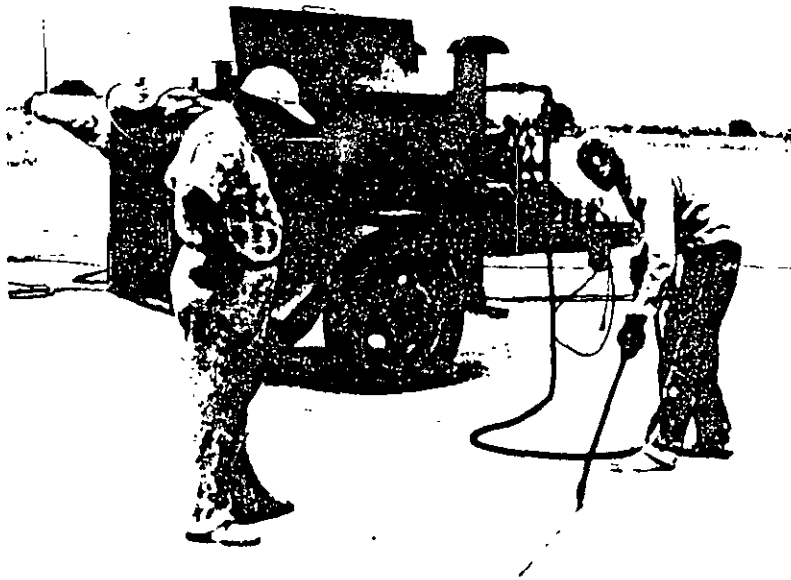


Fig. 13-16—Sellamiento de junta de expansión en una pista de aeropuerto.

PROBLEMAS DE CLIMA

Los contratistas no pueden darse el lujo de esperar a que se presente el clima ideal para pavimentar. Con el fin de cumplir las fechas de terminación, es preciso que utilicen todo tiempo potencial de pavimentación, incluyendo los días en que las condiciones climáticas parezcan requerir precauciones especiales para producir un hormigón aceptable. Cuando se presenten condiciones climáticas susceptibles de afectar adversamente las operaciones de pavimentación, el inspector deberá notificarlo a su superior y obtener instrucciones apropiadas al respecto.

Los requisitos para el hormigonado, tanto en tiempo cálido como en uno frío se describen en el Capítulo 10.

Antes de comenzar las operaciones de hormigonado, es preciso que se hallen en su sitio todos los materiales necesarios para proteger al hormigón y que haya acuerdo sobre los materiales y procedimientos que se vayan a usar en caso de cambios repentinos en el tiempo (lluvia, nieve, viento, variación drástica de temperatura, etc.)

Clima cálido

En el clima cálido es algunas veces difícil aserrar las juntas lo suficientemente pronto como para prevenir un agrietamiento incontrolado por enco-

gimientto; puede ser entonces útil minimizar la evaporación, humedeciendo la superficie con un rocío de neblina. Las formaletas, las sub-bases estabilizadas y los pavimentos existentes, a los que se va a dar una nueva capa de rodadura, pueden también enfriarse con agua antes de colocar el hormigón. Los aditivos retardadores de fraguado, a menudo, facilitan el acabado durante el tiempo cálido. La construcción de pavimentos se limita, en ocasiones, a las horas más frías del día o de la noche.

Lluvia

Cuando el hormigón recién extendido queda expuesto a una lluvia inesperada, lo más importante es colocarlo bajo techo, acudiendo inmediatamente al empleo de cubiertas protectoras. Estas incluyen materiales tales como láminas plásticas o arpilleras, que han de hallarse a mano en todo momento. A menudo se lleva para tales emergencias un rollo de lámina de plástico en la máquina de curado.

Algunas veces se especifica la instalación de formaletas laterales temporales en los proyectos de pavimentación de formaleta deslizante, en caso de que llueva. Sin embargo, si esto demora la colocación de la cubierta protectora, es posible que haya lugar a que el agua superficial corra hasta el borde del pavimento y baje por entre el hormigón y las formaletas dañando el borde. Las formaletas temporales pueden ponerse cuando haya cesado la lluvia, para reparar cualquier daño en el borde.

Si la lluvia se detiene antes que el hormigón se haya endurecido, es preciso restablecer la textura dañada por las cubiertas protectoras y aplicar en ella compuesto de curado adicional. Si el hormigón se ha endurecido deberá dejarse sin molestar hasta después del período de curado, y entonces sí restablecer la textura, aserrando surcos en la superficie.

PROTECCION DE TRANSITO PREMATURO

Una de las tareas más difíciles en los proyectos de pavimentación es la de mantener el tránsito por fuera del nuevo pavimento hasta que el hormigón no haya obtenido la resistencia especificada. Es preciso prohibir todo tráfico público y de construcción durante este período; esto no se aplica, naturalmente, al equipo para el aserrado y sellamiento de juntas.

En todo caso hay que colocar barricadas y señales apropiadas de advertencia, así como emplear precauciones especiales en el caso de proyectos que involucren mejoras de carreteras existentes por donde se mantenga el tránsito durante la construcción.

Debe quedar terminantemente prohibido dar al tránsito todo nuevo pavimento donde las juntas no hayan sido selladas ni se haya obtenido la resistencia adecuada.

TABLEROS DE PUENTE

La calidad de los tableros de puente depende de los mismos factores que rigen en el caso de pavimentos de hormigón sobre el terreno.⁴⁷ Sin embar-

go, las limitaciones de espacio requieren equipo y técnicas algo diferentes para la entrega, colocación y terminación del hormigón.

Se aplican los mismos principios de calidad de hormigón. Para obtener un comportamiento satisfactorio es esencial la uniformidad del material dentro de las tandas y entre una y otra. El inspector tiene que estar alerta constantemente para detectar los cambios en contenido de aire y en consistencia, indicados por los ensayos, y por las variaciones observadas en las características del terminado y en la tendencia a la exudación.

Para lograr la cantidad apropiada de aire incorporado será de ayuda verificar el contenido de aire de cada tanda de hormigón que se entregue en el sitio de la obra. Aunque resulte útil disponer de un indicador de aire, de bolsillo, para detectar las variaciones en contenido de aire, no se aconseja usarlo para aceptar o rechazar el hormigón.

En pavimentación de tableros de puente, el control de nivel se basa en los rieles maestros que sirven de apoyo a la pavimentadora. Estos se colocan sobre apoyos con tuercas ajustables para corregir la elevación. Los rieles deben colocarse de tal manera que produzcan una línea precisa de nivel, teniendo en cuenta las deflexiones causadas por las cargas muertas. Es preciso verificar la elevación de los rieles con instrumentos de nivelación, y, finalmente, hacer ajustes menores, tomando una visual a lo largo de los rieles que asegure el logro de una línea suave.

Antes de proceder a la pavimentación se ajusta la máquina terminadora para producir el *bombeo* especificado. Esto se verifica al asegurar que las maestras y llanas concuerden con el *bombeo* de las placas de contención en los extremos de las secciones del tablero.

La profundidad del acero de refuerzo superior es muy importante para el comportamiento del tablero del puente. Si no se proporciona suficiente recubrimiento pueden ocurrir grietas en el hormigón que queda por encima del acero, las que al permitir que el agua y los productos químicos para evitar la congelación penetren hasta el refuerzo, darían lugar a su corrosión y al subsecuente descascamiento del hormigón. Normalmente se especifica un recubrimiento mínimo de 5 centímetros cuando se van a usar dichas sales.

La posición del acero se verifica haciendo una corrida de ensayo con la pavimentadora y midiendo hacia abajo, a partir de una maestra o de una alisadora de cazuela. Se prescribe mojar el acero de refuerzo, así como las formaletas, antes de la colocación del hormigón.

Vaciado del hormigón

El hormigón para tableros de puente se coloca, por lo general, mediante canecas movidas por grúa (Fig. 13-17) o mangueras que lo transportan desde bombas de hormigoneo. Cuando se utilizan grúas, hay a menudo dos canecas, de manera que el hormigón se coloque en una mientras la otra lo está descargando.

Conviene colocar el hormigón tan cerca como sea posible de su postura final, con el fin de reducir la segregación y el asentamiento diferencial. El

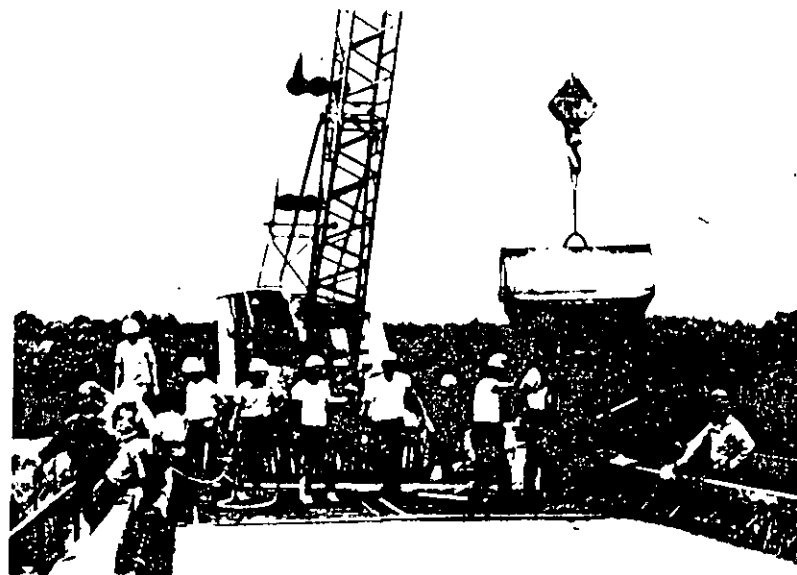


Fig. 13-17—Vaciado de hormigón, mediante cubos, en un puente ferroviario.

estrecho espaciamiento del acero de refuerzo en los tableros de puente requiere atención especial en la colocación del hormigón y en su compactación, para impedir la formación de porosidades y proporcionar adherencia adecuada entre hormigón y acero.

A menudo se utilizan vibradores de cabeza vibrante para consolidar el hormigón alrededor del refuerzo, o maestras vibradoras para darle terminado al hormigón. No se aconseja utilizar los vibradores para mover el hormigón horizontalmente, ni operarlos en un sitio por tanto tiempo que causen segregación de los materiales del hormigón.

La máquina terminadora se ha de mover lentamente a una rata uniforme que esté sincronizada con la entrega del hormigón: Es preciso proporcionar hormigón en exceso a todo lo largo de todas las maestras y llanas de la máquina.

Terminado final

A causa del espacio limitado, el terminado manual se hace desde puentes de trabajo. No se permite que los trabajadores caminen sobre el hormigón detrás de la máquina terminadora.

Las alisadoras manuales se emplan generalmente para cerrar la superficie en aquellos sitios en que sea necesario. No es del caso exigir su uso en toda la superficie. Si se hace necesario mucho pulimento a mano, hay que hacer ajustes en la máquina terminadora o en la dosificación de la mezcla de hormigón.

Se recomienda demorar tanto como sea posible el terminado mediante listones raspadores rectos de 3 metros, para permitir que ocurra el asentamiento del hormigón. Algunas veces éste se vuelve a vibrar después que el agua de exudación haya desaparecido de la superficie con el fin de eliminar los vacíos debajo del acero de refuerzo, causados por asentamiento desigual del hormigón.

Estudios de núcleos tomados de tableros de puente, contruidos de hormigón con aire incorporado, y que han venido descascarándose, indican que el descascamiento está invariablemente asociado con áreas deficientes en aire incorporado, cerca a la superficie o bien sobre ella. La distribución no uniforme de burbujas de aire incorporado se atribuye a perturbación del sistema de vacíos de aire, ocurrida durante las operaciones de terminado final. Por consiguiente, debe evitarse la manipulación excesiva de la superficie del hormigón durante el terminado y en particular, prohibirse que se le adicione agua durante el acabado.

Si el clima cálido ocasiona dificultades en el acabado, puede considerarse la conveniencia de la pavimentación nocturna con el fin de mejorar el comportamiento del tablero del puente.

Es preciso verificar al final el emparejamiento de la superficie por medio de un listón recto de 3 metros. Cualquier desviación superior a 3 milímetros deberá corregirse antes que se endurezca el hormigón.

La textura final se logra arrastrando una arpillera. Es posible aplicar resistencia adicional al patinamiento sobre los tableros de puente mediante dientes metálicos que formen surcos longitudinales en el hormigón plástico. Lo mismo que en el caso de pavimentación sobre el terreno, la sincronización del proceso de texturamiento es muy importante para lograr resultados óptimos y exige que esté al frente un operador experimentado.

Hay que aplicar el material de curado tan pronto terminen las operaciones de acabado. Un modo efectivo de curado es el rociado de un compuesto para este fin pigmentado de blanco, sobre la superficie. Sin embargo, en clima cálido, puede resultar deseable, para controlar las temperaturas del hormigón, acudir a un método de curado que involucre agua. Si se utiliza arpillera, deberá estar constantemente mojada durante todo el periodo de curado. Al final del mismo, resulta imprescindible permitir que la arpillera se seque completamente, antes de removerla, para así prevenir un secamiento rápido de la superficie de hormigón.

Como los puentes se completan, por lo general, antes que las otras partes por pavimentar; el equipo de pavimentación puede entonces cruzarlos, acelerando la finalización del proyecto. Sin embargo, antes que permitir esto, es preciso que el hormigón del puente haya alcanzado su resistencia especificada.

CAPITULO 14 — HORMIGON DECORATIVO*

El término *hormigón decorativo* se aplica a elementos de hormigón en que se tiene cuidado especial de producir una superficie sin mancha o en que a las superficies expuestas se les da un tratamiento para mejorar su apariencia visual. El tratamiento de la superficie puede ser tan variado como cabe imaginárselo a la mente humana. Los tratamientos comunes incluyen: exposición de los agregados, que va desde ligera hasta profunda, abrasión o remoción de parte de la superficie; uso de color, ya sea mediante adición de agentes colorantes a la mezcla de hormigón, ya por selección de agregados de un color específico, o por el uso de un color determinado de cemento; producción de patrones o texturas, en superficies no formadas, por medio de herramientas y de otros tratamientos, y en superficies formadas, por el uso de encofrados o revestimientos con diferentes patrones (Fig. 14-1) o con va-



Fig. 14-1—Superficie de grano de madera burda formada en hormigón con un revestimiento de fibra de vidrio, adosado al encofrado, que tenía impreso un patrón de madera.

* "Architectural Concrete" se ha traducido aquí como *hormigón decorativo* por considerar esta expresión más ilustrativa del significado que *hormigón arquitectónico*, que sería la traducción literal (N del T)

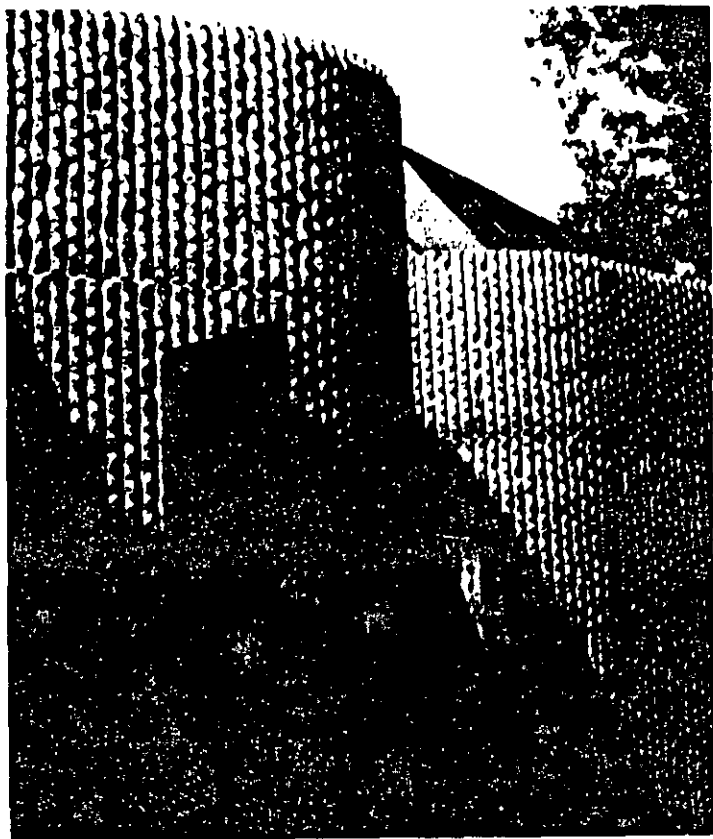


Fig. 14-2—Las salientes verticales formadas en el hormigón, se pican, después de la remoción del encofrado, para lograr una apariencia burda.

rios tratamientos después de la remoción de las formaleas (Fig. 14-2). También se incluyen los elementos de hormigón diseñados con formas poco usuales, algunas veces complejas, con el objeto que tengan un atractivo estético.

El hormigón decorativo puede usarse en elementos estructurales ya fundidos en el sitio, ya prefabricados, y que reciben cargas o que, como componentes de fachada, están libres de ellas (Fig. 14-3).

Especificaciones del proyecto

Como con toda otra construcción de hormigón, las guías primarias para el inspector son las especificaciones y planos del proyecto. Las informacio-

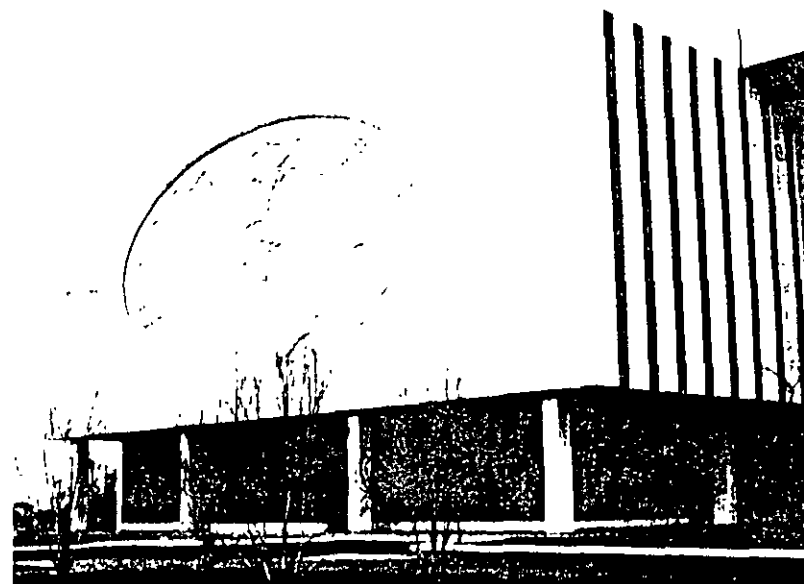


Fig. 14-3—Mural formado mediante ensamble de paneles prefabricados de hormigón.

nes e instrucciones que se consignan aquí tienen como propósito dar antecedentes que ayuden al inspector a entender las especificaciones y a reconocer la gran importancia de muchos de sus requisitos; y proporcionar guías que sean de ayuda en aquellos casos de ítems y procedimientos cubiertos inadecuadamente por las especificaciones del proyecto.

En el caso de hormigón decorativo las especificaciones pueden ser del tipo de *comportamiento*, en donde se evalúa la apariencia del producto terminado para determinar si las cumple o no. Esto se logra por comparación de las superficies terminadas con la apariencia de maquetas aprobadas previamente a la construcción, con fotografías y otros ejemplos ilustrativos a que se hace referencia en las especificaciones, y con los requisitos de descripciones dadas en ellas. Sin embargo, quizá no sea posible describir y manejar adecuadamente todos los requisitos de aceptación de esta manera, y se vuelva necesario emplear especificaciones tipo *prescripción* en forma considerable. Otra razón de que se especifiquen requisitos tipo *prescripción* es que cuando un elemento de una estructura no cumple un requisito de comportamiento, usualmente hay desgana (a menudo justificada) para exigir su remoción y reemplazo cuando la reparación es imposible. Cuando se utilizan requisitos de especificaciones tipo *prescripción*, es imperativo que el constructor los acate total y uniformemente. A menudo es imposible corregir luego los efectos de su incumplimiento.

Consideraciones de diseño

Obviamente, el inspector no tiene control sobre el diseño de la estructura o la preparación de las especificaciones. Sin embargo, hay que suponer que el diseñador tuvo en cuenta la posibilidad de construcción y la practicabilidad de obtener la apariencia deseada. Los siguientes son algunos ítems típicos de diseño que hacen difícil lograr una apariencia agradable: paneles grandes de superficies planas, sin separaciones de juntas visibles, fajas rústicas, patrones o superficie con textura; empleo de hormigón blanco o de color en paneles grandes de superficies planas sin interrupciones; uso de hormigón que requiere pigmentos de coloración cuando el que viene a la obra procede de una planta de hormigón premezclado comercial que está sirviendo simultáneamente a otros clientes; y uso innecesario de diseños complicados, particularmente con detalles frágiles en el miembro, propensos a rotura durante la remoción de las formaletas y las operaciones subsecuentes.

Referencias

Antes de comenzar cualquier trabajo que involucre cantidades apreciables de hormigón decorativo, el inspector deberá obtener y estudiar por lo menos las siguientes referencias aplicables para obtener información detallada: "Guide to Cast-In-Place Architectural Concrete Practice"¹⁴, informe del Comité ACI 303.

"Cast-In-Place Architectural Concrete"¹⁵.

"Fabrication, Handling and Erection of Precast Concrete Wall Panels"¹⁶, informe del Comité ACI 533.

REQUISITOS GENERALES Y COOPERACION

Aceptabilidad

Además de los requisitos que se aplican a todo trabajo de hormigón, una consideración necesaria para la aceptabilidad del hormigón decorativo es la apariencia visual de las superficies expuestas. Desafortunadamente, esta apariencia es difícil de describir o de medir en términos exactos.

El arquitecto sabe mentalmente lo que desea y establece criterios de aceptabilidad a medida que concibe su estructura. Sin embargo, no se ha encontrado hasta la fecha ningún método que transmita completamente estos criterios al contratista mediante planos y especificaciones. A menudo, es necesario acudir a la construcción de paneles o de áreas de demostración.

Cooperación

Puesto que la evaluación no es susceptible de que se base en medidas precisas, la aceptabilidad general requiere cooperación realista entre todas las partes involucradas. Aunque sea deseable una uniformidad perfecta en color y textura, los materiales del hormigón tienen un grado inherente de falta de uniformidad, y no puede garantizarse la colocación y terminado unifor-

mes de un material heterogéneo sobre un área grande, como no es de esperar que haya uniformidad perfecta de color y textura en mármol o granito sobre grandes áreas.

No obstante, es necesario que el contratista comprenda que el propietario tiene derecho a una apariencia de superficie de calidad especial.

Es de necesidad primordial obtener que se desarrolle un rápido entendimiento de aceptabilidad entre el arquitecto, el inspector y el constructor sobre el proyecto de construcción. Este entendimiento se logra de la mejor manera haciendo que las tres partes inspeccionen simultáneamente un trabajo terminado en cantidad suficiente como para permitirle al arquitecto señalar las áreas aceptables, las de aceptación mínima, y, cuando se presenten, las inaceptables. Cualquier disputa entre el arquitecto y el contratista en lo que respecta a aceptabilidad debe resolverse antes de comenzar nuevos trabajos. Las áreas aceptables pueden utilizarse para juzgar trabajos futuros. Se aconseja ensayar métodos y acabados en partes menos importantes de la estructura, como por ejemplo, las paredes de sótanos que no vayan a quedar visibles después de la terminación.

Consideraciones anteriores a la construcción

Las especificaciones escritas para hormigón decorativo apenas describen las superficies deseadas en términos generales. El color del cemento es especificable, lo mismo que el color, tamaño, forma y gradación de los agregados. En algunos casos, también pueden serlo las fuentes de esos materiales. La textura superficial suele describirse en términos generales, como por ejemplo, "chorro de arena ligero", "exposición fuerte de agregado grueso", o expresiones similares. Aunque las especificaciones tienen que ser exactas, es difícil describir en palabras un logro artístico.

Muestra de referencia de diseño—Como es imposible que las especificaciones comuniquen por completo los deseos del arquitecto, se procura a menudo que una referencia de diseño o muestra de "prelicitación" forme parte de la especificación. La muestra de referencia de diseño debe tener por lo menos un área de 50 × 50 centímetros y 5 centímetros de espesor, para indicar en forma adecuada el color y textura deseados, puede ser preparada por el arquitecto y hacer parte de los documentos de licitación; también es aconsejable que las especificaciones exijan del contratista la preparación de varias muestras, con base en los requisitos especificados, de entre las cuales, el arquitecto seleccionará la que se constituya en muestra de referencia del diseño.

El propósito principal de la muestra de referencia del diseño es complementar la especificación escrita; con lo que se logra un entendimiento más estrecho entre arquitecto, inspector y contratista. Sin embargo, no puede suponerse que cada una y cualquiera área pequeña de la estructura terminada coincida precisamente con la muestra, ya que ésta puede fundirse y, usualmente ocurre así, con mayor precisión que la obtenible con una masa mayor de hormigón.

Maqueta de hormigón—En el caso de hormigón decorativo es frecuente que las especificaciones exijan del contratista la construcción de una maque-

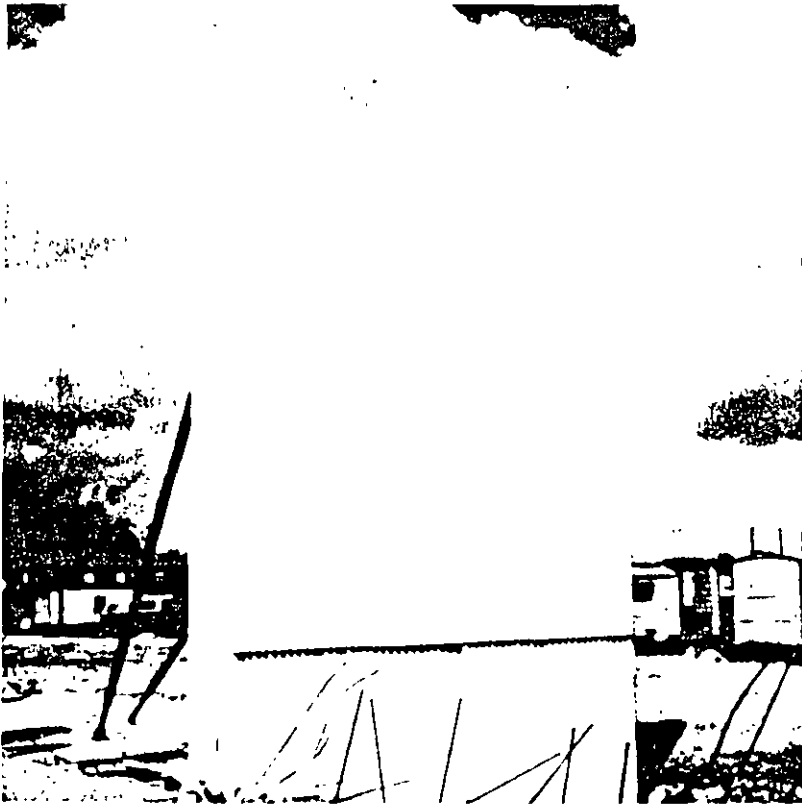


Fig. 14-4—Panel de muestra de superficie rústica obtenido con formaleta.

ta, a escala total, antes que se inicie la construcción (Fig. 14-4). Si las especificaciones no prescriben tal maqueta, se recomienda que el contratista considere la construcción de una por cuenta propia. La maqueta tiene que representar una porción típica de la estructura y en su fabricación deberán utilizarse los procedimientos y equipo que se proponen para ella, incluyendo formaletas; colocación de refuerzos; dosificación de mezclas; colocación y curado del hormigón y tratamiento superficial. El propósito principal de la maqueta es proporcionar una muestra grande de trabajo que permita ser juzgada acertadamente por el arquitecto. Con anterioridad a la iniciación del trabajo en el prototipo, se requiere la aprobación de la maqueta por el arquitecto.

La maqueta puede tener deliberadamente variaciones en el terminado para demostrar un rango de aceptabilidad (Fig. 14-5), y requiere juntas entre los paneles de la formaleta, y los agujeros de amarres de la misma. También

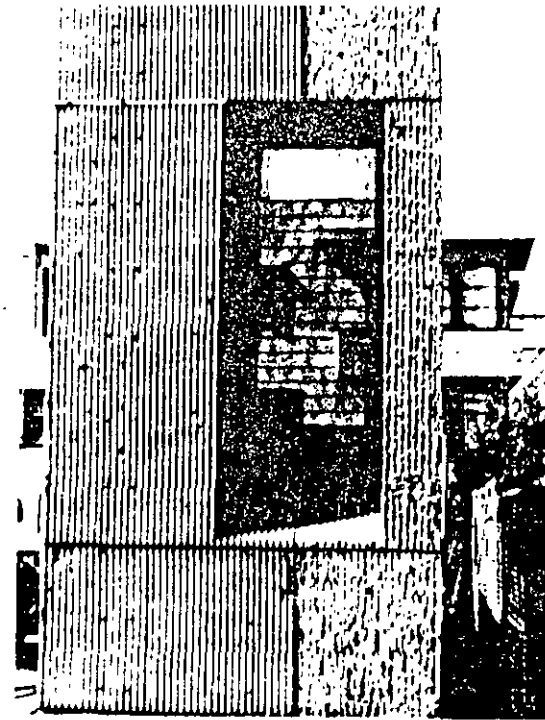


Fig. 14-5—Maqueta, previa a la construcción, hecha con diferentes terminados.

deben incluirse deliberadamente las imperfecciones que requieran reparación, a fin de que sea posible demostrar las operaciones de corrección.

Es importante que haya un buen entendimiento entre el inspector, el arquitecto y el contratista respecto de la aceptabilidad de la maqueta y sobre qué tanta variabilidad, a partir de ella, sería aceptable. La maqueta deberá construirse en el sitio de trabajo o cerca de él, de manera que quede disponible fácilmente para comparación con el trabajo futuro de la obra. Podría inclusive ser una parte no vistosa de la estructura al nivel de sótano.

Demostración de acabado de hormigón prefabricado—Para hormigón decorativo prefabricado, se puede utilizar el concepto de maqueta tal como se discutió atrás, u obtener una demostración del acabado mediante la fabricación de una unidad típica que el arquitecto pueda inspeccionar y aprobar. Para ayudar a la inspección en la planta, esta unidad ha de estar entre las últimas programadas para montaje en el sitio de la obra, de manera que quede a disposición del inspector, para compararla con la producción día a día. Si no hay tal inspección de planta, la unidad típica tiene que estar entre las primeras que se entreguen al trabajo, para futura comparación. Es

preciso que las unidades de comparación y de producción estén limpias en el momento de confrontarlas.

La muestra de referencia de diseño y la maqueta sólo representan pasos en el entendimiento común del inspector y contratista con los deseos del arquitecto. La inspección conjunta de los tres al comienzo de la construcción, como se mencionó previamente, es otro paso importante, lo mismo que la inspección periódica realizada en conjunto por el arquitecto y el inspector durante toda la duración del trabajo.

UNIFORMIDAD

Para producir hormigón decorativo aceptable, la clave es uniformidad. Ello, las consideraciones necesarias incluyen uniformidad, tanto de materiales como de equipo, de operaciones (incluyendo programación) y de mano de obra.

Siempre que ello sea factible, cada material deberá provenir de una sola fuente, y, en el caso de materiales manufacturados o procesados, de una sola tanda de producción. Hay que procurar también que todos los materiales se obtengan y guarden en el sitio, con anterioridad al comienzo de la construcción. Es imperativo que los materiales se almacenen en forma apropiada de manera que resulten protegidos contra deterioro, contaminación y mezcla, o, en el caso de agregados, contra segregación. El inspector ha de estar alerta constantemente para detectar todo cambio en la calidad o apariencia de cualquier material durante el progreso del trabajo, deducible de los resultados de los ensayos o de observación visual.

Para procurar que se obtenga un producto uniforme, es recomendable que se use el mismo equipo y de la misma manera en todo el trabajo. Es posible que dos hormigoneras no mezclen materiales con el mismo grado de uniformidad. Los cambios de equipo de vibración afectan a veces la distribución del agregado cerca de la superficie y diferentes boquillas producen texturas diferentes en superficies limpiadas con chorro de arena.

La mano de obra cae también en la misma categoría. Dos trabajadores con sendos vibradores logran distribuciones diferentes de agregados cerca de la superficie, si no han sido entrenados para usarlos de manera idéntica. El hormigón tiene que mezclarse a la misma consistencia y colocarse de la misma manera día tras día. Es obvio que en el caso del hormigón decorativo la fuerza de trabajo debe estar entrenada para trabajar como un solo cuerpo. Los hombres que manejan los vibradores, las boquillas de chorro de arena, las escodas y los bloques de frotamiento o que realizan cualquier operación que afecte la apariencia del producto terminado, deben ser entrenados para cumplir su función con igual habilidad. No es aceptable el reemplazo indiscriminado de personal en la fuerza de trabajo.

Excepto en lo que sea necesario para acomodarse a condiciones variables de clima y a diferentes elementos estructurales, las operaciones de dosificación, amasado, transporte, colocación, vibración, remoción de formaletas, terminado y curado del hormigón tienen que efectuarse de la misma mane-

ra, día a día y en los mismos tiempos. Cambios en la manera u hora de efectuar cualquiera de estas operaciones pueden causar variaciones en la apariencia de la superficie de hormigón.

Un inspector que actúe por parte del propietario no debe tener la presunción de aconsejar al contratista con respecto al uso de su equipo o a la distribución de su cuerpo laboral, pero sí el compromiso de insistir en la uniformidad del producto terminado.

PROCEDIMIENTOS DE INSPECCION

Excepto en lo que respecta a la apariencia de la superficie, no hay diferencia básica entre el hormigón decorativo y el hormigón convencional vaciado en sitio o prefabricado. En consecuencia, los procedimientos generales de inspección cubiertos en otros sitios de este manual se aplican igualmente al hormigón decorativo. Sin embargo, puesto que éste es un producto especializado, se requiere entonces una aplicación más cuidadosa de los procedimientos generales de inspección.



Fig. 14-6—Reparación de imperfecciones en la superficie de la formaleta, con el fin de lograr bovedillas intachables para el cielo raso cuando se vacie esta losa armada en dos direcciones.

FORMALETAS

El diseño estructural de las formaletas debe, en general, cumplir los mismos requisitos que se exigen para formaletas de otras construcciones de hormigón. Los materiales, texturas y patrones del recubrimiento de la formaleta están gobernados primordialmente, bien sea por requisitos directos de la especificación o por los prescritos para producir superficies que se ajusten a

la maqueta elaborada con anterioridad a la construcción. Las tolerancias para encofrados son usualmente más restrictivas que las correspondientes a edificios con hormigón expuesto ordinario, y por supuesto la mano de obra al fabricar las formaletas es más exigente en el primer caso que en el segundo. (Fig. 14-6). En las Referencias 46 y 89 se puede encontrar información detallada sobre el encofrado.

Forro o revestimiento de la formaleta

Existe una variedad casi ilimitada de materiales para forros y revestimientos de formaletas. Estos incluyen madera, madera laminada, metal (aluminio, acero y magnesio), plástico (reforzado y no reforzado), moldes de yeso de desperdicio y forros de caucho. Cada uno de estos materiales tiene sus ventajas y limitaciones. La madera común o la laminada que se empleen para hacer el forro o revestimiento pueden afectar el color de la superficie del hormigón por variaciones en la absorción de las diferentes porciones del tablero, particularmente entre los anillos de primavera y los de verano. Las porciones más porosas absorberán más agua del hormigón fresco y bajarán de esta manera la relación agua-cemento, produciendo un color más oscuro en la superficie. Las substancias orgánicas de la madera son susceptibles de oscurecer la superficie del hormigón y causar algunas veces la formación de polvo. Con excepción de la madera laminada, los agentes que facilitan el desencofrado no pueden corregir estas condiciones. Para reducir el efecto de estas variaciones durante el primer uso de las formaletas de madera, se aconseja tratar su superficie con una solución de agua de cal o una lechada de cemento que reaccione y neutralice las substancias orgánicas y llene las superficies porosas. Después del primer uso, las formaletas de madera producen considerablemente menos variación de color.

Texturas y patrones

Las texturas y patrones producidos por diferentes materiales de forro y revestimiento del encofrado son casi ilimitadas. Algunos son forros sofisticados vaciados en fábrica utilizando plásticos y cauchos; otros, forros y revestimientos construidos en el trabajo para producir patrones específicos a gran escala sobre la superficie del hormigón, y otros, forros y revestimientos que tienen una textura específica cuando son suministrados por el fabricante o una textura producida por tratamiento en el sitio. La inspección apropiada requiere asegurar que en cada conjunto de formaletas la textura y la superficie sean la misma que en todas las otras y que las de las formaletas ya usadas no se altere de un uso al siguiente. Las superficies de las formaletas deben limpiarse muy bien y aceitarse entre uno y otro uso, sin degradar el patrón o textura superficiales.

Juntas en la formaleta

Las juntas entre los paneles de forro o revestimiento de la formaleta deberán apretarse y sellarse completamente para impedir cualquier tipo de filtra-

ción. La filtración de agua o pasta producirá rayas de arena en la superficie (bolsas de roca en casos extremos); y una filtración o absorción más lenta de la humedad ocasionará decoloramiento de hidratación (franjas oscuras), especialmente en superficies limpiadas con chorro de arena. Es casi imposible remover cualquiera de estas imperfecciones, aunque la decoloración de hidratación puede volverse más clara y difícil de ver después de quedar expuesta a la intemperie durante varios años. Las filtraciones pueden prevenirse escalonando las juntas de revestimiento de la formaleta con respecto a las de forro, mediante empaques especiales de caucho, y, cuando se vaya a tratar posteriormente la superficie de hormigón, por el uso de cinta sensible a presión. También pueden calafatearse estas juntas, con ayuda de tablillas de respaldo, si se inspeccionan cuidadosamente.

Selladores de formaleta y agentes para facilitar el desencofrado (revestimiento de formaletas)

A menudo se usan selladores, en formaletas de madera o de lámina prensada para sellar las superficies y de esta manera corregir cualquier absorción no uniforme, prevenir la impresión de la textura de la madera y prolongar la vida de las formaletas. Los agentes desligantes (revestimientos de formaletas) se utilizan para impedir que el encofrado se pegue a las superficies del hormigón. Hay disponibles numerosas clases de agentes de desligamiento. Se debe tener cuidado en utilizar un agente desligante que sea compatible con el material del encofrado, con el sellador y con el hormigón mismo y que no manche la superficie de éste. El agente desligante deberá ser también compatible con los selladores de junta y con los compuestos de recalcar que se vaya a utilizar después. Se necesitarán diferentes agentes de desligamiento para diferentes materiales de encofrado. Los agentes de desligamiento se utilizan primero en maquetas o en superficies no expuestas para determinar su comportamiento, antes de hacerlo sobre las superficies expuestas. Normalmente, el agente desligante es un material poco viscoso y se aplica en capa delgada. En general, hay que evitar las capas gruesas de materiales viscosos. Si se aplican capas aceitosas a las formaletas demasiado antes del vaciado del hormigón, y sin que estén protegidas adecuadamente, es posible que se recoja polvo sobre la capa de revestimiento que causará problemas.

Amarres del encofrado

Los agujeros que quedan al quitar los amarres de las formaletas deben llenarse o tratarse de alguna otra manera según lo requieran las especificaciones. El llenamiento de los agujeros de amarre se discute también en el Capítulo 11. Aunque no lo exijan las especificaciones, es altamente deseable instalar los amarres de las formaletas siguiendo un patrón uniforme, de manera que los agujeros de la superficie del hormigón, estén llenos o no, constituyan un patrón uniforme similar para lograr una apariencia más placentera. Algunas veces se pide cubrir los agujeros de amarre de las formaletas con tapones prefabricados, por lo general plásticos, que se aplican al agujero.

Remoción del encofrado

La remoción cuidadosa del encofrado tiene especial importancia en el caso del hormigón decorativo para impedir daños, tanto a la superficie ordinaria como a cualquier diseño superficial intrincado. Normalmente, se recomienda no utilizar cuñas, y cuando hay que usarlas, éstas no deben ser metálicas. En el caso de hormigón blanco o de colores, se deben remover las formaletas de superficies semejantes al cabo de periodos de tiempo similares, excepto cuando se necesita variar el tiempo por condiciones climáticas. Al quitar las formaletas, es preciso tener cuidado de impedir una caída rápida de la temperatura de la superficie del hormigón, que podría causar agrietamiento superficial. En tiempo frío, se exige que la temperatura de la superficie disminuya gradualmente, no más de 4°C en 24 horas, y que la caída se distribuya parejamente sobre el periodo de 24 horas.

REFUERZO

Hay que colocar el refuerzo en el lugar que muestran los planos. Si se localiza demasiado próximo a la superficie, puede impedirse que el agregado grueso pase a través de las barras y resultar que el patrón de refuerzo se trasluzca, como en un espejo, en la superficie del hormigón, particularmente si se trata de superficies lisas de colores claros. Un refuerzo tan cercano a la superficie puede tender también a producir en ella manchas de óxido. En algunas ocasiones se utiliza en áreas críticas refuerzo con revestimiento para impedir la oxidación. En cuanto sea posible, hay que evitar que los apoyos del refuerzo se localicen en sitios adyacentes a superficies expuestas. Si es necesario utilizar apoyos en tales superficies, éstos deberán hacerse de plástico, de metal revestido de plástico, de bloques prefabricados de hormigón, o de acero inoxidable. Los extremos de los alambres de amarre deberán doblarse hacia el interior del hormigón.

MATERIALES DEL HORMIGON

Es posible que las especificaciones de algunas obras exijan que los materiales que se van a usar, en especial, cemento, agregados, aditivos y pigmentos, se limiten a productos específicos obtenidos de ciertas fuentes. Las especificaciones de otras obras no contendrán tales límites, sino que exigirán simplemente que el contratista localice materiales apropiados para producir hormigón con una apariencia igual a la de la muestra del diseño de referencia.

Cemento

El cemento normalmente debe cumplir los requisitos sobre calidad de la construcción de hormigón ordinario. El color se controla, por lo general, exigiendo que el del hormigón iguale al de la muestra de diseño de referencia

y que todo el cemento provenga de una sola fábrica y, en especial, de una sola colada. En el presente no hay especificaciones de referencia que controlen el color del cemento blanco o de colores. Los cementos de colores, especialmente los del intervalo piel de ante-amarillo-café se producen mediante molindas y operaciones de quemado especiales, utilizando materias primas normales; otros se producen entremoliendo pigmentos minerales en la fábrica de cemento. Algunas veces se especifica cemento producido por el primer método, a causa de su mejor uniformidad de color. Algunos de estos cementos especiales tienen demandas poco usuales de mucha agua, que pueden resultar en bajas resistencias.

Agregados

En general, se requiere que los agregados cumplan los requisitos de calidad exigidos para agregados de hormigón ordinario. A menudo, se añaden requisitos adicionales para limitar severamente la presencia de partículas que pueden causar manchas sobre la superficie del hormigón (principalmente, compuestos de hierro) y materiales inestables proclives a producir reventones durante los cambios de clima. ~~El color del agregado fino tiene mucho más efecto sobre el del hormigón que el del agregado grueso. Los límites de gradación del agregado grueso usado en hormigón decorativo expuesto tienen que controlarse más estrechamente que los del hormigón convencional.~~

Aditivos—Incorporadores de aire, reductores de agua y retardadores de fraguado

Los requisitos de calidad son, usualmente, iguales a los del hormigón ordinario.

Cloruro de calcio

Muchas especificaciones prohíben el uso de cloruro de calcio en hormigón decorativo. Inclusive, si no está prohibido, se aconseja desestimar su uso. La utilización de cloruro de calcio es propicia a causar manchas o patrones a cuadros en la superficie.

Aditivos—Pigmentos

Hasta hace poco, los pigmentos que se utilizaban en hormigón estaban restringidos a los de naturaleza mineral. Recientemente, se cuenta con algunas tinturas orgánicas satisfactorias. Nunca conviene usar los pigmentos en cantidades mayores que las justas para lograr el color requerido, pues una cantidad excesiva de pigmento puede reducir la calidad del hormigón.

MEZCLAS Y SU DOSIFICACION

La dosificación de la mezcla, excepto en el caso de las hechas con gradación discontinua, se realiza usualmente de la misma manera que para hor-

migón ordinario. Es común mantener baja la relación agua-cemento, no por encima de 0.46, y limitar el asentamiento a no más de 10 centímetros. Las mezclas para las partes superiores de las paredes, por lo general, se secan ligeramente, a fin de prevenir la variación del color que puede resultar a medida que el agua en exceso del hormigón se eleva desde la parte inferior hasta la superior de la pared. Cuando se usan pigmentos minerales es necesario hacer ensayos para garantizar la obtención del color requerido de hormigón una vez éste se endurezca y seque.

En los sitios en donde se vayan a tratar las superficies de hormigón para exponer el agregado, a menudo, se requiere el uso de mezclas con graduación discontinua para proporcionar un porcentaje más alto de agregado grueso, con una mejor distribución del mismo en la superficie del hormigón, y obtener así una apariencia más agradable a medida que se expone el agregado. Se usa un agregado grueso relativamente grande con un intervalo estrecho de tamaños, agregados de tamaño intermedio y material fino compuesto de arena de hormigón o, a menudo, de arena de mampostería.

MEDICION, AMASADO Y TRANSPORTE

La uniformidad en cuanto a materiales y a amasado es extremadamente importante, especialmente cuando se utilizan pigmentos colorantes.

Todo el equipo de dosificación, amasado y transporte debe estar totalmente limpio antes de comenzar cada día y cada turno de producción de hormigón decorativo, especialmente, cuando se está produciendo hormigón blanco o coloreado. Preferiblemente, se aconseja reservar equipo separado para este uso.

Hay que controlar las pilas de almacenamiento de agregado en tal forma que se impida la contaminación, la entremezcla o la segregación. Hasta donde sea posible, el agregado fino y el agregado grueso de tamaño más pequeño deberán mantenerse a un contenido de humedad constante de manera que se impidan las variaciones en el contenido de agua del hormigón y en la consistencia de las tandas de dicho material.

No es raro que las especificaciones requieran que la dosificación y amasado se hagan en el sitio si se trata de una obra grande e importante.

Es preciso mantener un control estricto sobre el contenido de aire y el asentamiento del hormigón, con el fin de proporcionar uniformidad. La temperatura del hormigón fresco debe conservarse razonablemente pareja, y, si es posible, en el intervalo de 18 a 29°C para obtener uniformidad óptima de color. Mientras más altos sean los intervalos de temperatura tanto más difícil será el manejo en forma apropiada del hormigón, el cual tenderá hacia un tiempo de fraguado menor, a líneas de flujo visibles y a posibles juntas frías. Hay que evitar la segregación en todas las etapas de las operaciones.

Se aconseja que el transporte de las hormigoneras a las formaletas sea razonablemente rápido y que se tenga gran cuidado en controlar la programación de las operaciones, para impedir cualquier demora en el período comprendido entre la carga de las hormigoneras y el depósito del hormigón

en el encofrado. Tales demoras, que causan que el concreto se vea retenido en hormigoneras, equipo de transporte, canecas, líneas de bombas, bandas transportadoras, o en cualquier otro sitio, tienden a causar falta de uniformidad en el hormigón que se va colocando.

COLOCACION Y COMPACTACION

Esta etapa es el factor principal en la obtención de un hormigón decorativo aceptable. La rata de colocación debe ser suficientemente lenta para permitir una vibración apropiada, y, sin embargo, suficientemente rápida como para impedir las juntas frías. Todo el proceso de vibración debe estar a cargo de trabajadores entrenados específicamente en el uso correcto de vibradores, con énfasis específico en el hecho de que los de hormigón estén moviéndose en todo momento. El vibrador deberá bajarse rápidamente hasta la parte inferior del vaciado, y luego levantarse lentamente a la superficie. A medida que se levanta el vibrador lenta y constantemente, las burbujas de aire desalojadas de la superficie del encofrado tienen tiempo de elevarse por encima del vibrador hasta la superficie del hormigón. El vibrador deberá permanecer alejado de la formaleta para impedir que dañe su superficie.

Los hormigueros pueden minimizarse grandemente mediante los siguientes métodos: (1) Colocar el hormigón en capas relativamente poco profundas de no más de 40 a 45 cm; (2) vibrando el hormigón un 50 por ciento más del tiempo necesario; (3) vibrando doblemente las mezclas de hormigón más secas (dos inserciones son mucho más efectivas que una simple por el doble de tiempo); (4) revibrando la inferior a medida que se coloca cada nueva capa (imprescindible, penetrando preferiblemente por lo menos 15 cm), y (5) revibrando la parte superior del vaciado durante tanto tiempo y tan profundamente como se hunda el vibrador al funcionar, a causa de su propio peso, y luego sacándolo lentamente.

Si las formaletas son suficientemente rígidas, resultan satisfactorios los vibradores de encofrados aunque pueden requerirse también vibradores internos de cabeza vibrante para remover las burbujas de aire (que son la fuente de los hormigueros) de la superficie formada. Si las formaletas no son suficientemente rígidas, los vibradores de formaleta pueden causar distribución no uniforme del agregado grueso en la vecindad local del vibrador. No hay un sistema universal de vibración; el que funciona mejor en una obra puede no ser satisfactorio en la siguiente. Es necesario permitir que se experimente al comienzo de la obra, para obtener una técnica aceptable. Sin embargo, una vez establecida y aprobada la técnica, debe aplicarse uniformemente en el resto de la obra. En cuanto a la uniformidad y consistencia del hormigón exigidos para el hormigón decorativo, es preferible que haya vibración en exceso y no en defecto.

TERMINADO—TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Lo mismo que en otras operaciones, la uniformidad de la mano de obra es muy importante. Los tratamientos de superficie que, normalmente, se apli-

can a las superficies de hormigón provenientes de formaleta, consisten de varios grados de abrasión (incluyendo no sólo la limpieza con chorro de arena, sino, también, mediante chorro de escoria de acero, tucas de maíz, cascarnes de nueces, arroz, etc.), chorro de agua, con o sin uso de retardadores de superficie; aplicación de ácidos, empleo de martellina y de herramientas manuales.

El lavado con chorro de arena es un tratamiento superficial común y no una operación difícil. Sin embargo, hasta donde sea posible, el equipo de chorro de arena y la cuadrilla deben permanecer inmodificables en toda la obra. Cambios en cualquiera de ellos tienden a producir variación en la apariencia de la superficie terminada. Todos los que tienen que ver con ello han de estar alertas de que los grados más leves de limpieza con chorro de arena dan énfasis a los defectos, particularmente a los hormigueros, visibles en la superficie y revelan defectos previamente ocultos por la piel superficial del hormigón. Rara vez el lavado con chorro de arena remueve, en realidad, deformidades en la textura superficial o marcas de hidratación. En el caso de los grados más fuertes, el hormigón debe ser lo suficientemente fuerte (al menos 140 kg/cm^2) como para prevenir que las partículas de agregado grueso se salgan de su sitio. El chorro de arena puede usarse para obtener un terminado de agregado expuesto, pero con la desventaja de que produce una superficie mate en las superficies del agregado grueso. Los varios grados de chorro de arena se describen, por lo general, como sigue:

Cepillo—Remueve la capa de revestimiento, expone el agregado fino, no lo descubre (descubierto se define aquí como la proyección del agregado grueso, a partir de la matriz, después de la exposición).

Ligera—Se expone el agregado fino y algo del agregado grueso. Color uniforme, revelación de 2 mm (aprox. $1/16$ de pulgada).

Media—Se expone, generalmente, el agregado grueso, revelando un máximo de 6 mm.

Pesada—Se expone el agregado grueso hasta una proyección de $1/3$ de su dimensión, revelando entre 9 y 12 mm; superficie rugosa y dispareja.

La experiencia ha demostrado que la limpieza con chorro de arena de las superficies de hormigón formados con formaleta deslizante no produce un acabado deseable.

El martellinamiento se efectúa con herramientas neumáticas a las que se adapta una martellina, peine o aditamento de múltiples puntas. La mayoría de las operaciones de martellinamiento remueven aproximadamente 5 mm de hormigón. Se debe tener cuidado en las proximidades de los bordes y esquinas y no martellinar antes que el hormigón alcance una resistencia de por lo menos 280 kg/cm^2 .

El pulimento se realiza normalmente con pulidoras motorizadas y no conviene hacerlo sino hasta que el hormigón haya alcanzado una resistencia de por lo menos 210 kg/cm^2 . Se puede pulir a mano con esmeril de alarife, inclusive hormigón de poca edad, siempre y cuando que el pulimento no vaya más allá de un simple contacto con el agregado grueso. El pulimento a mano más profundo se debe demorar lo mismo que el hecho a máquina.

Un tratamiento manual común consiste en quebrar las partes superiores de los picos en un hormigón formado con muchas salientes o una textura similar de manera que se produzca una apariencia de superficie quebrada en las estrías.

Para cortar la superficie se puede utilizar el golpe de un chorro de agua a alta presión (105 kg/cm^2 o más). Tal método, produce por lo común, una superficie de agregado expuesto algo similar a la que se describe más adelante.

Generalmente, se considera que todos los tratamientos anteriores son apropiados para superficies provenientes de formaletas. Sin embargo, también se puede hacer en superficies que no tienen tal condición, aunque en este caso es más común imprimir un patrón en el hormigón plástico o darle un acabado de agregado expuesto.

ACABADO DE AGREGADO EXPUESTO

El acabado de agregado expuesto se produce removiendo de la superficie de hormigón la pasta arena cemento, por lo general, mediante la combinación de chorro de agua y cepillado con cepillo de fibra, de manera que quede expuesto el agregado grueso (Figs. 14-7 y 14-8). Es común usar en el



Fig. 14-7—Muro de contención con agregado expuesto que conserva su buena apariencia después de 60 años.



Fig. 14-8—La apariencia de estos paneles de hormigón liso resulta perjudicada por manchas mientras que los paneles con agregado expuesto se muestran impecables.

hormigón un agregado grueso atractivo y, a menudo, mezclas con graduación discontinua, a fin de aumentar la cantidad de agregado grueso disponible para exposición.

En el caso de superficies producidas sin formaleta este método de exposición es relativamente simple. El punto principal que se debe observar es el del momento adecuado de hacerlo. La operación de exposición deberá hacerse tan pronto el hormigón se haya endurecido lo suficiente como para que no desaloje las partículas de agregado grueso. Algunas veces, se rocian retardadores de superficie en la del hormigón fresco, en cuyo caso el tiempo no es tan importante. En lugar de que el agregado grueso tenga el atractivo deseado en la mezcla de hormigón, se puede extender una capa de dicho agregado sobre la superficie de hormigón ordinario al final de la operación de acabado y que luego al alisar, se incruste en la superficie.

En superficies producidas con formaleta, el proceso se vuelve más complicado. Algunas veces se aplica, inmediatamente antes de colocar el hormi-

gón, un retardador de fraguado superficial al interior de las formaletas, que al hacer contacto con la superficie del hormigón retarda su fraguado lo suficiente para que el agregado grueso pueda exponerse mediante lavado y cepillado de la superficie cuando el encofrado se remueva a las 24 horas. Otro método que se utiliza es el de transferencia de agregados, en donde el agregado atractivo se pega al interior de las formaletas con goma soluble en agua antes de vaciar el hormigón. La pasta de arena-cemento rodea las partículas y puede removerse de la superficie después de quitar la formaleta. Un tercer método es el de Arbeton, en el cual los agregados atractivos se mantienen contra las formaletas mediante una malla pequeña y solo la pasta del hormigón se cuele a través de la malla para anclar el agregado. En el caso de paneles prefabricados, el agregado grueso se puede extender sobre una capa de arena (Fig. 14-9). Para información adicional véanse las Referencias 55 y 90.

CURADO

Los métodos utilizados y los tiempos de las operaciones de curado se deben mantener iguales, con el fin de producir un color uniforme en el hormigón.



Fig. 14-9—Hay un método con el cual se obtiene una superficie de agregado expuesto en panel de pared prefabricado de voltear, consistente en extender una capa de agregado sobre lecho de arena, apisonándola para que el material quede embebido y fijo en la arena, en vaciar luego el hormigón sobre el agregado. Algunas veces, antes de vaciar el hormigón, se le da una lechada al agregado para mantenerlo en su sitio. Se levanta el panel, una vez curado, y se lava la arena que haya quedado adherida allí.

Se ha de tener cuidado de evitar que las cubiertas protectoras dañen la superficie del hormigón fresco. La aplicación dispareja de vapor o de agua puede causar la presencia, más o menos temporal, de manchas. Si se utilizan láminas plásticas, no se debe permitir que se arruguen, pues las arrugas producen la apariencia de motas por condensación dispareja de la humedad.

Cuando se utilizan formaletas de madera, un buen método de curado es el de mantener el encofrado húmedo. Es preciso sellar las superficies de la formaleta para impedir la ocurrencia de manchas.

Cuando se usa curado húmedo, hay que tener cuidado de asegurar que el agua no manche. Queda proscrito el uso de tuberías de hierro o de acero. Al utilizar láminas plásticas para el curado, se recomienda lograr que las hojas se ajusten bien contra la superficie del hormigón en todos los puntos; de lo contrario, se presentará un moteado (efecto de invernadero). Cuando se usa curado mediante membrana, es preciso hacerlo con material incoloro, generalmente, de tinte fugitivo. El material deberá ensayarse sobre una superficie que no vaya a quedar expuesta, antes de usarlo sobre una que si lo estará, para asegurarse que no causa manchas pocos días después de su aplicación.

REPARACIONES

Una reparación pobre en hormigón decorativo puede lucir peor que el defecto inicial. No se recomienda aceptar reparaciones hechas con la mezcla de un puñado de cemento gris y dos puñados de arena colocada en su sitio con el pulgar. La industria del hormigón cuenta con artesanos hábiles que pueden mezclar cementos, agregados y resinas epóxicas de manera que el área reparada no sea detectable a simple vista.

Es preciso que el contratista emplee o tenga a su disposición artesanos hábiles en tal tipo de trabajo, pues cabe esperar cierta cantidad de daños e imperfecciones en la producción del hormigón decorativo. Por consiguiente, una especificación que no permita repararlo no es realista. Por otra parte, cualquier reparación hecha tan mal que se haga obvia, debe rechazarse inmediatamente. En el Capítulo 11 se suministra información detallada sobre reparaciones del hormigón decorativo.

MIEMBROS PREFABRICADOS

Almacenamiento de miembros prefabricados

Las condiciones de luz solar y de intemperie pueden afectar el color y la apariencia de la superficie de hormigón. Cuando sea práctico, las unidades prefabricadas deberán almacenarse de tal manera que obtengan igual exposición. Este problema no es extremadamente serio, puesto que la variación de color debida a la exposición se igualará por sí misma con el tiempo, después que las unidades se coloquen en la estructura. El almacenar las unidades, una encima de otra, puede causar problemas; en tal caso, se aconseja

utilizar bloques de madera entre las unidades, para impedir el daño. Los bloques de madera y las cuñas tienen que ser de material que no vaya a decolorar la superficie arquitectónica.

Transporte de unidades prefabricadas

El polvo de la carretera puede causar manchas antiestéticas en el hormigón prefabricado y puesto que a veces resulta difícil remover tales manchas, es mejor evitarlas, cubriendo los miembros durante el transporte. El bloqueo y apoyo inapropiados durante el transporte son las causas más comunes de agrietamiento de los miembros.

Montaje de unidades prefabricadas

Es preciso ejercer el debido cuidado para prevenir el daño a las superficies expuestas, lo mismo que indicar y aprobar claramente en los planos de taller y de montaje, la localización y uso de insertos para el izado, con anterioridad a los procesos de producción y de montaje.

PROTECCION Y LIMPIEZA POSTERIOR AL ACABADO

El hormigón decorativo aceptable queda expuesto a ruina por la falta de cuidado de quienes desempeñan otros oficios posteriores a la terminación del trabajo sobre la superficie de hormigón expuesto. El montaje temporal de acero no protegido encima del hormigón puede producir manchas de óxido desagradables a la vista. El salpicado de soldadura puede producir marcas pustulosas. Similarmente, el lavado con ácido del hormigón decorativo puede dañar en forma permanente el vidrio u hormigón circundante si no se remueve inmediatamente. La única solución real a estos problemas es tener suficiente cuidado. Sin embargo, el sellamiento de la superficie del hormigón decorativo prefabricado con anterioridad al vaciado de hormigón o a la aplicación de lechadas por encima de él, permitirá remover más fácilmente las filtraciones y goteras de uno y otra.

ACEPTACION FINAL

Las consideraciones y actitudes prescritas anteriormente en estos capítulos buscan conducir a una relación exitosa de trabajo entre el arquitecto, el inspector y el contratista. La consideración primaria para lograr buen entendimiento y armonía radica en entender que la perfección es una meta ideal pero inalcanzable.

Los problemas de mayor predominancia que se encaran en el momento de la inspección final son las grietas, los defectos superficiales, los agujeros de sopladura u hormigueros, y las variaciones de color. Existe la creencia errónea de que la limpieza con chorro de arena cancela mágicamente estos defectos, pero la experiencia ha demostrado que, por el contrario, dicha ope-

ración los amplifica. El chorro de arena, si se intenta para mejorar la superficie, como, por ejemplo, para la remoción de mugre, debe ser muy suave y utilizarse con cuidado.

Grietas—En hormigón vaciado en el sitio, las grietas se asocian, generalmente, con la contracción de fraguado. Aunque un artesano hábil puede recomendarlas, es mejor prevenirlas incorporando suficientes juntas de control de agrietamiento en el diseño arquitectónico, o suficiente refuerzo con el mismo propósito, a fin de minimizar su ancho potencial.

Los defectos de la superficie incluyen áreas de colmena, agrupaciones de hormigueros, reventones de agregados, daño local causado por el manejo, etc. La aceptabilidad de dichos defectos superficiales resulta difícil de definir, y depende grandemente de la distancia del ojo del inspector o de cualquier otro observador a la superficie del hormigón.

Comparativamente, puede tolerarse un defecto superficial en el nivel del tercer piso con mayor amplitud que cuando queda localizado en un sitio adyacente a la entrada de la estructura. En consecuencia, la evaluación del inspector deberá considerar la distancia del observador potencial a la superficie en cuestión en lugar de la apariencia a un brazo de distancia de la cimbra.

Con esta idea en mente, el International Council for Research Studies and Documentation (CIB)⁹¹ ha sugerido métodos para establecer tolerancias en las imperfecciones del hormigón.

Hormigueros—En el estado actual del arte, debe entenderse que los hormigueros forman parte del hormigón lo mismo que la arena y el cemento. En un párrafo previo se estableció que los hormigueros pueden minimizarse, aunque no eliminarse, mediante el uso de técnicas apropiadas para la vibración del hormigón. Como con otros defectos superficiales, el tamaño y distribución de tales huecos debe juzgarse sobre la base de la vista potencial y no sobre la de una inspección a un palmo de la superficie.

Variación de color—Aun si se toman todas las precauciones, es de temer que haya cierto grado de variación del color. En general, las disputas que se refieren a ella se presentan con mayor frecuencia al tratar de unidades prefabricadas, que de trabajo fundido en obra. A menudo, el problema es minimizable mediante la colocación selectiva de las unidades de prefabricación sobre la base de color o de textura, en lugar de la del programa de carga y entrega.

Sin embargo, como se señaló en el párrafo previo, la variación de color proviene a menudo de condiciones variables de curado. Por consiguiente, el tiempo, la luz solar y la exposición a los elementos pueden emparejar la variación en una gran área. A menudo, la variación de color se reduce al someter la superficie a una serie de ciclos de mojadura y secamiento, por medio de manguera.

CAPITULO 15 — METODOS ESPECIALES DE HORMIGONADO

Los capítulos precedentes cubren la inspección de los tipos más comunes de construcción de hormigón en condiciones normales. La información de este capítulo es complementaria y cubre brevemente las clases especiales de trabajo de hormigón que se dan en lista posterior, con referencia especial a la inspección. Para asegurar un resultado satisfactorio de este trabajo especial, es importante que el inspector estudie discusiones más detalladas, como, por ejemplo, las referencias cuya lista se da al final de cada tópico en este capítulo.

USO DE FORMALETAS DESLIZANTES EN ESTRUCTURAS VERTICALES

La construcción con formaletas deslizantes es similar a un proceso de extrusión y consiste en que el sistema de encofrado se levanta a velocidad controlada. El hormigón plástico colocado en la parte superior, llega a ser estable físicamente en el momento en que el encofrado la deja por debajo. Entre las muchas estructuras típicas construidas con formaleta deslizante están los silos, chimeneas, silos de almacenaje, pilas de puente, tanques de agua, revestimientos de pozos, núcleos de servicio y muros de carga de edificios (Figs. 15-1 y 15-2). (NOTA: Un encofrado que no se mueva continuamente no se denomina deslizante; el que permanece estacionario durante el vaciado del hormigón, y se mueve hacia arriba por pasos, como se muestra en la Fig. 8-3, recibe el nombre de formaleta trepadora, de saltos, o izada).

Las proyecciones transversales a la dirección del deslizamiento disminuyen la eficiencia del proceso de formaleta deslizante.

Requisitos de la mezcla

Es posible que el hormigón de las formaletas deslizantes necesite un porcentaje mayor de arena que el colocado en forma convencional. En cuanto al tamaño máximo del agregado deberá ser menor que el espesor del recubrimiento del refuerzo.

Cuando se selecciona una mezcla, el tiempo de fraguado es de importancia primordial. Por lo general, en el borde de la formaleta que va detrás se requiere una resistencia a la penetración entre 3.5 y 14 kg/cm², medida de acuerdo con la norma ASTM C 403. El hormigón con resistencia a la penetración un poco menor que 1 kg/cm² tiende a escurrirse y caer mientras que el de resistencia a la penetración de 35 kg/cm² ya ha llegado al fraguado inicial. A medida que se aproxima éste, la fricción dificulta el deslizamiento y la formaleta tiende a arrastrar el hormigón, lo cual resulta, posteriormen-

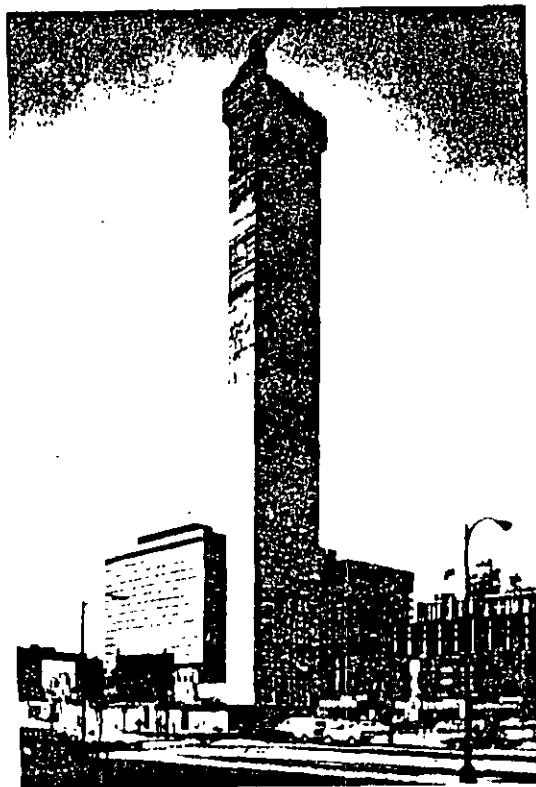


Fig. 15-1—Vaclado, con formaleta deslizante, del núcleo de servicios de un edificio de oficinas de más de 160 m de altura.

te, en la formación de grietas y cuadros horizontales; además, la formaleta trata de rayar las caras de la pared, con lo cual se complica el acabado de la superficie. Es necesario efectuar ensayos de laboratorio para medir con precisión la rata de fraguado de la mezcla escogida, a la temperatura que el hormigón vaya a tener en las formaletas.

En caso necesario pueden usarse retardadores o acelerantes apropiados para modificar y controlar el fraguado del hormigón.⁹³

Encofrados

A medida que se vacía el hormigón, el encofrado se va izando lentamente a velocidad previamente determinada, con base en la velocidad de fraguado del hormigón. Las formaletas tienen aproximadamente 1.20 m de altura y las velocidades de deslizamiento están, por lo general, entre 15 y 40 cm por hora. Puede darse a las formaletas sección ligeramente trapezoidal para fa-

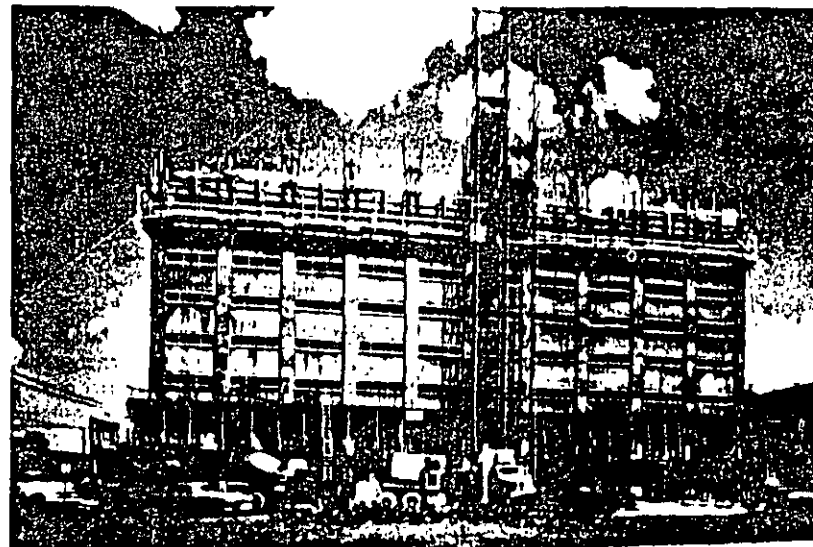


Fig. 15-2—Formaletas verticales deslizantes, casi en el remate de un edificio de apartamentos de 10 pisos. Todos los muros exteriores y los principales interiores de los 8 pisos superiores se vaclaron simultánea y continuamente.

cilitar que el hormigón se separe de ellas tan pronto como el fraguado ocurra en la forma debida. Un adelgazamiento de 5 mm por metro de altura de la formaleta es normal. El ancho de las formaletas a media altura, aproximadamente, deberá ser igual al espesor deseado para la pared. Es preciso que las formaletas se mantengan niveladas a medida que se desplazan hacia arriba, o de lo contrario ocurrirán pegamientos, rayaduras y arrastre del hormigón.

Los tapones para huecos de ventanas, puertas, etc., se forman fijando marcos de polietileno, cartón, hormigón prefabricado o madera, de tal manera que permanezcan en su sitio a medida que la formaleta pasa por ellos. Naturalmente, que han de estar atados al refuerzo.

Acero de refuerzo

Es esencial que los detalles del acero de refuerzo sean sencillos, por las restricciones de tiempo que se tienen para el vaciado e inspección durante el proceso constructivo. En construcción con formaleta deslizante es de importancia especial que todo refuerzo se coloque cuidadosamente en la forma que muestran los planos. Las varillas verticales se colocan normalmente por medio de plantillas montadas, más o menos, un metro por encima de las formaletas, que se mueven con ellas, o mediante varillas espaciadoras que se amarran a la parte superior de la formaleta. Los traslapes verticales

han de estar escalonados. Las varillas horizontales se colocan a medida que progresa el trabajo en una capa a la vez. No es aconsejable colocar un gran número de varillas horizontales por adelantado, ya que el control de su espaciamiento se hace difícil debido a que el acero horizontal desaparece continuamente en el hormigón a medida que sube la formaleta. Las varillas horizontales tienen que estar atadas o puestas firmemente en su sitio, a tiempo que sus traslapes deben estar escalonados y no en línea vertical, para evitar así la llamada acción de "cremallera".

Para facilitar la colocación e inspección del refuerzo horizontal, es necesario hacer marcas con punzón o con crayolas sobre varillas verticales seleccionadas o idearse otros tipos de controles de espaciamiento. Las varillas de refuerzo deberán tener longitudes relativamente cortas, de 3 a 4 m (aprox. 10 a 12 pies) para permitir su fácil manipulación, a menos que sea posible colocar sin dificultad varillas de mayor longitud.

Control del vaciado del hormigón

Por lo general, el hormigón se coloca en la parte superior de las formaletas en capas de poca profundidad, aproximadamente entre 15 y 23 cm. Hay que mantener las formaletas tan llenas como sea posible para permitir que el hormigón tenga tiempo suficiente de alcanzar su estabilización antes de quedar expuesto.

Normalmente, sólo se vibra la capa superior del hormigón cuidando que el vibrador penetre en la capa inferior, y no por más tiempo del necesario. Cuando el deslizamiento se hace a las velocidades usuales, las vibraciones excesivas o más profundas pueden retardar las propiedades esenciales de endurecimiento pronto de la mezcla, e inclusive, lo que es más grave, causar escurrimiento o caída por debajo de las formaletas.

El tiempo de fraguado del hormigón que se está vaciando deberá controlarse frecuentemente, y en caso necesario, ajustarse en forma inmediata la velocidad.

Para verificar el progreso del fraguado del hormigón se recomienda empujar verticalmente una varilla de 13 mm de diámetro dentro de éste. Si la varilla puede llevarse hasta por debajo de la mitad de la altura del hormigón en las formaletas, ello indica que el fraguado del hormigón no está ocurriendo lo suficientemente rápido y, por lo tanto, es preciso reducir la velocidad de izamiento de la formaleta.

El asentamiento dará cierta medida de la uniformidad de la mezcla, pero ésta tiene que ser obvia para el inspector o capataz experimentando simplemente por su apariencia visual. Los asentamientos mayores indicarán un aumento en el tiempo de fraguado del hormigón y los menores, una disminución.

Cuando se trabaja con formaleta deslizante es difícil cumplir las tolerancias establecidas para el trabajo producido en forma convencional. Si no se especifican otros valores, generalmente, se consideran aceptables tolerancias verticales de 1.7 mm por metro de altura y una tolerancia en los niveles de los huecos y elementos insertados de ± 13 mm.

Terminación y curado

Es común tener una segunda plataforma, que va a la zaga, para efectuar el acabado y curado. Los defectos en el hormigón fresco que acaba de dejar el encofrado pueden corregirse rápidamente. Los pequeños agujeros normalmente se llenan y se logra una apariencia uniforme con una alisadora de esponja. No es recomendable el acabado con palustre o llana de acero pues la superficie alisada queda más susceptible a cuartearse y a la aparición de grietas irregulares y de otras imperfecciones.

Por lo general, inmediatamente después de terminar el proceso se aplica un compuesto de curado. También es posible curar con agua, por medio de una cortina húmeda de longitud apropiada, que se lleva y se humedece desde la plataforma de acabado. Sin embargo, los problemas que suele causar el viento, las variaciones de presión y las boquillas que se tupen, han hecho que el primer método se use más comúnmente. Si se desea guía adicional sobre las estructuras verticales construidas con formaleta deslizante véanse las Referencias 46, 92 y 93.

TUBERIA FUNDIDA EN SITIO CON FORMALETA DESLIZANTE

La tubería fundida en el sitio se construye en una zanja excavada previamente, de lados aproximadamente verticales y base circular. La parte externa inferior del tubo se forma contra la base circular de la zanja, mientras que la interior se construye con una formaleta deslizante de diseño especial.

Las tuberías hechas con este procedimiento se utilizan en alcantarillados de línea de flujo o de baja presión, en drenajes de aguas lluvias y para propósitos agrícolas. En la práctica, se han construido tubos con diámetros que varían entre 25 cm y 2.5 m.

Encofrado

Puesto que la zanja constituye una porción de la formaleta, con frecuencia deberán verificarse su forma, alineamiento y nivel para asegurar la obtención del espesor apropiado de la pared del tubo. Lo mismo hay que hacer con la parte circular del lado inferior de la zanja, que es la superficie que da la forma, para verificar que esté firme, limpia y libre de irregularidades serias. Es preciso sacar toda agua empozada en la zanja, pero si ésta está muy seca, se requiere humedecerla para lograr un curado mejor del hormigón.

El interior del tubo se forma con encofrados metálicos o con un tubo inflado de diseño especial. La parte superior del tubo ordinariamente se termina a mano, pero los lados pueden hacerse parcialmente con formaleta.

Control de la colocación del hormigón

El hormigón puede colocarse en una operación manual de dos pasos o en una mecánica de uno o dos pasos. En la operación de dos pasos, se coloca primero la porción inferior del tubo, seguida poco después por la porción

superior. Deberá verificarse con frecuencia la condición de la parte superior de las paredes de la sección inferior, antes de colocar la parte superior y removerse las natas o materia extraña susceptibles de afectar adversamente la impermeabilidad de la junta de construcción.

Con prescindencia del método utilizado, es preciso inspeccionar continuamente el tubo de hormigón, a medida que deja la formaleta, para detectar y resolver los problemas en la distancia de viaje más corta posible. Para que la inspección resulte apropiada, el tubo debe mirarse tanto desde el exterior como desde el interior. Información adicional sobre la tubería de hormigón fundida en sitio con formaleta deslizante, se encuentra en las Referencias 8, 94 y 95.

CONSTRUCCIONES CON MUROS PREFABRICADOS DE VOLTEAR (TILT-UP)

En la *construcción con muros prefabricados de voltear*, las paredes de un edificio se funden horizontalmente en el sitio, luego se voltean o izan en posición vertical, se colocan en su lugar y se hacen parte integrante de la estructura (Fig. 15-3). Comúnmente se construyen de esta manera paredes de hasta 3 pisos de altura. Estas pueden tener tratamiento decorativo, ser muros de carga, de servicio, o simplemente de cerramiento (Fig. 15-4)

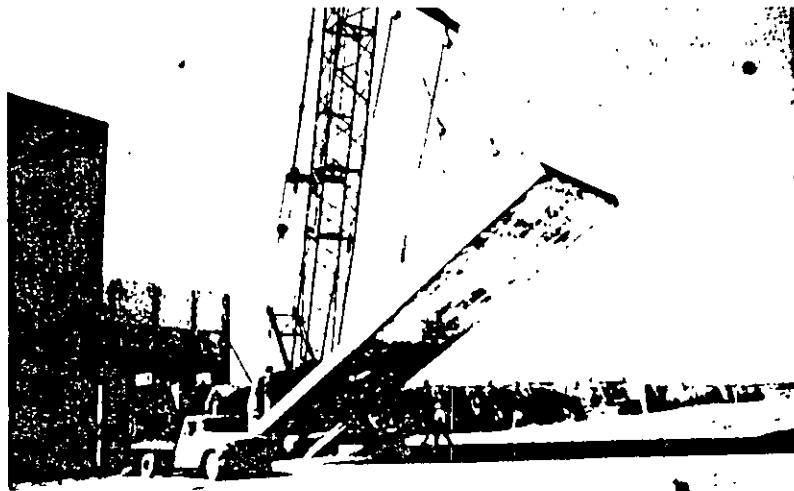


Fig. 15-3—La distinción entre construcción prefabricada y construcción por volteo consiste en que en esta última los paneles siempre se vacían en la obra y son, por lo general, demasiado grandes para poder ser transportados desde una planta de prefabricación. Aquí se ve un panel de 45 ton en el momento del montaje.

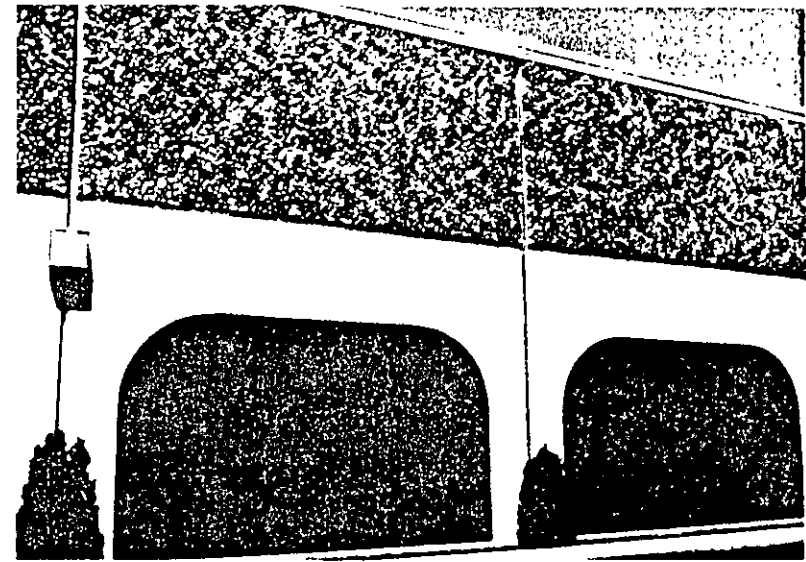


Fig. 15-4—La construcción por volteo permite la expresión ilimitada de los tratamientos arquitectónicos en el diseño y en los acabados exteriores.

Plataforma de vaciado

Las imperfecciones superficiales de la plataforma de vaciado se mostrarán en el panel de pared. Por consiguiente, las plataformas para paneles especiales de pared, con tratamiento decorativo, pueden requerir un alto grado de terminación para lograr la superficie especificada. En aquellos casos en que la apariencia de la superficie no es importante, puede hacerse uso del suelo. En general, sin embargo, se utiliza la losa de piso del edificio como superficie de fundición, en ocasiones, con algún resanado o terminación (Fig. 15-5). Cuando se utilizan las losas de piso para fundir las paredes, las tolerancias de la losa deben satisfacer también las de las paredes, que son normalmente de 2 mm por metro. Es esencial inspeccionar cuidadosamente la superficie de la losa para garantizar que no existen defectos superficiales que puedan adherirse mecánicamente a la pared de la losa e impedir su volteo.

Formaletas

Las únicas formaletas que normalmente se necesitan en la construcción con muros prefabricados son las que van alrededor de los bordes y de las aberturas. Las primeras deberán ser lo suficientemente rígidas y bien arriostadas para conservar los bordes en buen alineamiento, particularmente, los que corresponden a las partes superior e inferior de la pared (Fig. 15-6).

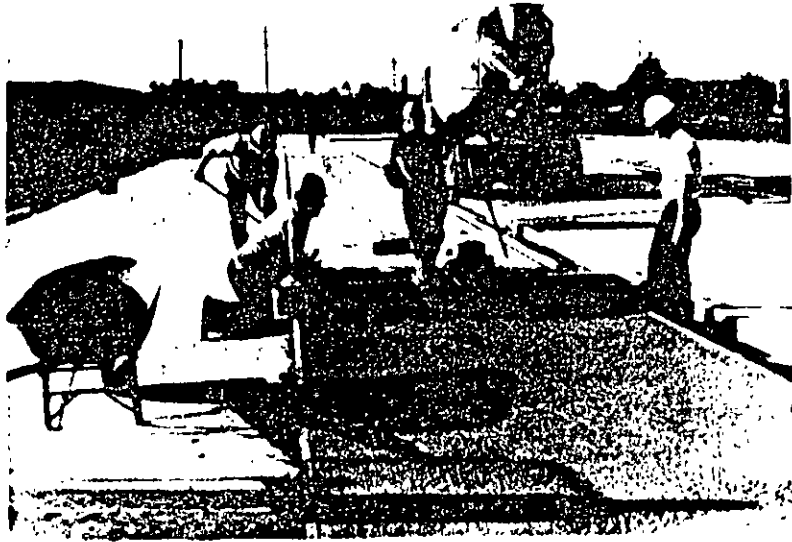


Fig. 15-5—En construcción tipo emparedado se coloca un aislante rígido sobre la primera capa de hormigón y luego se vacía una segunda capa de éste, encima del aislante, en aquellos casos en que se requiere una superficie interior durable para la pared.

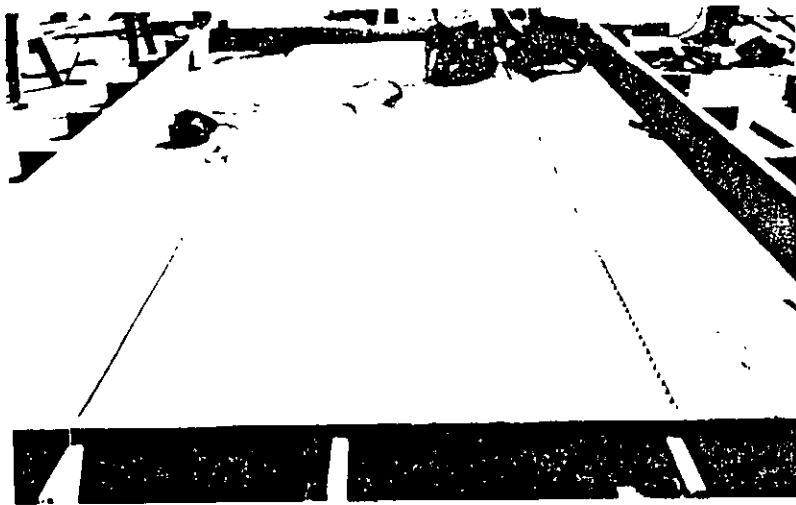


Fig. 15-8—Formaleta de madera para una pared prefabricada de voltear, con revestimiento rústico en posición.

Prevención de la adherencia

Comúnmente se utilizan compuestos líquidos, de curado de membrana, para prevenir la adherencia de los muros prefabricados a la losa de piso. La aplicación se hace en dos o más capas, aplicándose la primera poco después del vaciado de la losa para sellar su superficie, y la final, poco antes del vaciado del hormigón de la pared para impedir su adherencia. Una de las mayores preocupaciones del inspector consiste en verificar que ambas capas de la membrana se coloquen uniforme y completamente sobre la superficie de vaciado. Es aconsejable aplicar en dos direcciones el producto que impide la adherencia.

Hormigón

Es preciso colocar el hormigón con el mínimo asentamiento que sea práctico y trabajarse en el lugar sin causar daño a la capa de revestimiento de la plataforma. Se aconseja tener cuidado especial para obtener un hormigón denso y homogéneo a lo largo de los bordes inferiores del panel.

Algunos tratamientos arquitectónicos especiales de la superficie, como por ejemplo el acabado con piedritas, exigen el vaciado con la cara hacia arriba para poder controlar mejor la uniformidad de la textura.

Montaje

El inspector deberá verificar que el procedimiento que se use sea el previamente diseñado. Las paredes tienen que desarrollar suficiente resistencia para prevenir el agrietamiento durante el volteo. También puede causar agrietamiento en el panel el levantarlo por puntos distintos de los indicados en el diseño, o con demasiada fuerza cuando se dificulta romper la adherencia, o el sacudirlo o removerlo a tirones.

Las paredes prefabricadas pueden colocarse verticalmente antes, durante o después del montaje del marco estructural. Si se colocan antes o durante el montaje de éste puede necesitarse arriostramiento temporal (Fig. 15-7). Es obligación del inspector verificar que el contratista de montaje haya puesto adecuada atención a este asunto. Las paredes se anclan normalmente al marco de la estructura, mediante pernos, soldadura, o endentados en columnas prefabricadas o fundidas en sitio. La transferencia de esfuerzos a través de las conexiones de la pared prefabricada de hormigón es fundamental y no permite la menor desviación de los documentos de diseño, a menos que el ingeniero estructural la autorice.

Para obtener guía adicional sobre construcción de paredes prefabricadas, véanse las Referencias 96, 97, 98 y 99.

CONSTRUCCION DE LOSAS IZADAS

En la construcción de losas izadas, las losas de piso y de techo del edificio se vacian una encima de la otra a nivel del terreno o próximo a él, dejando

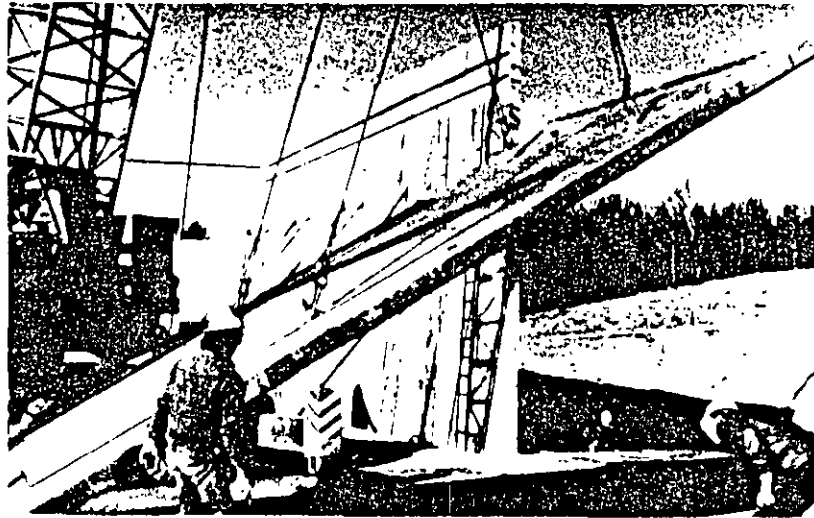


Fig. 15-7—Montaje por volteo de un panel con arriostramiento de tubo ya fijado. El arriostramiento estabiliza el panel del muro hasta que toda la estructura quede convenientemente amarrada.

aberturas alrededor de las columnas del edificio. Las losas, después de ser curadas suficientemente, se izan con gatos, una tras otra, a la posición apropiada y luego se conectan a las columnas (Fig. 15-8).

Encofrado

El único encofrado que normalmente se requiere para el vaciado de losas izadas es el que va alrededor de los bordes y en las aberturas. Si los cielos rasos del edificio van a quedar expuestos, es preciso tener especial cuidado en el terminado de las losas ya que cualquier imperfección en la parte superior de una de ellas se notará en la parte inferior de la losa que le queda por encima. Por otra parte, un terminado burdo puede impedir el izamiento pues permite que se desarrolle adherencia mecánica entre las losas.

Prevención de la adherencia

Se acostumbra utilizar compuestos de curado de membrana en forma líquida, para prevenir la adherencia de las losas izadas. Una de las mayores responsabilidades del inspector será verificar que la membrana quede colocada uniformemente y cubra por completo cada losa. La aplicación poco cuidadosa de los productos eliminadores de adherencia ha sido uno de los mayores problemas en la construcción de losas izadas.

Las láminas de polietileno son excelentes para impedir la adherencia; sin embargo, se suelen presentar algunas arrugas durante el vaciado del hormi-

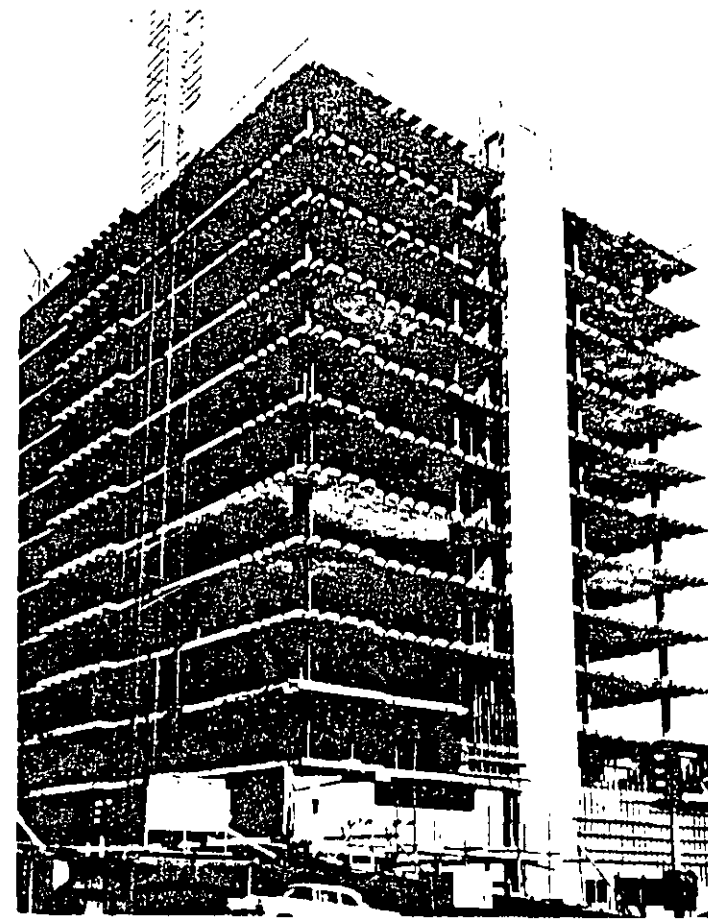


Fig. 15-8—Construcción por izamiento de losas de un edificio de 13 pisos, en que las losas de hormigón postensado se apoyan en columnas de acero y en torres de hormigón hechas con formaleta deslizante.

gón que pueden causar un acabado pobre. Por eso, al utilizarlas, se debe tener especial cuidado para impedir su arrugamiento si los cielos rasos van a quedar expuestos.

Montaje

Cuando el hormigón se ha endurecido lo suficiente, las losas se levantan sucesivamente a su posición final por medio de gatos montados encima de las columnas del edificio. El inspector deberá verificar que los procedimien-

tos usados para el izamiento coincidan con los supuestos en el diseño. En la Referencia 46 se encuentran guías adicionales sobre la construcción de losas izadas.

HORMIGON CON AGREGADO PRECOLOCADO

El hormigón precocado se obtiene colocando primero agregado grueso compactado y rellenando luego los vacíos con inyección de lechada. El hormigón de agregado precocado difiere del convencional en que contiene un porcentaje más alto de agregado grueso, y, a causa del contacto punto a punto de éste, tiene aproximadamente la mitad de su contracción de secamiento.

Colocación del agregado grueso

El agregado grueso tiene que estar bien gradado, desde cerca de los 19 mm hasta el tamaño más grande que pueda colocarse sin producir segregación excesiva. El contenido de vacíos del agregado grueso, después que se coloque éste en el encofrado varía generalmente entre 38 y 48 por ciento. El agregado se ha de lavar y tamizar inmediatamente antes de colocarlo en las formaletas (Fig. 15-9), de manera que quede libre de material de tamaño inferior y que esté húmedo en la superficie en el momento de inyección de la lechada. Los agregados secos propician un mal llenado de los vacíos y reducen la adherencia del mortero con el agregado grueso.

Materiales y mezcla de la lechada

La mezcla de lechada está compuesta básicamente por cemento portland, arena y agua. Algunos aditivos como puzolanas, fluidificantes, agentes de expansión, agentes incorporadores de aire, o materiales colorantes son modificadores efectivos. Comúnmente se emplean relaciones cemento-arena variables entre 1:1 y 1:2 por peso, pero a veces se ha llegado a relaciones hasta de 1:3 para lechada estructural, si bien, en general, no es deseable exceder de 1:2. La arena para la lechada deberá estar bien gradada y el 95 por ciento pasar el tamiz No. 16, con un módulo de finura entre 1:2 y 2:0.

Pueden usarse mezcladoras de eje horizontal o vertical, del tipo de paletas, similares a una mezcladora de mortero de gran escala.

No se recomienda emplear hormigoneras convencionales de tambor giratorio, a menos que se alargue el tiempo de amasado, pues la acción correspondiente es menos efectiva que en los equipos de alta velocidad. Se prescribe tener un tanque de agitación para la lechada, con el fin de permitir el uso efectivo óptimo del equipo de amasar y proporcionar, al mismo tiempo, capacidad de almacenamiento. Antes de la bomba, deberá colocarse una malla con aperturas comprendidas entre 5 y 10 mm, para remover material extraño de tamaño muy grande.

Es preciso controlar la consistencia de la lechada que contenga arena fina, por medio del cono de flujo estándar, de acuerdo con la Norma

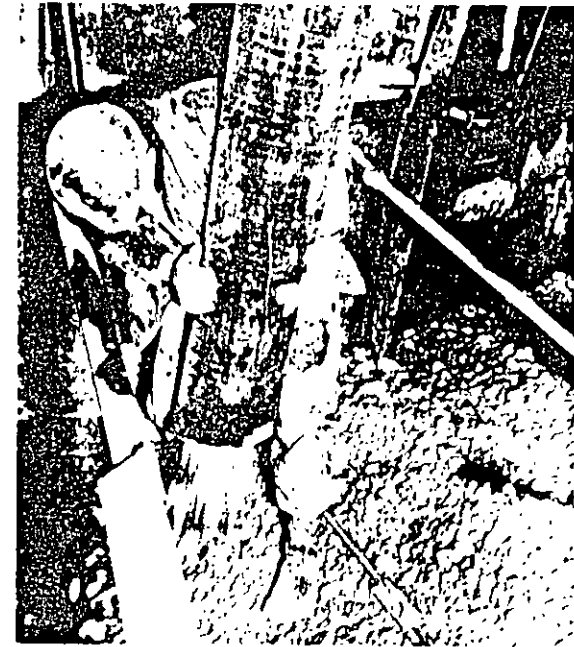


Fig. 15-9—Colocación del material en construcción de agregado precocado, vertiéndolo, una vez lavado, con una manga de caucho tipo "trompa de elefante".

CRD-79¹⁷ del Cuerpo de Ingenieros. Los cilindros de ensayo se harán según la Norma CRD-C84¹⁸ de la misma entidad y se ensayarán conforme a las normas apropiadas ASTM.

Operaciones de inyección

Normalmente, la lechada se inyecta por medio de tubos insertados, de 19 a 25 mm de diámetro espaciados entre 1.8 y 2.4 m, de centro a centro. Los tubos de inyección se extienden horizontalmente, a través de la formaleta, o, verticalmente, desde encima de ella. Los de inyección vertical tienen que extenderse lo necesario para quedar dentro de los 15 cm inferiores de la formaleta.

Es común inyectar la lechada en capas horizontales o por técnicas de avance en pendiente. Con cualquier sistema, la inyección deberá comenzar desde el punto más bajo de las formaletas. En el método horizontal, la lechada se inyecta en secuencia a través de cada tubo insertado para levantar su nivel en cada punto de 0.9 a 1.5 m o menos, si es necesario, para asegurar que la capa siguiente se inicie cuando la de abajo todavía está blanda. Los tubos se retiran, entonces, a distancia apropiada y se continúa la inyección.

En el método de pendiente que avanza se comienza la intrusión en un extremo de la formaleta y se efectúa el bombeo a través de filas de inserciones en tal forma que la superficie de la lechada adopta una pendiente suave.

Es preciso disponer de tubos de ventilación en todos los sitios en que la lechada, al subir, puede atrapar agua o aire bajo la superficie de las formaletas.

Con el fin de vigilar constantemente el nivel de la inyección, se prescribe usar pozos de sondeo, tubos insertados horizontales, o alambres detectores calibrados electrónicamente. Los pozos de sondeo pueden dejarse en sitio.

Hay que limpiar el equipo y todas las líneas de inyección después de cada turno para que no conserven costras de lechada endurecida.

Si se desea guía adicional sobre la construcción de hormigón con agregados precolocados, véanse las Referencias 8, 24, 27 y 100.

CONSTRUCCION DE HORMIGON BAJO AGUA

No es recomendable colocar hormigón bajo agua, a menos que resulte impracticable hacerlo entre aire, y entonces sólo siguiendo en forma expresa las especificaciones o el concepto del ingeniero. Este tipo de colocación se utiliza primordialmente para ataguías, "caissons", pilares de puente y muros de diques secos. El hormigón que se coloca bajo agua rara vez queda tan uniforme como el puesto en seco y, por consiguiente, no resulta aceptable para secciones pequeñas o delgadas.

Equipo y método

Comúnmente, el hormigón se coloca bajo agua, bien sea por el método de agregado precolocado o bien por el método "tremie", y, a veces, en sacos de tela tejida.

El método de agregado precolocado ya se discutió en este capítulo. La lechada, al ascender, desplaza el agua que ocupaba las formaletas.

El hormigón "tremie" se coloca bajo agua, alimentándolo por gravedad a través de un tubo vertical, uno de cuyos extremos está por encima del agua, para cargar el hormigón, y la parte inferior sumergida en el que está siendo colocado. El diámetro del tubo "tremie" deberá ser aproximadamente 8 veces el tamaño máximo del agregado. Primero se tapona el "tremie" y se baja hasta quedar en posición; luego, al llenar el tubo con hormigón, el tapón sale expulsado y el hormigón forma un sello alrededor de la base del tubo "tremie". El tubo se va izando lentamente durante el vaciado, manteniendo siempre su base embebida en el hormigón. Las velocidades de colocación varían normalmente entre 0.5 y 3 metros de altura por hora.

En sitios difíciles o donde no resulte simple evitar que el agua corra, puede ser necesario usar sacos de tela gruesa llenados parcialmente con hormigón. Un buzo deberá colocar cuidadosamente los sacos, siguiendo un sistema de travesaños y tirantes, de manera que toda la masa quede entrelazada. Es preciso que los sacos usados con este fin estén libres de materiales dañinos al hormigón, como por ejemplo: azúcar, fertilizantes y material orgánico.

Requisitos de la mezcla para hormigón "tremie"

El hormigón deberá contener por lo menos 385 kg de cemento por metro cúbico. La proporción de agregado fino está usualmente en el intervalo de 40 a 50 por ciento del peso de agregado total. A menudo se añaden al hormigón retardadores reductores de agua, aditivos incorporadores de aire y puzolanas, con el fin de mejorar el flujo. La mezcla deberá ser lo suficientemente plástica como para que fluya con facilidad y se coloque en su sitio sin necesidad de vibración. Es común recomendar una relación agua-cemento máxima de 0.44 en peso y el necesitar asentamiento entre 15 y 23 cm para que el hormigón se mueva en forma apropiada bajo el agua, ya que allí pesa menos que en el aire. En las Referencias 8, 24 y 27 se encuentran guías adicionales sobre construcción de hormigón bajo agua.

HORMIGON AL VACIO

La deshidratación al vacío es un método de extracción del agua de exceso del hormigón poco después de que éste se coloca. Esto permite que el hormigón se endurezca rápidamente por la disminución del contenido de agua y la reducción resultante en la relación agua-cemento, que aumente hasta en un 25 por ciento la resistencia a compresión a los 28 días del hormigón, que se reduzca el agrietamiento por contracción, y que mejore la resistencia al desgaste. El método se utiliza casi exclusivamente en losas, aunque también puede usarse en superficies verticales y en formaletas para hormigón prefabricado.

Reducción en espesor

La remoción de agua por el proceso al vacío puede reducir notablemente el espesor de las losas. De ordinario, al vaciar una losa de 15 cm con hormigón que tenga un asentamiento de la misma magnitud, su espesor se reduce entre 3 y 6 mm pero si el asentamiento es de 9 cm o menos la reducción en espesor es, por lo general, menor de 3 mm. En caso necesario, habrá que aumentar el espesor original de la losa en estado plástico, de manera que se obtenga el espesor completo de diseño después de extraerle el agua. El hormigón de las áreas adyacentes tiene que tener aproximadamente el mismo asentamiento; de lo contrario, ocurrirán variaciones en el nivel de la superficie.

Procesamiento

Las cubiertas para aplicar el vacío han de estar dispuestas de tal manera que se pueda extraer el agua del hormigón poco después de depositado, y acabar el enrasado y alisado con alisadora de mango largo. Preferiblemente, el proceso se empieza antes que transcurran 30 minutos en clima normal, algo más tarde en clima frío y algo más temprano en clima muy caliente y seco. La mayoría de las especificaciones requieren que el procesamiento al

vacío continúe de 1 a 3 minutos por cada 25 mm de espesor de la losa. La efectividad de la remoción de agua disminuye con la profundidad y rara vez resulta práctico reducir la relación agua-cemento más allá de una profundidad de 30 cm. Es de cargo del inspector preocuparse principalmente por verificar la extensión y uniformidad con la cual se extrae el agua, observando el vacío y el tiempo y duración de la extracción. Las operaciones de acabado final tienen que comenzar tan pronto se termina el proceso.

Mantenimiento del equipo

Las cubiertas para aplicar el vacío han de mantenerse limpias y en buena condición mecánica. Si cualquiera de ellas muestra tendencia a levantar el hormigón superficial, deberá humedecerse muy bien al comienzo del trabajo, lavarse a medio día y luego otra vez, muy bien, al final del mismo, para prevenir la retención de película de cemento en los poros de la muselina. Si la cubierta muestra desgaste considerable, es necesario reemplazar la muselina y restregar el respaldo de malla de alambre hasta que quede limpio. Si se desea guía adicional sobre construcción de hormigón al vacío, véanse las Referencias 8, 101 y 102.

HORMIGON PARA BOMBEO

Como hormigón bombeado puede definirse el que es transportado a presión, bien a través de tubos rígidos, o bien de manguera flexible, y descargado directamente sobre el área deseada. Se puede usar el bombeo en casi toda construcción de hormigón, pero es especialmente útil cuando el espacio resulta inadecuado para la operación de otro tipo de equipo de vaciado de hormigón.

Para lograr un bombeo satisfactorio, es necesario el suministro constante de hormigón bombeable. Este, lo mismo que las mezclas de hormigón convencional, requiere de un buen control de calidad; es decir, de agregados uniformes con gradación apropiada y de materiales dosificados uniforme y consistentemente, muy bien mezclados.

Tipos de equipo

Hoy en día hay disponibles dos tipos generales de bombas de hormigón: las de pistón y las exprimidoras a presión.

Una *bomba de pistón* incluye: tolva equipada con cuchillas de remezclar para recibir el hormigón amasado, válvula de admisión, válvula de salida y pistón dentro de un cilindro. La válvula de salida está localizada en la línea de descarga. Cuando el pistón comienza su movimiento hacia atrás, la válvula de admisión se abre, la de salida se cierra y el hormigón llena el cilindro. Al moverse el pistón hacia adelante, la válvula de admisión se cierra, la de salida se abre y el pistón empuja el hormigón para que pase del cilindro al interior de la tubería o manguera. Algunas bombas tienen dos cilindros, de manera que uno bombea en su carrera hacia adelante mientras el otro se llena en su carrera hacia atrás.

Una *bomba exprimidora a presión* incluye: tolva receptora con cuchillas de remezclar, manguera flexible y rodillos que operan dentro de un tambor metálico que se mantiene en un vacío alto. La manguera flexible se conecta al fondo de la tolva receptora y entra a la base del tambor; allí se enrolla alrededor de su periferia interior y se saca por su parte superior. El rodillo, operado hidráulicamente, rota dentro del tambor de manera que los rodillos ruedan a lo largo de la manguera flexible y exprimen el hormigón sacándolo por la parte superior. El vacío ayuda a que el tubo vuelva a la forma normal después de haber sido aplanado por el rodillo, manteniendo en esta forma en el tubo un flujo constante de hormigón, a partir de la tolva receptora.

Normalmente, para transportar el hormigón bombeado al área de colocación se utiliza una *combinación de tubería rígida y manguera flexible para trabajo pesado*. La tubería rígida está disponible en diámetros que van de 76 a 203 mm y, por lo general, se hace de acero. No debe usarse tuberías de aluminio para la entrega del hormigón, puesto que ocurren casos en los cuales el hormigón bombeado a través de ellas presenta expansión anormal a causa del gas hidrógeno que generan las partículas de aluminio raspadas de la superficie del tubo. La manguera flexible se encuentra en tamaños entre 76 y 127 mm y está hecha de caucho, de metal flexible doblado en espiral y de plástico. Aunque la manguera flexible desarrolla mayor resistencia al movimiento del hormigón que la tubería, puede usarse con ventaja en sitios como curvas, áreas de difícil colocación y conexiones con grúas móviles. Se recomienda que no se utilice manguera de caucho cerca a la bomba si a continuación va una línea larga de conducción.

Los *acoplamientos de la línea* tienen que ser de la clase apropiada para resistir las presiones previstas en ella, estar diseñados para permitir el reemplazo de cualquier sección de la línea sin tener que mover otras secciones, y proporcionar una sección transversal interna completa sin ninguna restricción o hendidura que interrumpa el flujo suave del hormigón. Es necesario que se reemplace inmediatamente cualquier acoplamiento productor de filtraciones.

Requisitos de la mezcla

Aunque los ingredientes de las mezclas para ambos bombeos y de las colocadas por otros métodos son los mismos, es esencial poner mucho énfasis en la reducción de la variabilidad, con el objeto de producir una mezcla que sea exitosamente bombeable.

Se recomienda limitar el tamaño máximo del agregado grueso angular a un tercio del diámetro interior mínimo del tubo o manguera, así como el tamaño máximo del agregado bien redondeado, al 40% del diámetro interior. El agregado grueso de peso normal y la arena tienen que cumplir los requisitos de gradación de la norma ASTM C 33, con los requisitos adicionales de que 15 a 30 por ciento de las partículas de arena deben pasar la malla No. 50 y entre un 5 y 10 por ciento, la malla No. 100. En general, son inadmisibles arenas de módulo de finura menor que 2.40 o mayor que 3.

Para mejorar la bombeabilidad, el volumen de agregado grueso de peso normal por unidad de volumen del hormigón puede reducirse hasta en un 20% con relación al hormigón colocado por otros métodos, dependiendo de la forma del agregado, de los contenidos de cemento y cenizas volantes o del uso de una ayuda de bombeo y de la capacidad del equipo de bombeo y del operario.

Los agregados de peso liviano absorben mayores cantidades de agua que los de peso normal y al estar sometidos a presiones de bombeo tal vez absorban considerablemente más. Esto puede resultar en pérdida en la línea del agua para el hormigón y, por consiguiente, perjudicar su facilidad de bombeo. El agregado liviano tiene que preempaparse muy bien antes de utilizarlo en hormigón para bombeo. El contenido mínimo de humedad después de empapado deberá igualar a, o exceder de la absorción promedio en 24 horas del agregado. Es necesario permitir el drenaje, durante 2 a 4 horas, del agua libre de los agregados que se hubieran apilado preempapados, antes de utilizarlos en el hormigón; esto con el fin de permitir un control de asentamiento uniforme.

La gradación de los agregados livianos ha de caer dentro de los límites establecidos en la norma ASTM C 330 y, además, entre un 20 y un 35% de la arena deberá pasar el tamiz No. 50 y entre 10 a 20 por ciento, el No. 100.

En general, se rechazará toda arena liviana de módulo de finura menor que 2.20 o mayor que 2.80. La mayoría del hormigón liviano que se bombea contiene como agregado fino sólo arena natural y es preciso que la gradación de ésta cumpla con los requisitos de gradación de las arenas para hormigón de peso normal. La experiencia indica que hormigones con asentamientos (medidos en la toma) menores de 5 cm no son prácticos para bombeo, mientras que los de asentamientos por encima de 15 cm. tienden a segregarse. Por requerir asentamientos más altos que lo usual, las mezclas bombeadas necesitan, en general, más cemento que el hormigón colocado en forma convencional. Las mezclas de peso liviano normalmente requieren todavía más cemento, puesto que de ordinario exigen un asentamiento aún mayor para compensar las pérdidas de asentamiento causadas por la presión de bombeo.

Los siguientes tipos de aditivos se usan frecuentemente en las mezclas para bombeo: reductores de agua, incorporadores de aire, aditivos de mineral finamente dividido o ayudas de bombeo. Cuando se utilizan en forma apropiada, estos aditivos suelen proporcionar efectos deseables como, por ejemplo: mejor lubricación y manejabilidad y menos segregación y exudación. Se debe considerar la pérdida en contenido de aire durante el bombeo, al establecer los requisitos de la mezcla.

La mezcla de ensayo del hormigón que se intenta bombear deberá prepararse y ensayarse en el laboratorio de acuerdo con todas las normas aplicables ASTM. Para hormigones de peso normal, se sigue el método descrito en la Referencia 7, utilizando la Tabla 5.3.6. para seleccionar el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón. Para hormigón liviano se sigue el método descrito en la Referencia 36, pero usando la Tabla

4 de la Referencia 103, como guía para seleccionar el volumen de agregado grueso empapado a la presión atmosférica, y la Tabla 2 de la Referencia 103, para agregados saturados al vacío o térmicamente.

Puesto que no hay disponible un aparato reconocido de laboratorio o un equipo preciso para probar la bombeabilidad de una mezcla en el laboratorio, se recomienda que la aceptación de la mezcla para su utilización en un trabajo de bombeo se haga sobre la base de un ensayo real en condiciones de campo. El ensayo de una mezcla, para calificar su facilidad de bombeo, involucra duplicación de las condiciones previstas de trabajo, incluyendo la dosificación y amasamiento en camión, la bomba y el operario, la disposición de la tubería y las mangueras y, en lo posible, la temperatura. El uso anterior de una mezcla en otro trabajo puede proporcionar evidencia de bombeabilidad únicamente si se conservan todas las condiciones.

Control de la colocación

La bomba deberá localizarse tan cerca como sea práctico del área de colocación y su alimentación no ha de estorbar el suministro continuo del hormigón. Las líneas de bombeo deberán disponerse con un mínimo de dobleces y soportarse firmemente, usando líneas alternas y tubería o manguera flexible, para permitir la colocación sobre un área grande directamente en el trabajo, sin necesidad de volver a manipular todo (Fig. 15-10). En vaciados importantes de hormigón o en trabajos grandes, es necesario tener disponibles equipos de fuerza y de bombeo de repuesto, por si acaso se produce cualquier falla en el equipo.

Cuando se bombea hacia abajo por 15 metros o más, puede ser deseable, dependiendo de las recomendaciones del fabricante, proporcionar una válvula de alivio de aire en la mitad del doblez superior, para impedir la acumulación de vacío o de aire. Cuando el bombeo es hacia arriba, conviene tener una válvula cerca de la bomba para prevenir el flujo en reversa del hormigón durante el acoplamiento del equipo de limpieza o mientras se trabaja en la bomba.

Hay que mantener comunicación directa entre el operador de la bomba y la cuadrilla de colocación del hormigón. También es importante una buena comunicación entre el operador de la bomba y la planta dosificadora del premezclado. Como verificación final la bomba deberá arrancarse y operarse sin hormigón, para asegurarse de que todas las partes móviles están operando debidamente. Para lubricar los tubos y reducir la fricción es preciso alimentar la línea con un mortero o una tanda de hormigón regular, sin agregado grueso, antes de hacerlo con el hormigón que se va a usar. Se recomienda poner especial cuidado en asegurar que la mezcla lubricante se gaste en vez de colocarla con el hormigón. Tan pronto se recibe éste, hay que operar la bomba lentamente hasta que las líneas estén completamente llenas y el hormigón se mueva en forma permanente.

Hay que vigilar cuidadosamente el punto de descarga para asegurar que no ocurra segregación, desplazamiento del refuerzo, o daño en las formale-

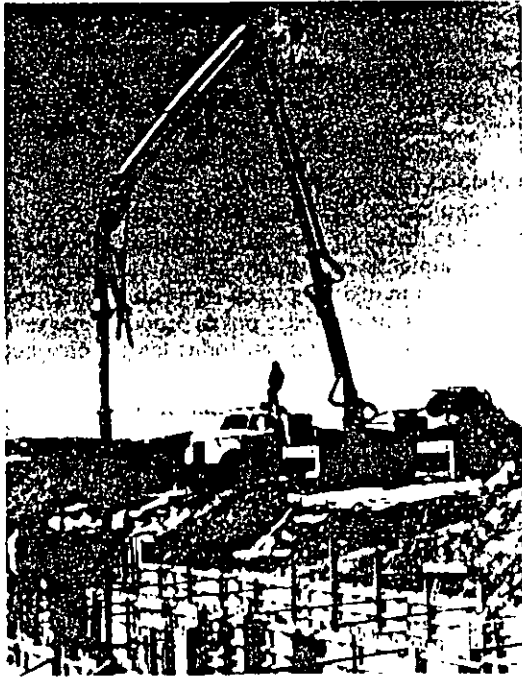


Fig. 15-10— Cuando se trata de hormigón bombeado, la pluma de colocación sirve de apoyo y alivia la manguera.

tas. Los sistemas neumáticos (descritos posteriormente) deberán estar equipados con una caja mezcladora al final de las líneas, para evitar estos problemas. Es preciso vigilar el extremo de la bomba para asegurarse de que en la tolva de ésta no se vierta agua adicional al hormigón.

En clima cálido, el dar sombra, cubrir el tubo con material húmedo, o pintarlo de blanco, ayuda a disminuir la pérdida de asentamiento y a minimizar la elevación de temperatura del hormigón.

Es aconsejable el bombeo continuo porque si se detiene la bomba, puede ser difícil o imposible comenzar de nuevo a mover el hormigón en la línea. Cuando ocurre una demora a causa de retraso en la entrega del hormigón de reparaciones de la formaleta o de otros factores, hay que desacelerar la bomba con el fin de mantener en movimiento al hormigón y evitar así que ocurran taponamientos. Si después de cierta demora, el hormigón no puede ser movido en la línea, será necesario limpiar una o varias de las secciones de ésta, o toda completa y comenzar de nuevo. Cuando la formaleta está casi llena y hay suficiente hormigón en la línea para completar el vaciado, se detiene la bomba y se introduce un raspatabos que, al empujarlo a lo largo de la línea, sirve para limpiarla. Se pueden utilizar agua o aire a presión

para empujar el raspatabos. En el primer caso, el raspatabos deberá detenerse a un par de metros del extremo de la línea de manera que el agua que ésta contenga no se vierta en el área de vaciado. Si se usa aire, es preciso tener extremo cuidado en regular el suministro y las presiones del mismo e instalar una trampa al final de la línea para impedir que el raspatabos resulte eyectado como proyectil peligroso. Es necesario, también, instalar en la línea una válvula de alivio de aire para prevenir que la presión se acumule. Después de remover de las líneas todo el hormigón, éstas y el equipo deberán limpiarse muy bien en forma inmediata.

En el extremo de la línea por donde se efectúa el vaciado se pueden tomar las *muestras de hormigón* requeridas para vigilar el efecto del bombeo sobre la calidad final del hormigón que está siendo colocado en la estructura. Hay que tomar también las muestras correspondientes en el punto de entrega a la bomba. A veces conviene tomar periódicamente, muestras adicionales del hormigón en el extremo de salida de la línea de bomba, para determinar si están ocurriendo cambios en materia de asentamiento, contenido de aire u otras características significativas de la mezcla. Es necesario tener cuidado adicional con los especímenes muestreados en el sitio de colocación, a fin de asegurarse que no les ocurra ningún daño durante el periodo de fraguado y de curado inicial del hormigón. Es preferible tomar una muestra suficientemente grande a la salida de la bomba, bajarla inmediatamente al suelo y hacer las medidas de control y la toma de especímenes de ensayo, de la misma forma que para el muestreo y ensayos de control.

Los *colocadores neumáticos* proporcionan otro método de transportar hormigón a través de tuberías. Consisten básicamente en un recipiente a presión y equipo para el suministro de aire comprimido. El hormigón se entrega a presión al recipiente y éste se sella herméticamente; entonces, se suministra aire comprimido a la parte superior del recipiente, para que empuje el hormigón a través de un tubo conectado en la parte inferior. Se requiere una caja de descarga que haga la remezcla al final de la línea, para extraer el aire y prevenir la segregación y las salpicaduras. Los compresores, normalmente, deben tener una capacidad mínima de 3.5 m³ por minuto. El sistema incluye, además, un tanque receptor de aire entre la salida del compresor y el recipiente a presión, destinado a estabilizar el suministro de aire comprimido y a asegurar un flujo constante de hormigón. Para guías adicionales sobre hormigón de bombeo véanse las Referencias 8, 24, 27 y 103.

HORMIGON PROYECTADO

El *hormigón proyectado* es mortero u hormigón que se lanza neumáticamente, a alta velocidad, contra una superficie. Puesto que el hormigón proyectado se usa generalmente sin formaletas exteriores, la mezcla deberá tener un asentamiento mínimo de manera que se evite su escurrimiento, particularmente, en aplicaciones verticales o sobre la cabeza. En el pasado, al hormigón proyectado se le llamaba indistintamente con los nombres de mortero soplado con aire, hormigón rociado, mortero aplicado neumáticamente, hor-

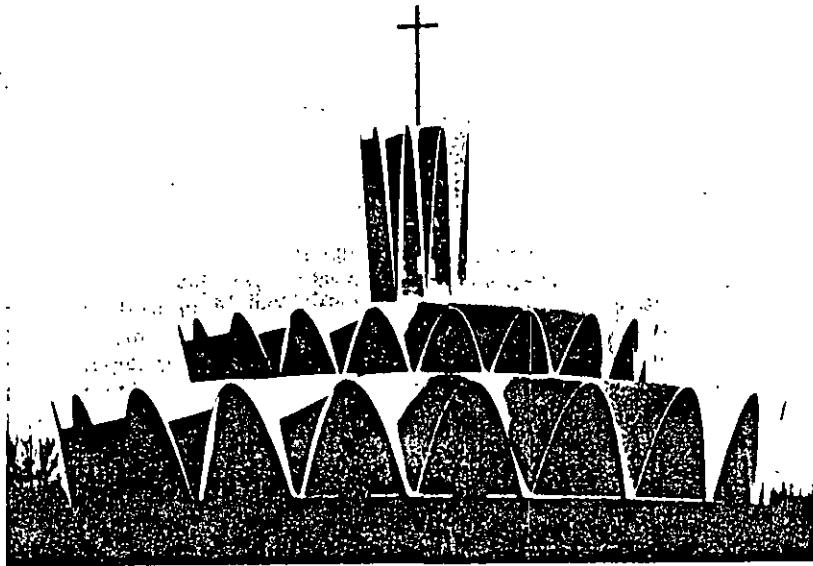


Fig. 15-11—Este cascarón ondulante de hormigón se cubrió con neopreno después de hacerlo con hormigón proyectado y luego recibió una capa de pintura de base plástica.

migón disparado, etc. (y también con los nombres de marcas registradas como "Gunite" y "Jetcrete"). En los últimos 20 años, más o menos, se han construido equipos para aplicar hormigón proyectado con agregados de tamaño máximo de hasta 19 mm.

El hormigón proyectado se utiliza en construcciones nuevas y en trabajos de reparación. Aunque se logren economías con este hormigón al reducir los costos del encofrado y hacer uso de plantas portátiles pequeñas para la mezcla y colocación, su costo está muy lejos de ser bajo.

El hormigón proyectado se usa comúnmente en estructuras nuevas con requisitos más complejos de encofrado, como por ejemplo, techos plegados o curvos, o paredes (Fig. 15-11), en tanques preesforzados, revestimiento de canales y embalses y piscinas. Un desarrollo más reciente en Norteamérica ha sido el uso de dicho material en el apoyo de túneles durante la perforación y algunas veces para el revestimiento del propio túnel.

Está muy extendido el uso del hormigón proyectado para la reparación de estructuras existentes de hormigón. Se han hecho tales reparaciones en revestimientos de embalses, presas, túneles, estructuras de muelles, tuberías, superestructuras de puentes y estadios y en estructuras de mampostería y de hormigón dañadas por terremotos o incendios.

Procesos de hormigonamiento proyectado

Los procesos para proyectar hormigón pueden subdividirse en dos tipos básicos: de mezcla seca y de mezcla húmeda.⁶⁴

Proceso de mezcla seca—En él el cemento, la arena y el agregado grueso, o uno de los dos, se mezclan secos y se alimentan con aire comprimido por medio de mangueras o una boquilla de mezcla. Dependiendo de la técnica exacta empleada, la arena puede estar húmeda o seca antes de la mezcla, y ésta estar seca hasta que llegue a la boquilla o humedecerse antes de que se entregue a ella. Otra manguera entrega agua y aditivos (si van a ser usados) a la boquilla, que realiza la mezcla final. El mortero de hormigón se lanza entonces a alta velocidad contra la superficie que va a ser hormigonada.

Proceso de mezcla húmeda—En éste, todos los ingredientes del hormigón o del mortero, (con la posible excepción de los acelerantes super rápidos)⁶⁴ se mezclan antes de introducirlos a la manguera de entrega, para transportarlos a la boquilla por medio de aire comprimido o con presión de bomba. En la boquilla se inyecta aire comprimido adicional, para lanzar el hormigón a alta velocidad contra la superficie.

TABLA 15-1 — COMPARACION ENTRE LAS CARACTERISTICAS OPERATIVAS DE LOS PROCESOS DE MEZCLA SECA Y MEZCLA HUMEDA

	Proceso de mezcla seca	Proceso de mezcla húmeda
1	El control del agua de amasado y de la consistencia de la mezcla se efectúa en la boquilla.	El agua de amasado se controla en el equipo de entrega y puede medirse con precisión.
2	Es más adecuado cuando se trata de colocar mezclas con agregados porosos de peso liviano.	Constituye mayor garantía de que el agua de amasado se mezcla muy bien con los otros ingredientes, lo cual puede redundar en menos rebote y desperdicio.
3	Permite usar mangueras más largas	En la operación de lanzamiento se produce menos polvo

Comparación de procesos—Cualquiera de los procesos ya descritos es susceptible de producir hormigón lanzado propio para los requisitos de construcción normal. Las diferencias en equipo, mantenimiento y características operacionales, puede hacer que uno u otro proceso sea más atractivo para una operación particular. Sin embargo, la aplicación de mezcla húmeda está sujeta a variaciones y a la inclusión de lentejuelas de rebote en menor grado que el que a menudo se encuentra en el hormigón proyectado con mezcla seca. La Referencia 64 proporciona una comparación de los procesos (Tabla 15-1).

Calificación y deberes de los operarios

La calidad del hormigón proyectado en las estructuras depende en gran parte de la habilidad de la cuadrilla de aplicación. Todos los miembros de ésta así como el inspector deberán mostrar evidencias de entrenamiento y experiencia en trabajo satisfactorio de condiciones similares.

El operario encargado de la boquilla tiene las siguientes obligaciones y el inspector está obligado a observar que las cumpla:

1. Verificar que todas las superficies contra las que se va a disparar estén limpias y libres de lechada o de material suelto, usando si es preciso aire y agua o chorro de arena lanzado por la boquilla, según se requiera.
2. Verificar que la presión del aire de operación sea uniforme y que proporcione una velocidad de boquilla apropiada para lograr buena compactación.
3. Regular el contenido de agua de tal manera que la mezcla sea suficientemente plástica como para lograr una buena compactación y un bajo porcentaje de rebote pero tan dura que no se escurra. (En el proceso de mezcla seca el operario de la boquilla controla directamente el agua de amasado, mientras que en el proceso de mezcla húmeda dirige los cambios de consistencia según se requiera).
4. Mantener la boquilla a la distancia apropiada y tan normal a la superficie como lo permita el tipo de trabajo, para asegurar una compactación máxima con rebote mínimo (Fig. 15-12)
5. Seguir una rutina secuencial que llene las esquinas con hormigón proyectado y encierre el refuerzo sin que quede material poroso detrás del acero, utilizando para ello los máximos espesores de capa que sean factibles.
6. Determinar los procedimientos de operación necesarios para la colocación en lugares estrechos, a distancias grandes, o alrededor de obstrucciones poco usuales, donde deben ajustarse las velocidades de colocación y la consistencia de la mezcla.
7. Ordenar a la cuadrilla cuándo debe comenzar y detener el flujo de material y parar el trabajo en el caso de que el material no esté llegando uniformemente a la boquilla.
8. Asegurar que las bolsas de arena y los desprendimientos se quiten y sean reemplazados.
9. Llevar el hormigón lanzado a las líneas de acabado de manera limpia y bien terminada.
10. Confirmar en trabajos de reparación que el hormigón o mampostería viejos se hayan preparado adecuadamente, humedecido bien y removido el exceso de agua antes que comience a usarse el hormigón proyectado.
11. Golpear con martillo las superficies endurecidas, para detectar inclusiones de material de rebote o la presencia de sitios huecos.

El ayudante del operario de la boquilla maneja un tubo de soplado de aire de por lo menos 19 mm de diámetro para ayudar a aquél a mantener alejados de la nueva construcción todo el rebote y demás material poroso suelto (excepto en las clases de trabajo en donde el operario de la boquilla puede remover fácilmente el rebote atrapado). Además, asiste al operario de la boquilla en otras labores que éste requiera.

Hay otro asistente del operario, que es el operario de manguera, destinado a colaborar en el manejo de la manguera de entrega, avanzándola para

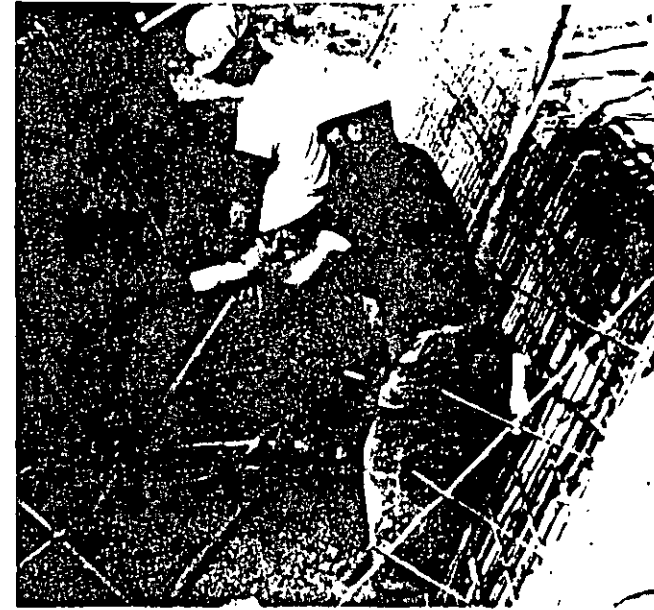


Fig. 15-12—Al hormigón proyectado (mortero asperjado) hay que formarlo gradualmente, por capas, sin que se escurra. Un tubo soplador de aire sirve para alejar el material suelto.

un progreso eficiente. En algunos trabajos el ayudante del operario de boquilla actúa también como operario de manguera.

Equipo

El equipo original de hormigonamiento proyectado (Gunita y similar) se desarrolló hace aproximadamente 70 años para lanzar hormigón de agregado fino y mezcla seca. Hoy en día tal equipo se usa considerablemente.

Desde esa época, se han desarrollado varios tipos de equipo para aplicar tanto a procesos húmedos como a secos de hormigonamiento proyectado utilizando agregado grueso. En este momento, no existe consenso sobre la superioridad de un proceso respecto del otro y cada uno deberá juzgarse en relación con las condiciones particulares del trabajo. La escogencia del proceso es responsabilidad del contratista, a menos que las especificaciones lo limiten a un proceso.

Es preciso mantener en buena condición el equipo de hormigonamiento proyectado, para evitar una presión reducida y la consecuente reducción en velocidad del material. El interior de los tambores, los mecanismos de alimentación y las válvulas se han de limpiar tan a menudo como sea posible,

pero por lo menos una vez cada turno de 8 horas, para prevenir que se peguen costras del material en partes críticas. Hay que reemplazar los revestimientos de la boquilla cuando estén gastados hasta tal punto que se pierda la uniformidad del flujo del material. En trabajo rudo o pesado, se requiere en la boquilla una presión de 3.5 a 4.2 kg/cm². Esta presión tiene que aumentarse hasta 5.3 kg/cm² en vaciados altos o cuando se tienen longitudes de manguera de más de 30 metros, a fin de prevenir que se presenten taponamientos. Para efectuar el acabado, los mejores resultados se obtienen cuando se usan presiones de entrega en la boquilla entre 1.8 y 3.5 kg/cm². Tanto las presiones del suministro de agua como las de aire deben permanecer uniformes, y la del agua mantenerse aproximadamente 1 kg/cm² por sobre la presión más alta del suministro de aire.

Dosificación de la mezcla

En hormigón proyectado de agregado fino y mezcla seca, las proporciones de la mezcla ordinariamente deberán ser una parte de cemento por cada 3 o 4½ partes de arena húmeda, medidas en volumen. La arena ha de contener entre un 3 y 6 por ciento de humedad con dos fines: asegurar una mezcla homogénea y prevenir la incomodidad del operario de la boquilla por la acumulación de electricidad estática.

Con ambos tipos de hormigón proyectado de agregado grueso, con mezcla húmeda o seca, se prefiere la dosificación por peso. Las mezclas oscilan entre 330 y 500 kilogramos de cemento portland por metro cúbico y llevan generalmente más arena que las mezclas de hormigón convencional. Un hormigón proyectado típico de agregado grueso, podría tener, con anterioridad a la aplicación, proporciones de cemento y agregados fino y grueso en relaciones que van desde 1:3:2 hasta 1:3:1, dependiendo de los requisitos de la obra.⁶⁴

No cabe suponer que estas proporciones de mezcla representen al hormigón puesto en sitio, ya que cambian por las pérdidas debidas al rebote de los ingredientes sólidos. Las proporciones en sitio de la mezcla de hormigón proyectado son bastante indeterminadas y la calidad del correspondiente hormigón deberá establecerse por medio de ensayos como se discute más adelante.

Para construir apoyos estructurales subterráneos se requieren hormigones proyectados que contengan aditivos o cementos portland modificados, de fraguado rápido. Es preciso que dichos hormigones tengan alta resistencia a edad temprana, del orden de 35 a 70 kg/cm² o más, a las 8 horas.

Para obtener hormigón proyectado de alta resistencia a edad temprana se han utilizado aditivos, tanto en forma líquida como en polvo.^{104 105} En la mayoría de los casos estos aditivos se transmiten por medio de aire o agua a la boquilla, puesto que se requiere de un fraguado casi instantáneo; el tiempo inicial de fraguado debe ser de un minuto o menos.

Investigaciones sobre hormigón contentivo de cemento portland modificado de fraguado rápido indican que tal cemento puede resultar benéfico

para el hormigón.^{104 105} Las conclusiones de tales estudios son que el hormigón proyectado que posee cemento modificado tiene tanto a edad temprana como posteriormente, resistencias más altas que el hormigón proyectado provisto de aditivos, utilizado con fines de comparación.

Debe entenderse que cualquier hormigón, inclusive el proyectado, que posea alta resistencia a edad temprana, tendrá una ganancia de resistencia menor en edades posteriores que los que contienen cementos portland normales.

Preparación de superficies

En sitios en que el hormigón proyectado se va a colocar contra superficies de tierra, como es el caso de revestimientos de canales, tales superficies deberán, primero, compactarse muy bien y ajustarse, en cuanto a pendiente y alineamiento. El hormigón proyectado no ha de colocarse sobre ninguna superficie que esté congelada o esponjosa o donde haya agua libre, y en cuanto a la superficie que lo reciba, tiene que mantenerse húmeda durante varias horas antes de la aplicación.

En casos en que el hormigón proyectado se utilice para reparar hormigón deteriorado es esencial remover primero todo el material en mal estado. El picado deberá continuarse hasta que no haya salidas en la cavidad que causen cambios abruptos en la superficie que se va a reparar. No hay que dejar espaldones cuadrados en el perímetro de la cavidad; todos los bordes deberán adelgazarse. Se prescribe el examen cuidadoso de la superficie final del corte para asegurarse de que se encuentre sana y tenga la forma apropiada. Un trabajo preparatorio inapropiado es responsable de más fallas en las reparaciones hechas con hormigón proyectado que cualquier otra causa.

Colocación

La calidad del hormigón proyectado, de mezcla seca, ya sea mortero u hormigón, depende, en particular, de la habilidad y entendimiento del operario de boquilla. Es necesario que los contratistas de hormigón proyectado comprendan la importancia de dicho operador y proporcionen, bien sea operarios experimentados, o las medidas pertinentes para entrenarlos.

Todas las bolsas de arena, material desprendido y de rebote deberán removerse continuamente para evitar que sean cubiertos por el hormigón lanzado. En la mayoría de los casos, la mejor manera de remover todo lo que rebote es mediante un chorro de aire comprimido.

Siempre y cuando se quite el material de rebote en forma apropiada, el operario de boquilla podrá trabajar desde la parte inferior hasta la superior. Las esquinas deberán llenarse primero. La distancia de la boquilla al trabajo es, por lo general, de 0.9 metros, aproximadamente. La pistola ha de dirigirse hacia la superficie en la forma más normal que sea posible. Cuando se coloca hormigón proyectado detrás de las barras de refuerzo, es preciso que la boquilla forme un ángulo pequeño, para que al acumularse el hormigón partiendo de ambos lados, se logre un mejor encierro de las barras. El

hormigón proyectado, en su espesor completo, deberá irse acumulando en capas de manera que no se produzcan derrumbes ni escurrimientos.

Será necesario detener temporalmente el vaciado en aquellos casos en que haya vientos fuertes que separen la arena y el cemento en la boquilla, o siempre que se tema el congelamiento del hormigón, o la presencia de lluvia perjudicial.

Formaletas y alambres de guardia

Siempre que se requieran formaletas, hay que proceder a su diseño de manera que permitan el escape de aire y del material de rebote; sólo se necesita, entonces, colocarlas a un lado de la pared. Es preciso utilizar alambres de guardia adecuados para establecer el espesor, planos superficiales y líneas de acabado del hormigón proyectado. Tales alambres tienen que estar tensos y bien asegurados, y ser fieles a la alineación y al plano.

Intervalo entre capas

Los intervalos de tiempo entre aplicaciones sucesivas a trabajos en pendiente, en voladizo o vertical deberán ser suficientes para permitir una ganancia de resistencia adecuada al soporte de las capas adicionales. Mientras se esté desarrollando el fraguado inicial, deberá barrerse ligera y cuidadosamente la superficie, con el fin de remover cualquier película y proporcionar una mejor adherencia para la siguiente aplicación.

Juntas de construcción

A las juntas de construcción o de final del día hay que darles pendiente, preferiblemente de 45°, hasta que formen un borde regular, delgado y limpio.

Acabado de la superficie

En el acabado de la superficie, el hormigón proyectado deberá trabajarse hasta que quede un plano parejo con esquinas bien formadas, utilizando como referencia alambres de guardia u otras guías de espesor o alineación. Conviene reducir la presión de colocación al formar las esquinas. Si es necesario emparejar, tal operación se hará con herramienta de filo delgado, operada en sentido contrario a la de acción de la gravedad, para recortar los sitios altos y exponer los bajos. Puede aplicarse una capa delgada de acabado para remover las áreas burdas después que se hayan quitado los alambres de guardia o hacer que la capa de acabado cubra dichos alambres. Si se desea un terminado con llana, hay que frotar ligeramente la superficie final con una almohadilla plana de caucho o de arpillera, aplicándole un movimiento circular o en espiral. Si se desea un terminado con palustres, esta operación deberá hacerse a continuación de un emparejado cuidadoso, para obtener resultados satisfactorios con mínima presión del palustre, antes de una hora de haber colocado el hormigón.

Curado y protección

Es preciso que el curado y protección en clima frío sigan las prácticas aprobadas para hormigón, a menos que otra cosa se indique específicamente. La aplicación de compuestos de curado es, por lo general, el procedimiento de curado más práctico (véase el Capítulo 10), pero no necesariamente, el mejor. El curado con agua resulta ser el más deseable.

Ensayos de control

Con el sistema de hormigón proyectado no hay método exitoso de formar especímenes de ensayo directamente. Los más confiables se obtienen de núcleos tomados, ya sea de la estructura o de paneles de ensayo especiales. El operario de boquilla que hace el trabajo en el sitio, tiene que fabricar estos paneles de ensayo, manteniendo la boquilla al mismo ángulo que usa en la estructura. En hormigonado de agregado fino, los paneles de ensayo generalmente tienen 45 × 45 × 7.6 cm de tamaño y los núcleos son de aproximadamente 7.6 cm de diámetro con una longitud terminada algo menor que los 7.6 cm. Con hormigón proyectado de agregado grueso, los paneles tienen que ser mayores y por lo menos de 15 cm de espesor. El diámetro del núcleo deberá ser de 7.6 cm. Al tomar núcleos en paneles de ensayos para especímenes de prueba, es preciso evitar las áreas próximas a los bordes del panel para obtener material típico del que está en la estructura. Si los especímenes de ensayo se obtienen a partir de paneles, es necesario tomar ocasionalmente núcleos de la estructura para asegurar que los paneles de ensayo reflejan en forma apropiada la calidad del hormigón. El método de obtención y ensayo de los núcleos deberá seguir las recomendaciones de la norma ASTM C 42.

Particularmente en estructuras de apoyo subterráneas, es deseable tener una medida de resistencia en menos de 8 horas. Al hormigón proyectado a esta tierna edad no se le pueden, en general, extraer núcleos sin causarle daños e investigaciones promisorias han indicado que el aparato de extracción de cono puede servir dicho propósito. Se han obtenido buenas correlaciones entre la resistencia a la extracción y las de cilindros formados.

Seguridad

El hormigonamiento con hormigón proyectado requiere atención especial a los aspectos de seguridad. El operador de boquilla y el resto de la cuadrilla deberán utilizar anteojos de seguridad con escudos laterales para prevenir cualquier daño en los ojos proveniente de rebote volante. En ocasiones especialmente polvorientas, como en las de limpieza con chorro de arena, es posible que se necesiten cascos ventilados. A menudo el aplicador tiene que voltear la boquilla en sentido contrario al del trabajo durante aquellos periodos en que las condiciones de alimentación no son satisfactorias y en tales casos deberá tener el máximo cuidado para evitar el dirigir la boquilla a otro miembro de la cuadrilla. También es necesario evitar que los aceleradores cáusticos entren en contacto con la piel o con los ojos.

Bajo los números 64 y 106 se encuentran buenas referencias generales respecto del hormigón proyectado. Las Referencias 104 y 105 son publicaciones especiales dedicadas al uso de hormigón proyectado en estructuras subterráneas de apoyo, pero que contienen mucha información aplicable a todas las clases de dicho hormigón. La Referencia 8 también contiene información sobre el hormigonado con hormigón proyectado.

CAPITULO 16 — TIPOS ESPECIALES DE HORMIGON

HORMIGON ESTRUCTURAL DE AGREGADO LIVIANO

El hormigón estructural de agregado liviano se usa generalmente cuando la reducción en peso unitario disminuye el costo de edificios y puentes. Para usarlo en la mayoría de las estructuras se requiere, generalmente, que los diseños tengan los mismos niveles de resistencia a compresión que los que se utilizan en hormigón normal. El hormigón de agregado estructural liviano se define algunas veces como el que posee una resistencia a la compresión a los 28 días de más de 175 kg/cm^2 y un peso unitario, con secamiento al aire, menor de 1840 kilogramos por metro cúbico. Sin embargo, puede producirse en forma económica hormigón que tenga resistencia a la compresión en exceso de 350 kg/cm^2 con la mayoría de los agregados manufacturados de peso liviano disponibles en los Estados Unidos y Canadá, aunque, generalmente, haya un tope a resistencias más altas, dependiendo éste del agregado particular. Algunos agregados de peso liviano son propios para producir consistentemente hormigones que logran resistencias en exceso de 350 a 420 kg/cm^2 .

En general, los agregados estructurales de peso liviano caen en una de dos clases: los producidos por extrusión, calcinación o conglomeración de productos de materiales como escoria de alto horno, arcilla, diatomita, ceniza volante, lutita y pizarra; y los producidos por procesamiento de materiales naturales como escoria, piedra pómez y toba.

Agregados

La mayoría de los agregados livianos de clase estructural se producen mediante hornos rotatorios o parrillas de conglomerar, con preferencia para los primeros. La descripción detallada de la manufactura de agregado ligero estructural está más allá del alcance de este manual y puede obtenerse en la Referencia 107.

Para poderlos usar en hormigón estructural, los agregados de peso liviano deben cumplir los requisitos de la norma ASTM C 330. Esta especificación cubre ítems tales como gradación, peso unitario, sustancias dañinas y propiedades de manufactura del hormigón.

Aunque se han construido muchas estructuras con hormigón que contiene agregados livianos, tanto gruesos como finos, para obtener el peso unitario más bajo posible compatible con el nivel requerido de resistencia, la mayoría del hormigón estructural de agregado liviano contiene arena natural como agregado fino. Esta es usualmente más económica y además mejo-

ra ciertas propiedades del hormigón como, por ejemplo, la resistencia a la tensión, el módulo de elasticidad, el flujo plástico y la contracción de secamiento.

Dosificación y control de la mezcla

Los métodos de dosificación de la mezcla para hormigón estructural de agregado liviano son, en general, algo diferentes de los de hormigón de peso normal. Las principales propiedades que requieren modificación de los procedimientos de dosificación y control son: la mayor absorción total de agua y mayor tasa de absorción de los agregados de peso liviano, y el bajo peso de éstos, en sí mismo. La absorción de agua por el agregado tiene poco efecto en la resistencia a compresión, siempre y cuando se suministre suficiente agua para saturarlo. Debe conocerse el contenido de humedad de éste y hacerse ajustes de tanda en tanda para proporcionar contenidos constantes de cemento y de aire, asentamientos similares y un volumen constante de agregados.

No es posible establecer con suficiente precisión la relación neta agua-cemento de la mayoría de los hormigones de agregado liviano para utilizarla como base en la dosificación de la mezcla. Esto se debe a la dificultad de determinar el porcentaje de agua total que es absorbida por el agregado y que, por consiguiente, no está disponible para la hidratación del cemento.

Independientemente de las condiciones de exposición, es deseable tener aire incorporado en hormigón de agregado liviano, pues además de incrementar la durabilidad, mejora la manejabilidad y disminuye la exudación. Los contenidos de aire recomendados son de 4 a 8 por ciento cuando se trata de agregado con tamaño máximo de 19 milímetros y de 5 a 9 por ciento cuando se trata de agregado de 9.5 milímetros. En general, no deberán utilizarse medidores de aire a presión para determinar los contenidos de aire de hormigones de agregado liviano porque la compresión de aire en las partículas de agregado, durante el ensayo, redundará en que los resultados de éste sean de poco fiar. El método volumétrico (ASTM C 173) proporciona el procedimiento más confiable. En algunas áreas, sin embargo, se han utilizado medidores de aire de baja presión (0.21 kg/cm²) con aparente éxito.

Los métodos de dosificación de la mezcla se presentan en detalle en la publicación "Recommended Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete" (ACI 211.2).³⁶ Esta práctica recomendada presenta tres métodos diferentes de dosificación. Dos de éstos, el de peso y el del "picnómetro" no se han usado ampliamente aunque pueden proporcionar procedimientos más precisos. Con algunos agregados de peso liviano, en particular con los que tienen bajas la tasa de absorción y la absorción total, se puede utilizar los procedimientos de dosificación para hormigón de peso normal (véase el Capítulo 6).

El método más ampliamente usado en la dosificación del hormigón de agregado liviano estructural es el de contenido de cemento contra resistencia a la compresión (en lugar del de relación agua-cemento contra resistencia a la compresión que se utiliza para hormigón de peso normal). Muchos pro-

ductores de agregado están en capacidad de proporcionar dicha relación para su producto particular y las mezclas que hayan resultado satisfactorias al usarlas. En el caso de estructuras grandes o importantes, deberá confirmarse la dosificación de la mezcla. Es aún más deseable, especialmente para tales estructuras, que se lleven a cabo estudios separados de dosificación de la mezcla. Se recomienda hacer mezclas de ensayo con tres contenidos diferentes de cemento (como por ejemplo con 300, 355 y 410 kg de cemento por m³), asentamientos de menos de 10 cm y contenidos de aire entre 5 y 6 por ciento.

Lo mejor es hacer los estudios de dosificación de la mezcla saturando previamente el agregado liviano. De lo contrario, ocurrirá una pérdida rápida de asentamiento a medida que el agua adicional es absorbida por el agregado cuando se introduce éste en la hormigonera.

Para comenzar, hay que hacer una mezcla de ensayo con uno de los contenidos de cemento seleccionados. Si no se ha saturado previamente el agregado ligero, es preciso premezclar todo el agregado (incluyendo la arena), con aproximadamente 2/3 del agua estimada, durante un minuto más o menos. Luego deberá añadirse el cemento y la mayoría del agua adicional (incluyendo el agua con el agente incorporador de aire mezclado dentro de ella). El resto del agua se añadirá cuidadosamente y toda ella tiene que ajustarse para lograr el asentamiento apropiado según lo estime el operario. El agua no gastada o la adicional a la cantidad estimada originalmente, deberá pesarse con cuidado, registrándose dicho dato para obtener el agua total que existe realmente en la mezcla. Una vez terminada ésta se mide el asentamiento, el peso unitario y el contenido de aire.

Esta primera mezcla de ensayo deberá examinarse en cuanto a manejabilidad, exceso o defecto de arena, aspereza y contenido de aire apropiado. Probablemente será necesario hacer una segunda mezcla de ensayo con el mismo contenido de cemento, ajustando las cantidades de arena, de agregado grueso, y de agente incorporador de aire según se determine con los resultados del primer ensayo. Véase la Referencia 36 para obtener información sobre estos ajustes.

Las proporciones para esta segunda mezcla de ensayo son obtenibles mediante el método del "factor peso específico". Este factor se obtiene sumando los volúmenes absolutos de cemento, arena (SSS), agua y contenido de aire (por metro cúbico de hormigón fresco) para obtener las proporciones finales de la primera mezcla de ensayo. Luego esta suma se sustrae de 1 metro cúbico para encontrar el volumen en sitio del agregado grueso de peso liviano. El factor de peso específico para el agregado seco de peso liviano se calcula, entonces, mediante la ecuación:

$$\text{Factor de peso específico} = \frac{\text{Peso de agregado grueso}}{\text{Volumen en sitio} \times 1000}$$

Este factor sirve, entonces, para el ajuste de las proporciones como si fuera un peso específico verdadero, pero no puede usarse para encontrar la re-

lación agua-cemento puesto que parte del agua total ha sido absorbida por el agregado.

Después que se ha logrado un conjunto apropiado de proporciones con un contenido de cemento seleccionado, deberán fundirse especímenes de resistencia a compresión para ensayos a 7 y 28 días de edad y a las otras edades que se deseen, y especímenes para determinar el peso unitario en estado plástico (mojado) y el peso unitario seco al aire.

Es preciso preparar luego mezclas con los otros dos contenidos de cemento seleccionados, a fin de obtener las resistencias y pesos unitarios para estos contenidos de cemento. Al establecer la dosificación de estas mezclas, el peso del agregado grueso liviano y del agua total no cambiarán apreciablemente. El volumen absoluto de arena deberá variarse inversamente, a medida que se cambia el contenido del cemento, y la dosificación del agente incorporador de aire se ajustará como sea necesario para cada contenido de cemento.

Una vez que se hayan obtenido las resistencias a compresión, es factible establecer una curva de resistencia contra contenido de cemento. Luego puede encontrarse el contenido apropiado de cemento para la resistencia especificada (más el margen necesario de sobrediseño). Esta resistencia queda sujeta a confirmación, mediante mezclas de ensayo adicionales.

Ensayos

Las especificaciones para hormigón estructural con agregado liviano requieren, a menudo, ensayos de laboratorio además de los de resistencia a compresión mínima (ASTM C 39) y peso unitario máximo seco al aire (ASTM C 567). Con estos ensayos adicionales, por lo general, se busca encontrar el módulo de elasticidad (ASTM C 469) y la resistencia a tensión indirecta (ASTM C 496).

Los ensayos de campo del hormigón liviano estructural generalmente están limitados a los de asentamiento, peso unitario fresco, contenido de aire y resistencia a la compresión. En particular, la norma "Building Code Requirements for Structural Concrete" (ACI 318)⁶ requiere que los ensayos a tensión indirecta no se usen como base de aceptación del hormigón de campo.

Todos los ensayos de campo y tomas de muestras de especímenes deberán efectuarse en el sitio después que se haya añadido toda el agua y que el hormigón esté completamente amasado.

Dosificación y amasamiento

Los principios de dosificación y amasamiento del hormigón estructural liviano son los mismos que para hormigón de peso normal. Se recomienda que, inmediatamente antes de la descarga, las hormigoneras de camión roten unas diez veces a velocidad de amasado para minimizar la segregación.

Es preciso prehumedecer el agregado liviano con un contenido de humedad tan uniforme como sea posible y premezclarlo con el agua de amasado antes de la adición de los otros ingredientes del hormigón. Esto ayudará a

evitar los problemas de control de asentamiento en la hormigonera y la pérdida que de éste pueda encontrarse después de descargar el hormigón de la máquina si el agregado liviano está relativamente seco. Este problema es susceptible de agravarse aún más si el hormigón va a ser bombeado.

Con agregados de peso liviano que tengan una absorción de agua baja es posible que no se necesite un prehumedecimiento especial anterior a la dosificación y amasado. En muchos casos, las características de absorción del agregado liviano exigirán prehumedecerlo a un contenido de humedad uniforme y relativamente alto, para minimizar la pérdida de asentamiento, como se discutió antes. Si el hormigón va a estar expuesto a temperaturas muy frías antes de quedar suficientemente seco, es, a veces, necesario evitar la completa saturación del agregado durante las operaciones de prehumedecimiento, con el fin de obtener buena durabilidad.

Si el hormigón estructural de agregado liviano va a ser vaciado mediante bombeo, será necesario a menudo saturar completamente el agregado para prevenir pérdidas graves de asentamiento durante el bombeo. En estas condiciones, es preciso que el hormigón tenga un largo periodo de secamiento antes de exponerlo a congelamiento y descongelamiento. Conviene estudiar cuidadosamente las Referencias 24 y 107 al planear el bombeo de hormigón estructural de peso liviano.

Los aditivos reductores de agua, los aceleradores y los retardadores pueden usarse en hormigón estructural de agregado liviano esencialmente de la misma manera que en el hormigón de peso normal y en igual forma las pulzolanas, para reemplazar parcialmente el cemento portland.

Vaciado, compactación y acabado

El vaciado del hormigón estructural de agregado liviano, con la excepción del bombeo que se anotó atrás, difiere en poco o en nada del hormigón de peso normal, colocado apropiadamente. Como en todo hormigón, deberá evitarse la segregación de agregado grueso y mortero. Al compactar el hormigón de agregado liviano se debe tener cuidado en prevenir el exceso de vibración. Puesto que las partículas de agregado grueso son los ingredientes sólidos más livianos de la mezcla, el exceso de vibración puede causar que las partículas se eleven, resultando, por una parte, problemas de acabado a causa del agregado "que flota" y, por otra, resistencia variable con la profundidad del miembro. Además de tener cuidado con la vibración, el uso de asentamientos bajos (menores de 10 centímetros) es una gran ayuda para evitar la segregación, tanto durante el manejo, como durante la compactación y el acabado.

El acabado de hormigón estructural de agregado liviano, dosificado en forma apropiada, puede efectuarse, por lo general, más temprano de lo que es la práctica corriente con hormigón de peso normal. Hay que evitar el trabajo en exceso de la superficie, aún más que con el hormigón de peso normal. El demasiado trabajo alejará de la superficie al mortero más pesado y tenderá a traer un exceso de agregado grueso liviano a ella. La preparación superficial del hormigón estructural de agregado liviano con anteriori-

dad al alisado se efectúa mejor con llanas y palustres de magnesio o aluminio. El uso de estas herramientas minimizará el desgarramiento de la superficie y las extracciones. Los apisonadores de parrilla, tanto del tipo fijo como del de rodillo, pueden usarse con ventaja para hundir las partículas gruesas y desarrollar una buena superficie de mortero, siempre y cuando se usen ligeramente, con control cuidadoso y limitándose a sólo un paso sobre la superficie. (Véase la Referencia 53, Sección 7.2.1). Cuando se usan apisonadores de parrilla, es aún más necesario mantener el asentamiento bajo: no más de 5 centímetros. Nunca hay que usar apisonadoras vibratorias de parrilla en el caso de hormigón estructural de agregado liviano.

Curado y protección

El curado y protección del hormigón estructural liviano no difieren de las del hormigón de peso normal. Véase el Capítulo 10 de este manual.

HORMIGON DE RELLENO DE PESO LIVIANO

El término *hormigón de relleno de peso liviano* como se usa en este manual, designa hormigones, secados al horno, con pesos unitarios entre 800 y 1440 kg/m³ y generalmente con resistencias a la compresión menores de 175 kg/cm². Las aplicaciones para tales hormigones varían desde rellenos aislantes hasta elementos estructurales. Los agregados en el hormigón de relleno incluyen no solo los agregados de la norma ASTM C 330 sino también los de la norma ASTM C 332. También se usa como hormigón de relleno, hormigón celular con adición de arena u otros agregados finos.

Los hormigones celulares y los agregados que cumplen la norma ASTM C 332 se describen en la discusión siguiente de hormigones aislantes. En la referencia 108 se da información detallada sobre hormigón liviano de relleno.

Agregados

Los agregados gruesos de peso liviano de estos tipos se utilizan generalmente con agregados finos similares de peso liviano, pero, a veces, con arena natural. Es preciso que todos los agregados para hormigones de relleno cumplan los requisitos de las normas ASTM C 33, C 144, C 330 o C 332, que sean aplicables.

Dosificación y control de la mezcla

El objetivo general en la dosificación del hormigón de relleno de peso liviano es alcanzar la resistencia apropiada sin exceder el peso unitario especificado. Esto se logra por tanteos. Los detalles de la dosificación de tanteos con lutitas expandidas o conglomeradas, arcillas, etc., o con materiales naturales procesados son los mismos que para el hormigón estructural de peso liviano descritos atrás. De manera similar, los procedimientos para hormigones de vermiculita, de perlita, o espumosos, coinciden con los que para hormigones aislantes se describen más adelante.

Los aditivos reductores de agua, acelerantes y retardadores pueden usarse en hormigón de relleno de peso liviano, esencialmente de la misma manera que en el hormigón de peso normal, y lo mismo que en éste, echar mano de puzolanas para reemplazar parcialmente el cemento portland.

Ensayo

Los procedimientos de ensayo en el laboratorio y en el campo del hormigón liviano de relleno son idénticos a las partes pertinentes descritas antes para el hormigón estructural de agregado liviano y más adelante para el hormigón aislante.

Producción

Los métodos de dosificación y amasado, colocación, compactación, curado y protección son esencialmente iguales a los prescritos en las secciones precedentes y siguientes de este capítulo.

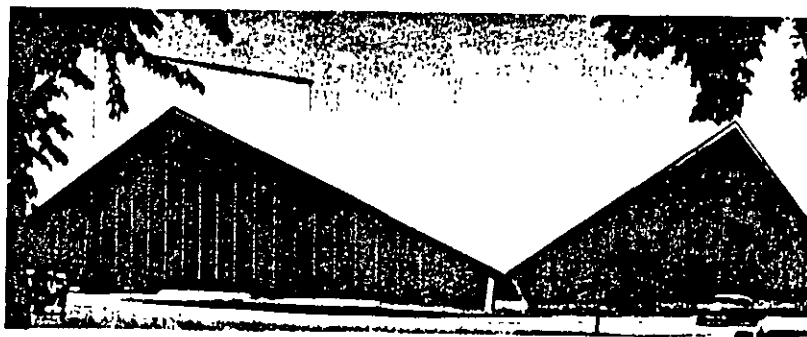


Fig. 16-1—Este parabololde hiperbólico, construido con hormigón liviano que pesa únicamente 304 kg/m³ (19 lb/plc³), sólo se apoya en sus cuatro esquinas.

HORMIGON AISLANTE DE PESO LIVIANO

Comúnmente se utiliza hormigón de baja densidad colocado en el campo (hormigón aislante de peso liviano), para proporcionar aislamiento térmico y más rigidez en tableros de cubierta (Fig. 16-1). Tal hormigón puede usarse también para reducir la transmisión de calor a través de pisos y paredes. El hormigón de baja densidad, según se entiende acá, se define como hecho con agregados o sin ellos, y que seco al horno tiene un peso unitario de 800 kg/m³ o menos. El hormigón de baja densidad es de dos tipos generales:

Tipo agregado—Hecho predominantemente con agregados minerales de baja densidad, como vermiculita o perlita expandidas, o con agregados sintéticos, también de baja densidad.

Tipo celular—Hecho con una matriz de cemento alrededor de vacíos de aire que se generan mediante espumas preformadas o agentes espumantes especiales, con adición de agregados minerales o sin ella.

Los agregados anteriores deben cumplir los requisitos de la norma ASTM C 332. En la Referencia 109 se presenta información detallada con respecto al hormigón de baja densidad; los productores y sus asociaciones comerciales también suministran información detallada sobre agregados, espumas y dosificaciones de la mezcla. Los agregados minerales para hormigón aislante de baja densidad se dividen en dos grupos. El grupo 1 consiste en los producidos con elementos que se expanden, como la perlita y la vermiculita. Generalmente, dan hormigones que, secos al aire, tienen pesos unitarios comprendidos entre 240 y 800 kg/m³. Los agregados del grupo 2 comprenden los mismos materiales listados para agregados estructurales de hormigón liviano. Por lo general, éstos producen hormigones que, secos al aire, tienen pesos unitarios comprendidos entre 720 y 1440 kg/m³.

Los agregados naturales más comúnmente usados en la producción de hormigones aislantes de baja densidad son los minerales expandidos, la vermiculita y la perlita. La vermiculita es un mineral semejante a la mica, que, cuando se expande mediante calor, hace que sus partículas tomen forma de acordeón. De peso unitario, en estado suelto y seco, variable entre 95 y 160 kg/m³, usualmente se produce en tamaños graduados.

Otros agregados utilizables para producir hormigón aislante son principalmente materiales sintéticos, e incluyen gránulos cerámicos y de vidrio, pepas huecas de polietileno, papel molido y aserrín. La mayoría de estas partículas vienen en un solo tamaño.

La perlita es una roca silicea vidriosa que se encuentra en la naturaleza y que al expandirse mediante el calor, produce partículas de color claro, por lo general, esféricas. Las partículas contienen celdas cerradas de aire. El agregado de perlita, seco y suelto, tiene peso unitario entre 120 y 190 kg/m³ y se produce también en tamaños graduados.

La arena utilizada en el hormigón de baja densidad, tiene que cumplir los requisitos de la norma ASTM C 33 (arena de hormigón) o ASTM C 144 (arena de mortero). Los agregados usados en la producción de hormigón aislante rara vez exceden de 9.5 mm en su tamaño máximo y frecuentemente dicho valor es menor de 6 mm.

Espumas (hormigón celular)

En la producción de hormigón aislante se utilizan, tanto espumas preformadas, como generadas en la hormigonera. Se genera espuma preformada introduciendo cantidades controladas de aire, agua y agente espumante bajo presión en una boquilla formadora de espuma. El agente espumante es, a menudo, un material de tipo proteínico similar al utilizado en los extinguidores de incendio de tipo espumoso. La espuma preformada se combina con una lechada de cemento o de agregado y cemento, ya sea en volúmenes medidos o en mezclas continuas. La espuma debe tener suficiente estabilidad para mantener su estructura hasta que el hormigón se endurezca.

Las espumas generadas en la hormigonera o en el sitio se producen mediante la mezcla a alta velocidad y agitación de agua, de agente espumante, cemento y agregado (si se requiere), con incorporación simultánea de aire. Las burbujas de aire que, al principio, son grandes se reducen a tamaños razonablemente uniformes, a medida que prosigue la mezcla.

Las cantidades de espuma preformada o de agente espumante requeridos se determinan mediante mezclas de ensayo y dependen del tipo y eficiencia de la hormigonera y del peso unitario deseado del hormigón. Hasta un 80 por ciento del volumen final de la mezcla de hormigón puede ser aire.

Dosificación y control de la mezcla

En la mayoría de las aplicaciones, las proporciones del hormigón aislante se escogen en tal forma que suministren una densidad seca especificada, pues que las propiedades térmicas son, principalmente, función de la densidad.

Hormigón aislante tipo agregado—Las mezclas que contienen agregado de peso liviano se especifican frecuentemente en términos de metros cúbicos (volumen suelto) de agregado por saco de cemento. Una mezcla 1:0.17 contendrá un saco portland por 0.17 metros cúbicos de agregado. Un mejor método es especificar tales mezclas en términos de peso por metro cúbico de hormigón. En estas unidades, los contenidos de cemento varían entre 195 y 375 kg de cemento por metro cúbico de hormigón.

Generalmente, se incluye un aditivo incorporador de aire en el hormigón aislante hecho con agregados de peso liviano. El aditivo incorporador de aire actúa como agente humectante, baja el peso específico de la pasta, y aumenta el peso específico relativo de las partículas gruesas. Así, se reduce sustancialmente la tendencia de los agregados a flotar, y más aún, se reduce también el contenido de agua de amasado. Esto es, particularmente, importante con mezclas fluidas que van a ser bombeadas a través de líneas de mangueras pequeñas (5 a 10 centímetros). Tales mezclas son casi autonivelantes. La cantidad de aire incorporado se ajusta, a menudo, para obtener en el hormigón producido el peso unitario seco previsto.

Los requisitos de agua de los hormigones aislantes hechos con agregados livianos varían grandemente con las características de absorción de los agregados y la fluidez deseada de la mezcla. El agregado de vermiculita es altamente absorbente y requiere típicamente entre 355 y 475 kg de agua por metro cúbico, en el caso de mezclas fluidas. La mayoría de las perlitas son menos absorbentes y el requisito de agua puede estar entre 180 y 300 kg por metro cúbico.

Hormigón aislante tipo espuma (celular)—En general, los contenidos de cemento para hormigón celular varían entre 280 y 560 kg por m³. Cuando se desean pesos unitarios mayores de 480 kg/m³, se añade, usualmente, arena fina, y los contenidos de cemento resultan entonces entre 280 y 325 kg/m³. Cuando se desean pesos unitarios secos menores de 480 kg/m³ no se utiliza agregado. Los contenidos de agua de hormigones aislantes celulares sin agregado están generalmente entre 180 y 300 kg/m³, y los de hormigones con arena, entre 120 y 220 kg/m³.

Efecto del bombeo sobre la dosificación de la mezcla—Si la mezcla de hormigón aislante va a ser transportada mediante bombeo, hay que ensayar todas las mezclas de laboratorio, siempre que sea posible, por bombeo en condiciones de campo, con anterioridad a la construcción. El bombeo puede influir en el requisito de agua, cambiar los pesos unitarios húmedos y secos, y mejorar la uniformidad de la mezcla. A veces es preciso comenzar con cantidades adicionales de aire o espuma, para compensar las pérdidas en la mezcla, bombeo y vaciado de los hormigones aislantes.

Ensayo

Los ensayos en el laboratorio de las mezclas de prueba del hormigón aislante se limitan, por lo general, a los de resistencia a la compresión y determinación de los pesos unitarios secos y en estado plástico (es decir, recién amasado). Los especímenes de resistencia a la compresión y de peso unitario seco se hacen en moldes de 7.5×15 cm y se ensayan de acuerdo con la norma ASTM C 495. Los pesos unitarios en estado plástico se determinan de manera similar a la de otros hormigones (ASTM C 138), excepto que el hormigón se consolida generalmente golpeando los lados del recipiente, en lugar de apisonarlo con varilla. Es necesario establecer la correlación entre el peso unitario en estado plástico (húmedo) y el peso unitario seco, para permitir que el control de la construcción se base en el primero de ellos.

Una vez establecida la dosificación satisfactoria de la mezcla son necesarios, a veces, otros ensayos de laboratorio. Puesto que estos hormigones se utilizan como aislantes, la resistividad térmica y la resistencia se miden con una estufa protegida (ASTM C 177) o un conductómetro calibrado (ASTM C 518). En ocasiones, se requiere determinar el calor específico y la difusión térmica para fines de diseño.

Rara vez se requiere medir la resistencia a la tensión, el módulo de elasticidad, la relación de Poisson y la contracción por secamiento. Las técnicas para hacerlo son las mismas que se usan para hormigón estructural. Sin embargo, el equipo usado deberá tener suficiente sensibilidad para poder registrar los bajos valores que generalmente se encuentran. La contracción de secamiento del hormigón aislante es alta si se la compara con la del hormigón estructural y alcanza a ser hasta del $\frac{1}{2}$ por ciento.

Algunas veces se utiliza la resistencia a la penetración para definir la capacidad del hormigón de baja densidad de resistir el tránsito peatonal normal de construcción. Para que admita que se camine sobre él es preciso que el penetrómetro Proctor indique un valor promedio de soporte mayor de 4.5 kg con una penetración de 6 mm de una aguja de 32 mm^2 (1/20 pulg²).

También puede requerirse medir la facilidad de clavadura en el hormigón de baja densidad. La resistencia a la extracción de un clavo se ensaya de acuerdo con la norma ASTM D 1037. La clavadura se juzga satisfactoria cuando permite la penetración de un tipo especificado de clavo sin quebrarse y aguantar una fuerza de extracción de 18 kg.

Los ensayos de control de campo están limitados, por lo general, a determinar la resistencia a la compresión, como se describió antes, y el peso uni-

tario húmedo (es decir, en estado plástico). A causa de las variaciones de los pesos de los agregados del cemento y del agua, es común considerar aceptables medidas de peso unitario con exactitud de más o menos uno por ciento. A menos que se especifique otra cosa, pueden usarse para este fin un balde ordinario galvanizado de 10 litros, o un recipiente calibrado similar junto con una báscula de resorte. Es necesario calibrar el balde antes de usarlo y verificar la precisión de la báscula por lo menos una vez a la semana, durante su uso.

Dosificación y amasamiento

En las operaciones de dosificación y amasadura la cantidad requerida de agua debe verterse de primera en la hormigonera, seguida por el cemento, el agente incorporador de aire o espumante, el agregado, la espuma preformada y los otros aditivos, o sólo éstos. Los materiales tienen que mezclarse de manera que se obtenga el peso unitario de diseño, en estado plástico (húmedo), en el punto de vaciado. Es preciso tener en cuenta cualquier cambio en la mezcla que pueda causar el método de vaciado, como, por ejemplo, los que resultan del bombeo mecánico o neumático.

Cuando se utiliza equipo de amasar en tránsito en la producción de hormigón de baja densidad que contenga agregado, se prescribe no operar la hormigonera durante el viaje al sitio de la obra.

En operaciones de amasadura continua se deben tomar provisiones para añadir todos los materiales, a una tasa uniforme (y continua), en su relación correcta y en las posiciones apropiadas dentro de la máquina amasadora, con el fin de asegurar la obtención de un peso unitario uniforme en el punto de vaciado.

Vaciado y compactación

La mayoría de los hormigones aislantes se bombean con mezclas extremadamente fluidas. Por lo general, sólo se requieren operaciones menores de alisamiento y allanadura, para completar la colocación y el acabado. Si un agregado es muy desmenuzable o se desean resistencias más altas a un peso unitario especificado, en estado seco, puede mantenerse el contenido de agua más bajo y colocarse, entonces, el hormigón sin bombearlo. El alisamiento y acabado son todavía extremadamente simples si se comparan con el del hormigón estructural. El hormigón es liviano y se puede empujar fácilmente a su sitio. Rara vez se utiliza vibración de ninguna clase. La vibración externa se utiliza algunas veces para formas moldeadas o cavidades dejadas a propósito.

Curado y protección

No ha de permitirse que la superficie del hormigón de baja densidad, recientemente acabado, tenga secamiento apreciable durante los primeros tres días. Los hormigones de vermiculita y de perlita, con su alto contenido de agua, no requieren, por lo general, membrana o agua de curado en condi-

ciones moderadas de clima. En clima caliente, seco y venteado, es preciso utilizar membranas.

Los hormigones celulares típicos tienen contenidos mayores de cemento y menores de agua que los hormigones de agregado. Para estos últimos se deberán prescribir y utilizar procedimientos específicos de curado, como por ejemplo membranas o agua, a fin de prevenir el secamiento prematuro. Si no se usa tal curado, las resistencias serán bajas y es previsible que resulte un excesivo encogimiento por secamiento.

HORMIGON DE ALTA DENSIDAD

Hormigones con pesos específicos sustancialmente mayores de 2400 kg/m³ del hormigón de peso normal se suelen utilizar como escudo para proteger a la gente y al equipo de radiaciones dañinas como por ejemplo, rayos x, rayos gama y neutrones.

Estos hormigones se hacen con agregados pesados que varían en densidad, llegando hasta aproximadamente 5600 kg/m³. Para el blindaje contra neutrones, el hormigón de alta densidad también incluye hormigones con minerales hidratados como agregado y altos contenidos de cemento, a fin de aumentar la cantidad de agua hidratada. Tales hormigones pueden no ser más pesados que los de peso normal pero sí mucho más eficientes en la protección contra neutrones, puesto que contienen más hidrógeno. Los hormigones de alta densidad se utilizan usualmente donde no hay espacio suficiente para obtener igual peso con hormigón de peso normal. Es preciso obtener la alta densidad que se desea para que el hormigón proporcione el blindaje requerido.

Agregados

Los agregados de peso pesado para preparar hormigón de alta densidad consisten en minerales naturales como barita, ferrofósforo, geotita, hermatita, ilemenita, limonita y magnetita, y además, de materiales hechos por el hombre como bocados de acero y granalla. Cuando se desea alto contenido de agua fija, como se describió atrás, pueden usarse mineral de hierro hidratado, serpentina (ligeramente más pesada que el agregado de peso normal), o bauxita. La Tabla 16-1 proporciona pesos específicos y porcentajes de agua fija de algunos de estos materiales. Para producir hormigón que pese entre 3680 y 3840 kg/m³, o alrededor de 4800 kg/m³, el agregado deberá tener un peso específico relativo al menos de 4.5 en el primer caso y al menos de 6.0, en el segundo.

En general, la selección de un agregado se determina por propiedades físicas, disponibilidad y costo. Es preciso que los agregados de peso pesado se hallen razonablemente libres de material perjudicial, de aceite y de revestimientos extraños que afecten, bien la adherencia de la pasta a la partícula del agregado, bien la hidratación del cemento. También es necesario que no reaccionen con los álcalis y que para lograr buena manejabilidad, densidad

TABLA 16-1 — PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN HORMIGON PARA BLINDAJE

Mineral natural	Sintético
Arena y grava locales	Agregados triturados
Calánea } (2.5 a 2.7)*	Escorias pesadas (~5.0)
Silíceas } (2.5 a 2.7)*	Ferrofósforo (5.8 a 6.3)
Basáltica (2.7 a 3.1)	Ferrosilicio (6.5 a 7.0)
Mineral hidratado	Productos de hierro metálico
Bauxita (1.8 a 2.3) [15 a 25 por ciento] †	Trozos de barras } (7.7 a 7.8)
Serpentina (2.4 a 2.6) [10 a 13 por ciento]	Bocados de acero }
Goethita } (3.4 a 3.8)	Perdigones de hierro (7.5 a 7.6)
Limonita } [8 a 12 por ciento]	
Mineral pesado	Aditivos de boro
Barita (4.0 a 4.4)	Boro fundido (2.4 a 2.6)
Magnetita } (4.2 a 4.8)	Ferroboro (5.0)
Hematita } (4.2 a 4.8)	Tierra chatomácea boratada (~1.0)
Hematita }	Carburo de boro (2.5 a 2.6)
Aditivos de boro	
Borato de calcio	
Borocalcita } (2.3 a 2.4)	
Colemanita }	
Borato Gerstley (2.0)	

*El peso específico relativo aparece entre paréntesis comunes.

† El agua de hidratación se indica entre paréntesis rectangulares.

máxima y economía, tengan forma aproximadamente cúbica y carezcan de partículas planas o alargadas.

Los agregados naturales y el ferrofósforo deberán estar bien graduados y dentro de los límites que aparecen en la Tabla 16-2 para agregados gruesos y en la Tabla 16-3, para finos.¹⁰⁰ Es preciso utilizar agregados finos con graduación 7, cuando la gravedad específica de la arena de la lechada resulte mayor de 3.0. Se requiere que los agregados metálicos gruesos tengan dimensión máxima (medida diagonalmente) de 25 mm y que todo el agregado grueso quede retenido en una malla de huecos cuadrados de 9.5 mm. La granalla sin graduar o los agregados metálicos finos de hierro pulverizado tienen que cumplir los requisitos de graduación de la Tabla 16-3.¹⁰⁰ En condiciones difíciles de vaciado es, a menudo, obligatorio limitar el sobretamaño.

Dosificación y control de la mezcla

El hormigón para vaciado normal puede dosificarse para densidades tan altas como 5600 kg/m³, utilizando agregados pesados como mineral de hie-

ro, barita, o granalla y bocados de hierro. Aunque cada uno de los materiales tiene sus propias características especiales, se ha de procesar para que cumpla los requisitos estándares de graduación, sanidad, limpieza, etc. La aceptabilidad del agregado deberá estar relacionada con el uso futuro del hormigón. En el caso de blindaje contra radiación es preciso determinar si en el material hay vestigios de elementos susceptibles de volverse reactivos cuando se someten a radiación. En la selección de materiales y en la dosificación del hormigón de peso pesado, los datos necesarios y los procedimientos por emplear son similares a los requeridos para hormigón de peso normal, excepto que deberán considerarse los siguientes ítems:

Al seleccionar un agregado para la densidad prescrita, el peso específico del agregado fino deberá ser comparable al del grueso, con el fin de disminuir el asentamiento de éste en la matriz de mortero. Algunos de los materiales utilizados como agregados pesados figuran en la Tabla 16-1.

Los materiales ferrosos y ferrosilíceos (escorias de peso pesado) deberán usarse sólo si la dosificación de la mezcla en laboratorio muestra que son apropiados. Se ha sabido que la evolución del hidrógeno en hormigón de peso pesado con esos agregados, resulta en una reacción de naturaleza autolimitante, al producir más de 25 veces su volumen de hidrógeno antes que cese la reacción. Los agentes antiespumantes pueden desincorporar algo de aire.

TABLA 16-2 — REQUISITOS DE GRADACION PARA AGREGADOS GRUESOS—PORCENTAJE EN PESO QUE PASA EL TAMIZ

Tamaño nominal del tamiz con aberturas cuadradas	Colocación convencional		Colocación preconsolidada	
	Gradación 1	Gradación 2	Gradación 3	Gradación 4
45.3 mm	100	...	100	...
38.1 mm	95 a 100	...	95 a 100	...
32.0 mm	...	...	70 a 100	100
25.4 mm	60 a 85	100	40 a 80	95 a 100
19.0 mm	35 a 70	90 a 100	20 a 45	40 a 80
12.7 mm	20 a 50	50 a 75	0 a 10	0 a 15
9.5 mm	10 a 30	20 a 55	0 a 2	0 a 2
No. 4	0 a 5	0 a 10	0	0
No. 8	0	0	...	...

Dosificación y amasamiento

Las técnicas y el equipo para producir hormigón de peso pesado son los mismos que se emplean con hormigón de peso normal, pero por la importancia de mantener una especificación basada en peso, las medidas de ensayo y de control de calidad, especialmente las determinaciones del peso

TABLA 16-3 — REQUISITOS DE GRADACION PARA AGREGADOS FINOS — PORCENTAJE EN PESO QUE PASA EL TAMIZ

Tamaño nominal del tamiz con aberturas cuadradas	Gradación 5 agregado fino	Gradación 6 arena de relleno	Gradación 7 arena de relleno
9.5 mm	100	...	...
No. 4	95 a 100	...	...
No. 8	80 a 100	...	...
No. 16	50 a 85	100	100
No. 30	25 a 60	65 a 90	75 a 95
No. 50	10 a 30	30 a 50	45 a 65
No. 100	2 a 10	10 a 30	20 a 40
No. 200	0 a 5	0 a 5	0 a 10
Módulo de finura*	2.3 a 3.1	1.30 a 1.90	1.00 a 1.60

*El módulo de finura no debe variar en más de 0.2, con respecto al de la muestra aprobada.

unitario, asumen aún mayor importancia en la exigencia de un control estricto de calidad. Se debe poner especial atención a lo siguiente:

1. Prevenir la contaminación con agregado de peso normal en el equipo de transporte y en las pilas de almacenamiento.
 2. Evitar la sobremezcla, pues algunos agregados de peso pesado están sometidos a rompimiento.
 3. Purgar todo el equipo de manejo y dosificación de agregados, de las premezcladoras, y de las hormigoneras de camión, antes que se proceda a la dosificación y amasadura del hormigón de peso pesado.
 4. Verificar la precisión y condición del equipo de transporte y de pesaje, del almacenamiento de agregado, y de los silos de dosificación de hormigón. Debido al mayor peso del agregado de peso pesado, el volumen que se permite dosificar en un silo es considerablemente menor que su capacidad de diseño. Por ejemplo, un silo de agregados de 100 toneladas, diseñado para contener agregado de 60 m³ de peso normal, no deberá cargarse con más de 20 a 45 m³ en el intervalo de pesos específicos mostrado atrás.
 5. Verificar la condición del equipo amasador y el modo de cargarlo. Para hormigón con pesos entre 2800 y 5600 kg/m³ aproximadamente, la capacidad volumétrica de una hormigonera de camión, sin sobrecarga, se reduce entre un 20 y un 60 por ciento.
 6. Dosificar con precisión los agregados para mantener la relación agua-cemento.
 7. Verificar frecuentemente el peso unitario del hormigón fresco.
 8. Evitar el arranque y detención del equipo de amasar durante la carga, por los grandes pesos que tiene que soportar.
- En la Referencia 7 se encuentran detalles adicionales referentes a la dosificación, medición y amasadura del hormigón de alta densidad.

Vaciado, compactación y acabado

Generalmente son aplicables los métodos en uso con hormigones de peso normal, pero, a causa de la más alta densidad, se debe tener cuidado en no sobrecargar el equipo de transporte. Las formaletas tienen que diseñarse para soportar los altos pesos de estos hormigones, que pueden bombearse, pero a alturas o distancias menores que en el caso de hormigones de peso normal.

Puede ocurrir segregación de los agregados gruesos densos. Hay que procurar que el asentamiento sea bajo y que no haya sobrevibración. Algunas veces se recurre a la colocación previa del agregado grueso (véase el Capítulo 15).

Otro método usado para distribuir uniformemente el agregado grueso es el de pudelación, consistente en colocar el mortero en capas de espesor controlado y encima de él una cantidad medida de agregado grueso, que se vibra dentro del mortero.

Curado y protección

Los requisitos de curado y protección son los mismos que para los hormigones de peso normal.

HORMIGON MASIVO

El hormigón masivo, que no necesariamente es de agregado de tamaño extremadamente grande, es aquel para el cual debe considerarse la elevación de temperatura causada por el cemento y la caída subsecuente de la misma, para volver a las condiciones del ambiente. Es lo usual exigir que el hormigón en masa se coloque a baja temperatura, a menudo de 16°C, o menos, como máximo. Como ayuda en el control de temperatura, con frecuencia se utiliza hielo, para reemplazar parte del agua de amasado. En la práctica, el hormigón en masa cae en una de dos categorías: hormigón para estructuras grandes, como por ejemplo presas, y hormigón para miembros estructurales profundos y gruesos, como es el caso de cimentaciones pesadas y muros de recipientes nucleares u otras estructuras, o para vigas pesadas de antepecho, de gran luz. Puesto que los hormigones de estos dos tipos de estructuras difieren ampliamente, se discutirán separadamente en este manual. En las Referencias 111 y 112 se informa sobre la inspección y vibración del hormigón masivo.

HORMIGON MASIVO PARA PRESAS

Para economizar cemento y reducir la elevación de temperatura, el hormigón de las presas se hace con bajo contenido de cemento, agregado de tamaño máximo grande (generalmente entre 76 y 152 mm), bajo porcentaje de agregado fino y, a menudo, reemplazando parte del cemento portland

con una puzolana. En las Referencias 8, 24, 27, 113 y 114 se da información detallada sobre hormigón para presas. Como en este manual se presentarán únicamente los aspectos más importantes de la inspección y del hormigón para presas, se urge a quienes estén directamente involucrados en su diseño y construcción a que obtengan mayor información en las referencias citadas.

Dosificación y control de la mezcla

El objetivo de una investigación de mezclas de hormigón masivo es la selección de materiales cuyo tipo y cantidad proporcionen economía, bajo potencial de elevación de temperatura, y propiedades adecuadas de manejabilidad, resistencia, durabilidad, y permeabilidad. Para alcanzar este objetivo se suelen utilizar los Tipos II o IV de cemento portland en conjunto con puzolanas o cementos puzolánicos portland. En presas de gravedad los esfuerzos son bajos y se desarrollan lentamente; por consiguiente, estas presas se diseñan usualmente con hormigón de poca resistencia y bajo contenido de cemento. Por lo general, se especifica que la resistencia a compresión de diseño ha de alcanzarse a la edad de 90 días o al cabo de 1 año. Las presas de arco pueden requerir resistencias algo mayores, pero, de nuevo, los esfuerzos se desarrollan lentamente. A menudo se utilizan aditivos reductores de agua e incorporadores de aire.

La experiencia ha demostrado que puede utilizarse un intervalo bastante amplio de graduación del agregado grueso (con tamaño máximo de 152 mm). Los límites de graduación son, por lo general, una retención de aproximadamente 20 a 35 por ciento en cada uno de los tamices de 76, 38, 19 y 4.8 mm. Los límites de graduación de la arena son generalmente algo más restrictivos en cuanto a intervalo que los dados por la norma ASTM C 33.

El procedimiento que se usa en general con el hormigón masivo para presas consiste en seleccionar las proporciones de las mezclas de ensayo siguiendo las recomendaciones de la Referencia 7 (véase el Capítulo 6 de este manual). Los asentamientos están limitados usualmente a 4 o 5 cm, con el fin de impedir la segregación. La relación de agregado fino a agregado total, por volumen absoluto, puede bajar hasta un 21 por ciento con agregados naturales y con agregados triturados variar entre 25 y 27 por ciento.

Ensayo

Es necesario hacer algunos especímenes de resistencia a compresión que contengan toda la mezcla de la masa, con diámetro no menor de 3 veces el tamaño máximo del agregado, y ensayarlos a la edad de resistencia de diseño especificado. Necesariamente habrá que ensayar cilindros de control en la obra, a edades más tempranas, con el fin de controlar la resistencia y uniformidad del hormigón. Tales especímenes de control en la obra se obtienen mediante un tamizado húmedo, o cogiendo a mano la muestra de hormigón fresco, removiendo todos los agregados mayores de 38 mm y formando luego cilindros estándar de 15 x 30 cm. Similarmente, los asentamientos y los contenidos de aire se miden en hormigón tamizado húmedo, o escogido a mano.

Puesto que para el control en obra se utilizan cilindros de 15 × 30 cm mientras que la resistencia de diseño se confirma con cilindros de diámetro apropiado, es necesario hacer en el laboratorio ensayos de correlación de las resistencias relativas de estos especímenes, con bastante anticipación a la construcción.^{103, 104}

Equipo y procedimientos especiales

La dosificación apropiada del hormigón masivo requiere los mismos procedimientos confiables, de medida precisa y uniforme, que son esenciales en otras clases de hormigón. Por la inusitada baja cantidad de mortero en el hormigón masivo para presas, la manejabilidad crítica es más sensitiva a las variaciones usuales de uniformidad de la dosificación. Afortunadamente, es económicamente posible, en grandes trabajos de hormigón masivo, especificar los métodos y equipos más efectivos para la dosificación. Entre estos están: (1) tamizado final del agregado grueso; (2) refinamientos en el equipo de dosificación; (3) mecanismos automáticos de pesado y corte; (4) trampillas para impedir el cargue cuando el material está todavía en la tolva; (5) artefacto para la lectura instantánea del contenido de humedad de la arena y (6) registro de las varias operaciones de pesaje y mezclado.

Se requieren silos y dispensadores para algunos materiales como puzolanas, hielo y aditivos: incorporadores de aire, reductores de agua y controladores de fraguado.

Las amasadoras de hormigón masivo están limitadas, en el caso de presas, a las estacionarias de planta central, con disposición de descarga por vuelco y comúnmente de, por lo menos, 3 metros cúbicos de capacidad. Las especificaciones sobre tiempo de amasado están relacionadas con la capacidad de la hormigonera y varían entre un mínimo de 1 minuto para los primeros ¼ de metro cúbico más 20 segundos por cada metro cúbico adicional de capacidad de la hormigonera, hasta minuto y medio para los primeros 1 ½ metros cúbicos más 40 segundos por cada metro cúbico adicional. Usualmente se requieren ensayos de comportamiento de la hormigonera; los criterios para ellos se encuentran en la Tabla 1 de la Norma ASTM C 94. Cuando se esté efectuando la amasadura ocurre la última oportunidad de observación y ajuste para obtener la consistencia y asentamiento uniformes deseados. Esto exige que tanto el inspector como el operario estén alertas y que este último se coloque en un sitio desde donde pueda ver la masa en la hormigonera, para juzgar si el asentamiento es correcto o si necesita ajuste de agua.

Antes del vaciado del hormigón masivo en las presas, las juntas de construcción horizontales deberán limpiarse por uno o más métodos, incluyendo chorro de arena, de agua a alta presión, y el uso de retardadores superficiales. El chorro de arena húmeda proporciona las superficies más satisfactorias bajo circunstancias cambiantes, y el costo varía ligeramente con respecto al de otros métodos. A veces se especifica esparcir con escoba una capa delgada de mortero de arena-cemento en las juntas de construcción horizontales, pero el valor de esta práctica es cuestionable.¹¹¹

Al vaciar hormigón fresco, es preciso que las superficies de la junta estén húmedas o casi secas y que no tengan humedad libre.

El mejor modo de vaciar hormigón masivo consiste en hacerlo por capas sucesivas que no excedan de 45 a 50 cm para hormigón con agregado máximo de 15 cm. Capas más delgadas, en vez de más profundas, dan mejor garantía de consolidación satisfactoria. Las capas deberán llevarse hacia adelante y añadirse al bloque mediante la descarga de las canecas en filas sucesivas, en tal forma que haya un retroceso de aproximadamente 1.5 metros entre capas sucesivas.

La vibración es clave para el uso provechoso del hormigón masivo, pobre y de bajo asentamiento. En años recientes, los vibradores, para este propósito, han sido grandes, del tipo de cabeza vibradora, operados por una persona. Los nuevos vibradores de aire, operados individualmente, son superiores a los eléctricos para 2 hombres, que eran los mejores hace 25 años. Es preciso poner especial cuidado en asegurar que haya una vibración completa en el sitio donde se unen los perímetros de dos mezclas. Los vibradores deben operarse en posición vertical, penetrar varios centímetros en las capas inferiores y permanecer en operación hasta que cese el escape de grandes burbujas de aire de hormigón. Es poco probable que se presente sobrevibración del hormigón masivo de bajo asentamiento. En la Referencia 51 se dan recomendaciones para el vibramiento del hormigón masivo.

Control de temperatura

El control de temperatura es necesario en el hormigón masivo para presas, con el fin de minimizar el agrietamiento debido a diferencias insostenibles entre las altas temperaturas internas y las bajas temperaturas exteriores causadas por condiciones ambientales. Hay también pérdida de resistencia en edades posteriores si no se controla el incremento de temperatura. Es práctica común con un equipo eficiente, ahora disponible, producir hormigón a temperaturas menores de 10°C, prácticamente en cualquier clima de verano. El uso de hielo finamente picado en lugar del agua de amasado y el sombrero del agregado húmedo (no mojado) reducirá la temperatura del hormigón aproximadamente a 10°C en todo clima, con excepción de los más cálidos. El agregado grueso puede enfriarse pasando aire frígido a través de los silos, o el agregado grueso por agua helada. También es susceptible de enfriamiento el agregado mediante procesos de vacío, pero, a menos que su contenido de humedad sea muy uniforme, esto puede traer dificultades con el control de asentamiento. Para otras recomendaciones véase la Referencia 59.

Aparte del enfriamiento con tubos, cabe utilizar las siguientes prácticas para minimizar la elevación de temperatura: (1) formaletas de acero para transferencia calórica rápida, rociadas con agua fría en caso necesario y (2) curado con agua de las juntas de construcción horizontal, con rocío evaporatorio controlado.

El enfriamiento mediante tubería embebida se utiliza para limitar la elevación de las temperaturas del hormigón cerca de las cimentaciones, cuando éstas no pueden mantenerse bajas mediante procesos de enfriamiento me-

nos costosos. También ocurre que sea necesario acudir al enfriamiento mediante tubos para asegurar las aperturas de las juntas de contracción en el caso de que se requiera el relleno con lechada de éstas. El sistema de enfriamiento consiste en una serie de serpentines de tubo, espaciados a distancias iguales, por los que circula agua refrigerada. Para otras recomendaciones véanse las Referencias 113 y 114.

HORMIGON MASIVO ESTRUCTURAL

La limitación de la elevación de temperatura es importante en varios tipos de miembros estructurales modernos. Entre estos se encuentran las pesadas cimentaciones de losas (Fig. 16-2) para edificios altos o plantas de electricidad, pesados pilares de puentes, paredes gruesas de recipientes nucleares, y vigas gruesas y pesadas de antepecho. Se considera como hormigón estructural masivo al que tenga 90 cm o más, de espesor. Una discusión más amplia sobre el particular aparece en un artículo orientado hacia el trabajo, en la Referencia 115.

No se han preparado guías o prácticas recomendables para hormigón masivo estructural. Sin embargo, las Referencias 116 y 117 proporcionan información útil para los inspectores de la construcción de plantas nucleares. Aunque muchas de las recomendaciones ya vistas son aplicables a hormigones normales y masivos, el hormigón masivo estructural difiere en varios aspectos del destinado a presas. Generalmente, se prescribe que los hormigones masivos estructurales tengan resistencias a la compresión mayores que las estructuras masivas del tipo de presas. Las resistencias requeridas pueden variar entre 210 y 350 kg/cm² o más. A menudo se especifica que la resistencia se obtenga a los 28 días de edad, pero puede prolongarse inclusive hasta 90 días. El tamaño máximo del agregado probablemente no será mayor de 38 mm y a menudo llegará a sólo 19 mm. Generalmente, se especifican asentamientos entre 75 y 100 mm y contenidos de aire de 4 a 6 por ciento, aunque es cuestionable la ventaja de usar aire incorporado en la mayoría de estos hormigones ricos, masivos y bien drenados.

Debido al costo, por lo general, no hay disponibles para el hormigón masivo estructural medios eficientes de enfriar sus ingredientes, como los utilizados en las presas. A menudo se utiliza hielo picado para reemplazar el agua de amasado en clima cálido y se especifica, como temperatura máxima de colocación, la de 21°C, aunque son preferibles valores inferiores.

En el caso de construcción nuclear, se especifican y ensayan cuidadosamente todos los ingredientes del hormigón antes de utilizarlos en la estructura. Por lo general, se prescribe que los cementos portland sean del Tipo II. Los agregados se someten a un muestreo cuidadoso, a un ensayo de granulometría, y a un examen petrográfico, para determinar su calidad e identificar materiales nocivos. Se hacen esfuerzos para minimizar el contenido de pedernal de los agregados finos. Los aditivos incorporadores de aire, los reductores de agua, y las cenizas volantes se ensayan para verificar que cumplan con las normas ASTM C 270, C 494, y C 618, respectivamente.

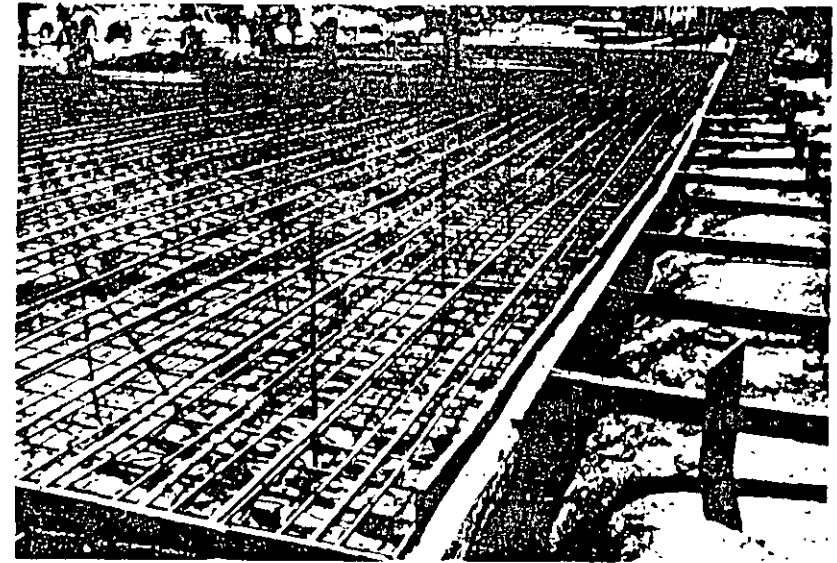


Fig. 16-2—Las placas corridas gruesas, utilizadas como cimentación, con refuerzo, tanto superior como inferior, son ejemplo del empleo estructural de hormigón masivo, en el que los ingredientes de la mezcla tienen que conservarse fríos y es preciso tomar otras precauciones cuando el clima es cálido.

La dosificación de la mezcla de ensayo se hace de acuerdo con la Referencia 7 y los especímenes de ensayo a compresión, son por lo general, cilindros de 15 × 30 cm.

El vaciado del hormigón masivo estructural puede hacerse por cualquiera de los métodos convencionales, inclusive el bombeo, y su consolidación es similar a la de otros hormigones estructurales. Lo mismo que con el hormigón masivo para presas, es necesario evitar las juntas frías y limpiar cuidadosamente las previstas en la construcción, antes de reanudar el hormigonado.

HORMIGON CON PUZOLANA COMO REEMPLAZO DEL CEMENTO

El uso de puzolanas en hormigón, como reemplazo de una cierta porción del cemento portland, no es un desarrollo nuevo. La puzolana ha tenido uso considerable en estructuras masivas, como presas, desde finales de la década de los 1940. Desde entonces, las puzolanas, particularmente las cenizas volantes, han encontrado también considerable empleo en el hormigón estructural. El uso de ellas puede mejorar la manejabilidad, reducir el calor de hidratación, aumentar la impermeabilidad, mejorar la resistencia a los

sulfatos y reducir las expansiones causadas por la reacción entre ciertos agregados y los álcalis del cemento. En forma importante, cuando se emplean puzolanas resulta, en principio, mayor economía del hormigón, particularmente si se especifican resistencias de diseño a la compresión a edades mayores que a los 28 días.

El uso de puzolanas reduce, en general, la velocidad de desarrollo de resistencia a edades tempranas, de manera que la resistencia del hormigón a estas edades será por lo común menor que en mezclas comparables hechas con sólo cemento portland; pero la resistencia a edades posteriores será, aproximadamente, igual o mayor. Las puzolanas clases N y S, pueden aumentar los requisitos de agua de amasado y, en consecuencia, al menos en teoría la contracción de secamiento, pero no hay evidencia de tal diferencia respecto de las estructuras en el campo.

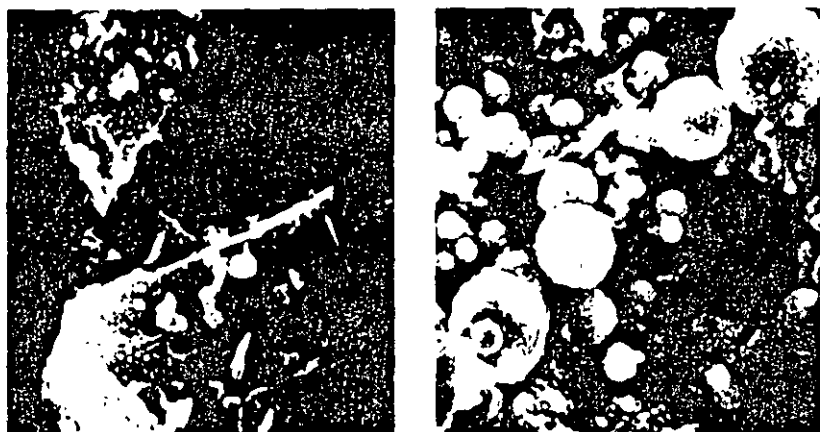


Fig. 16-3—Partículas de cemento portland muy ampliadas (izquierda) y de ceniza volante (derecha) ponen de manifiesto la forma esférica de estas últimas, que hace que fluyan fácilmente, mejorando así la manejabilidad de la mezcla.

La resistencia al congelamiento y descongelamiento puede bajar cuando el hormigón está húmedo, a menos que se incorpore aire cuidadosamente. El color del hormigón variará en consonancia con el color de las puzolanas. Ocurre a menudo que la puzolana clase F (ceniza volante) reduce el requisito de agua de amasado en lugar de aumentarlo (Fig. 16-3). Con el fin de establecer aproximadamente las ventajas y desventajas del uso de las puzolanas es necesario efectuar estudios de laboratorio de los hormigones propuestos, utilizando los materiales reales de la obra. En las Referencias 8, 27, 118 y 119 se encuentra información detallada sobre el uso de puzolanas en el hormigón.

Materiales

Todos los materiales puzolánicos que se vayan a usar en hormigón deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 618. Esta especificación establece cuatro clases de puzolanas, a saber:

Clase N—Puzolanas naturales crudas o calcinadas, como algunas tierras diatomáceas, pedernales opalinos, arcillas pizarrosas, tobas, cenizas volcánicas o piedra pómez, y algunas arcillas y pizarras.

Clase F—Cenizas muy finas que resultan como residuo, dividido finamente, de la combustión de la antracita, en polvo o molida, o del carbón bituminoso.

Clase S—Piedras pómez procesadas y ciertas arcillas pizarrosas, arcillas y diatomitas, calcinadas y molidas.

Clase C—Ceniza volante producida por la combustión de carbón de lignito o de carbón sub-bituminoso, generalmente, con un contenido de cal suficiente como para mostrar algunas propiedades cementosas.

Dosificación y control de la mezcla

La dosificación de la mezcla de ensayo de los hormigones que contienen puzolanas puede hacerse de acuerdo con las recomendaciones de la Referencia 7 (véase también el Capítulo 6 de este manual). Es importante conocer con precisión el peso específico de la puzolana.

Para establecer en forma apropiada la economía y las propiedades deseadas del hormigón se deben efectuar mezclas de ensayo con los materiales de la obra. Al hacerlo, es conveniente hacer esto para tres niveles de uso de las puzolanas. Estos pueden expresarse como porcentajes del contenido real de cemento portland, como por ejemplo, niveles de 10, 20 y 30 por ciento, por peso, del cemento. Para el análisis de los resultados de los ensayos y para la interpolación de las resistencias a la compresión deseadas, es conveniente, entonces, dibujar la resistencia a compresión de la mezcla de ensayo como función de la relación entre el peso del agua y el de cemento más puzolana.

Después de haber establecido resistencias, manejabilidad y economía satisfactorias, la dosificación propuesta en el campo deberá ensayarse en lo que respecta a contracción de secamiento y a durabilidad, si estas propiedades son importantes en la estructura en consideración.

Hay que tener cuidado en la medición de los elementos almacenados para distinguir entre el cemento portland y la ceniza volante, puesto que ambos materiales tienen muchas veces, prácticamente, el mismo color.

HORMIGON CON CEMENTO COMPENSADOR DE CONTRACCION

El hormigón compensador de la contracción se utiliza en varios tipos de construcción para minimizar el agrietamiento causado por la contracción de secamiento del hormigón endurecido. Tal compensación de encogimiento se logra, mediante el uso de cementos compensadores de encogimiento, los cuales

causan expansión después del fraguado para compensar la contracción subsecuente (Fig. 16-4).

Las características de los hormigones compensadores de encogimiento son similares, en la mayoría de los aspectos, a las de otros tipos de hormigón de cemento portland. Sin embargo, las proporciones, vaciado y curado deben ser tales que la expansión para compensación del encogimiento se logre en la estructura en la cantidad y tiempo requeridos. Además, el sistema de refuerzo debe proporcionar restricción apropiada a la expansión. Existe información detallada, en lo que respecta a hormigón con compensación de contracción, en la Referencia 120.

Materiales

En el presente se reconocen tres tipos de cemento expansivo y se los denomina como Tipos K, N y S. Aunque cada uno de ellos se produce con un proceso diferente, todos forman el mismo compuesto, etringita en el hormigón. La formación de este compuesto es la fuente de la fuerza expansiva del hormigón endurecido. Aproximadamente 90 por ciento del cemento compensador de contracción está conformado por los constituyentes del cemento portland convencional, con fuentes adicionales de sulfatos de aluminio y de calcio. Así, el análisis de óxidos, según lo indican los informes de ensayo de las fábricas, no difieren sustancialmente del de los cementos portland ASTM C 150.

Dos factores básicos son esenciales para el desarrollo de la expansión: una cantidad apropiada de sulfatos solubles y la disponibilidad de suficiente agua de curado para la hidratación. La etringita empieza a formarse casi inmediatamente que se introduce el agua, y su formación se acelera con el mezclado. Para que sea efectiva, debe formarse la mayor parte de la etringita después de la obtención de alguna resistencia; de lo contrario, la fuerza de expansión se disipará en la deformación del hormigón plástico. Una amasadura extensa es perjudicial para la expansión y en transportes largos de hormigón premezclado hay que tener esto en cuenta al dosificar la mezcla de ensayo. La finura del cemento por encima del valor óptimo también acelera la formación de etringita.

El uso de aditivos en hormigón compensador de contracción puede tener efectos benéficos o perjudiciales sobre la expansión. Durante períodos de temperaturas tibias, es posible que haya habido pérdida de asentamiento con hormigón compensador de contracción, y ser deseable un aditivo. En todos los casos, se necesita probar los aditivos en mezclas de ensayo con los materiales y dosificaciones de la obra y bajo condiciones simuladas de trabajo. Los agentes incorporadores de aire son tan efectivos en el aumento de la durabilidad del hormigón compensador de encogimiento, como lo son con los hormigones de cemento portland.

Dosificación y control de la mezcla

La dosificación de la mezcla de ensayo de hormigón compensador de encogimiento se logra, en general, con los métodos y recomendaciones de la

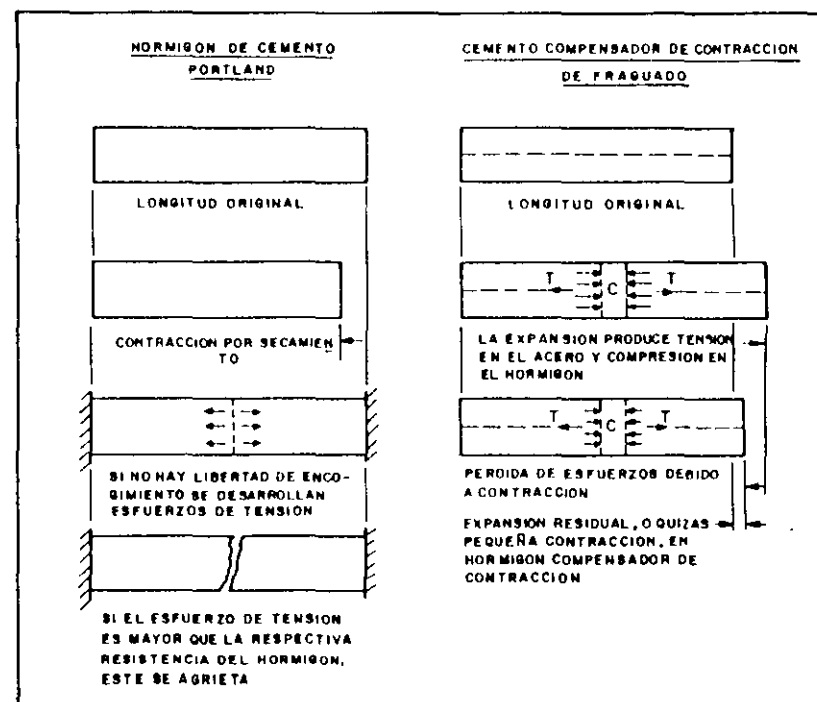


Fig. 16-4—Esfuerzos de tensión producidos por la contracción de fraguado pueden ocasionar grietas en el hormigón de cemento portland (izquierda). La expansión inicial compensa la contracción debida al secamiento y la hidratación, en el caso de hormigón producido con cemento compensador de contracción de fraguado (derecha).

Referencia 7, para el hormigón de peso normal y de la Referencia 36, para el hormigón de peso liviano.

Los mejores datos sobre contenido de cemento y relación agua-cemento requeribles, a fin de obtener una resistencia a compresión especificada, pueden obtenerse del productor del cemento compensador de contracción. Si no se dispone de tales datos de comportamiento pasado, la Referencia 120 ofrece una guía en cuanto a la relación agua-cemento requerida (Tabla 16-4). El hormigón hecho con cemento compensador de encogimiento tiene una alta demanda de agua.

Al determinar la relación agua-cemento exigida y el contenido correspondiente de cemento, deberá tenerse en cuenta el efecto de la expansión restringida. La expansión aumenta a medida que lo hace el contenido de cemento y disminuye en el caso contrario. Se recomienda un límite inferior de 305 kg de cemento por metro cúbico de hormigón para obtener la expansión requerida con refuerzo mínimo (0.15 por ciento). En todos los casos, es aconsejable

TABLA 16-4 — GUIA PARA MEZCLA DE ENSAYO DE HORMIGON CON CEMENTO COMPENSADOR DE RETRACCION DE FRAGUADO

Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm ²	Relación absoluta agua-cemento, en peso	
	Hormigón sin aire incorporado	Hormigón con aire incorporado
422	0.42-0.45	—
352	0.51-0.53	0.42-0.44
281	0.60-0.63	0.50-0.53
211	0.71-0.75	0.62-0.65

sejable hacer que un laboratorio calificado determine la expansión del hormigón por medio de especímenes prismáticos de 76 × 76 × 254 mm, en la forma descrita en el Apéndice A de la Referencia 120.

Algunas puzolanas, al ser utilizadas en conjunto con cementos compensadores de contracción, pueden causar la pérdida de los beneficios del cemento. No conviene usar las puzolanas con cemento compensador de contracción sin antes efectuar estudios de dosificación de la mezcla.

Las mezclas de ensayo deberán hacerse en el laboratorio, utilizando los materiales de la obra y a las temperaturas de hormigón aproximadas que se anticipan en el campo. Los siguientes procedimientos se han utilizado exitosamente en el desarrollo de programas de dosificación en planta y de control de obra bajo condiciones diferentes:

En el caso de hormigón con cemento compensador de contracción, cuando la demora entre la operación de amasadura y la colocación no sea mayor de 15 minutos, como en el caso de que se amase en el sitio de obra, o en prefabricados, el agua total de amasado requerida no deberá exceder a la de un hormigón de cemento portland Tipo I o Tipo II para el asentamiento especificado. Para que las mezclas de ensayo desarrollen proporciones satisfactorias de agregado, contenido de cemento y requisito de agua, se requiere seguir los procedimientos de las Referencias 7 y 36.

En el caso de hormigón compensador de contracción cuando el agua se añade en la planta de dosificación y la entrega requiere un tiempo mayor de viaje (30 a 40 minutos), o cuando la temperatura esperada del hormigón sea mayor de aproximadamente 24°C, puede esperarse alguna pérdida de asentamiento, compensable con un asentamiento inicial relativamente alto, para lograr así el asentamiento exigido en el sitio de la obra. En tales condiciones se han usado con éxito los dos procedimientos siguientes, para la prueba de mezclas de ensayo:

Procedimiento A

1. Prepárese la mezcla usando los procedimientos de la norma ASTM C 192 pero añadiendo 10 por ciento de agua adicional a la que se utilizaría normalmente para cemento Tipo I.

2. La amasadura inicial deberá hacerse de acuerdo con la norma ASTM C 192 (3 minutos de amasadura seguidos por 3 minutos de descanso y dos minutos de remezclado).

3. Determinése el asentamiento y regístreselo como asentamiento inicial.

4. Continúese la amasadura durante 15 minutos.

5. Determinése el asentamiento y regístreselo como asentamiento de vaciado. La experiencia ha demostrado que esta pérdida de asentamiento se correlaciona bien con la esperada para un tiempo de entrega entre 30 y 40 minutos. Si este asentamiento no cumple los límites que la especificación requiere para el vaciado, descarte la mezcla y repita el procedimiento con un ajuste apropiado en agua.

6. Prepárense especímenes para ensayar la resistencia a la compresión y la expansión y determinense las propiedades en estado plástico: peso unitario, contenido de aire, temperatura, etc.

Procedimiento B

1. Prepárese la mezcla usando los procedimientos de la norma ASTM C 192 para el asentamiento especificado.

2. Amásese de acuerdo con la norma ASTM C 192 (3 minutos de amasadura, 3 minutos de descanso, 2 minutos de remezclado) y confirmese el asentamiento.

3. Deténgase la hormigonera y cúbrase la mezcla con arpillera húmeda durante veinte minutos.

4. Determinése el asentamiento.

5. Reamásese durante 2 minutos, añadiendo agua para producir el asentamiento especificado de vaciado. El agua total (agua inicial más agua de remezclado) es la requerida en la planta de dosificación para dar el asentamiento apropiado en el sitio de la obra después de un tiempo de entrega entre 30 y 40 minutos.

6. Vácense especímenes de prueba para determinar la resistencia a la compresión y la expansión y determinense las propiedades en estado plástico: peso unitario, contenido de aire, temperatura, etc.

Producción, vaciado y acabado

El control del asentamiento es sumamente importante en el proceso de producción del hormigón con compensación de contracción. Se pueden obtener buenos resultados utilizando, en el momento del vaciado, asentamientos que estén dentro del intervalo máximo especificado por la norma ACI 211.1⁷ para el trabajo en cuestión, cuando las temperaturas del hormigón no estén por encima de 24°C. A temperaturas más altas del hormigón, se recomiendan los siguientes asentamientos máximos:

Tipo de construcción	Asentamiento
Paredes de cimentación y zapatas reforzadas	125 mm
Zapatas simples, "caissons" y paredes de subestructuras	100 mm
Losas, vigas y paredes reforzadas	150 mm
Columnas de edificios	150 mm
Pavimentos	100 mm
Construcción masiva y pesada	100 mm

En operaciones con hormigón premezclado, el tiempo de entrega del hormigón entre la planta de dosificación y el sitio de vaciado puede bajar, en ocasiones, hasta 20 minutos o alargarse hasta hora y media. La estricción empezará a formarse durante este lapso en algunos hormigones con cementos compensadores de contracción, produciéndose endurecimiento y pérdida significativa del asentamiento. Es, por consiguiente, fundamental que en la planta de dosificación se proporcione suficiente asentamiento, dentro de los límites de máxima agua admisible, para asegurar la obtención del asentamiento especificado o deseado en el sitio de la obra. La importancia de tener en cuenta esta pérdida de asentamiento en la dosificación de la mezcla en hormigones con cementos compensadores de contracción, no puede jamás encarecerse lo suficiente. Se vuelve todavía más importante en climas cálidos, cuando las temperaturas del hormigón son relativamente altas y las reacciones se aceleran. Si bien el tiempo normal de entrega de los hormigones premezclados de cemento portland en condiciones adversas de clima cálido causa una pérdida significativa de asentamiento, algunos hormigones con cementos compensadores de contracción experimentan una pérdida aun mayor de asentamiento bajo las mismas condiciones de clima cálido.

Los controles de pérdida de asentamiento en clima cálido, exitosos para otros hormigones de cemento portland, son igualmente efectivos para los de cemento compensador de contracción. Es oportuno sugerir que se preste atención estricta a la utilización de cementos expansivos, por la posible mayor pérdida de asentamiento. Los controles recomendados incluyen el enfriamiento del hormigón, la reducción al mínimo de la velocidad del tambor de las hormigoneras de camión durante el viaje y el tiempo de espera en el sitio de trabajo, y una programación eficiente de los camiones de manera que se reduzca al mínimo absoluto el periodo entre el proceso de amasadura y la entrega. Cuando la localización del trabajo requiere tiempo considerable de viaje, resulta efectiva la entrega en camión de la mezcla seca con amasadura en el sitio de la obra. En la Referencia 59 se encuentra una discusión más completa sobre hormigonado en clima cálido.

Siempre y cuando los asentamientos sean los apropiados, no se requieren técnicas o equipos especiales para el vaciado del hormigón compensador de contracción, y los métodos comunes que se usan con hormigón de cemento portland resultan satisfactorios. (La Fig. 16-5 muestra diferencia en los patrones de vaciado de losas). Deberán seguirse ciertas precauciones para obtener los beneficios de la expansión, entre las cuales están: (1) empapar el material base, (2) tomar medidas para evitar el agrietamiento por encogimiento plástico y pérdida dispareja de humedad, (3) colocar el refuerzo en la posición apropiada para proporcionar la restricción requerida, (4) evitar demoras en el vaciado cuando se usan camiones-hormigoneras y (5) cuidar que la temperatura del hormigón compensador de contracción no exceda de 32°C. A temperaturas entre 29 y 32°C, el tiempo entre amasadura y colocación y acabado deberá limitarse a una hora.

Las calidades de acabado del hormigón compensador de contracción son similares a las del hormigón con aire incorporado. Usualmente hay poca exu-

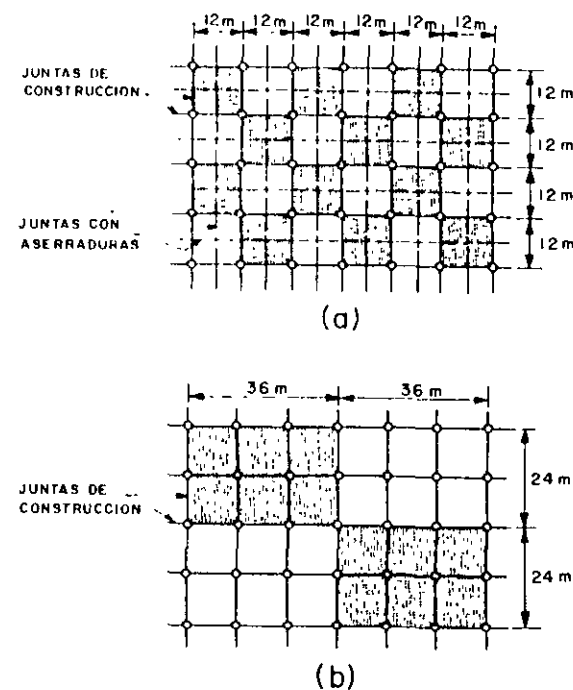


Fig. 16-5—Comparación de los patrones de colocación del hormigón en losas sobre el terreno usando (a) hormigón con cemento portland común y, (b) hormigón con compensador de encogimiento. Este último se puede vaciar en secciones mayores, sin necesidad de efectuar cortes con sierra ni de dejar espacios abiertos alrededor de las columnas.

dación y es de temer que los encargados del acabado quieran comenzar demasiado pronto. En general, sin embargo, el acabado deberá comenzar más pronto que con hormigón comparable de cemento portland, por el fraguado más rápido. Así que el acabado puede requerir mayor mano de obra durante un período más corto de tiempo.

Curado y protección

El hormigón compensador de contracción, lo mismo que todo hormigón de cemento portland, requiere curado continuo a temperaturas moderadas durante varios días, después de las operaciones finales de acabado, para prevenir el encogimiento por secamiento prematuro y desarrollar las propiedades deseadas de resistencia, durabilidad y demás. Cualquier deficiencia en el método de curado puede reducir también la cantidad de expansión inicial

necesaria para compensar posteriormente la contracción por encogimiento, que ocurrirá al suspender el curado húmedo. Los métodos de curado, aceptados usualmente, son satisfactorios para el hormigón compensador de contracción; sin embargo, se prefieren aquellos que proporcionan humedad adicional al hormigón, como, por ejemplo, el estancamiento, el rocío continuo y las cubiertas húmedas, para asegurar agua suficiente en la formación y expansión de la etringita. Es de temer que se pierda hasta un medio de la habilidad de expansión de tal hormigón, si se usan métodos de curado distintos del empleo de agua.

Para obtener los mejores resultados, el curado con agua de hormigón compensador de contracción deberá seguirse durante un mínimo de 7 días.

El hormigón compensador de contracción deberá protegerse durante el período inicial de curado contra los extremos de temperatura, bien sea en tiempo frío (que puede impedir el crecimiento) o en clima cálido. Los métodos recomendados se describen en las Referencias 57 y 59.

CAPITULO 17 — HORMIGON PREFABRICADO Y PREESFORZADO

El término hormigón prefabricado se refiere a miembros que se vacían en algún sitio distinto al de su posición final en la estructura. Cuando han sido curados hasta obtener resistencia suficiente para su manipulación, se remueven de las formaleas y se colocan posteriormente en la estructura (Fig. 17-1). Normalmente al hormigón prefabricado se le clasifica como hormigón prefabricado estructural u hormigón prefabricado decorativo, cada uno de los cuales puede ser también hormigón preesforzado.

El hormigón prefabricado estructural generalmente incluye vigas secundarias y principales, vigas en T, viguetas, dinteles, correas, columnas, postes, muelles, pilotes, o cabezas de éstos, miembros de losas o de tableros (Fig. 17-2), y paneles de muros portantes. Este hormigón puede tener refuerzo convencional o estar preesforzado.

El hormigón prefabricado decorativo usualmente incluye todos los elementos prefabricados con que se pretende lograr las características decorativas o de textura especificadas por el diseñador. Entre los elementos típicos de hormigón decorativo prefabricado se incluyen: paneles de pared, paneles para ventanas, montantes y recubrimientos de columnas. El hormigón puede ser simple (sin refuerzo), reforzado convencionalmente, o preesforzado.

El término **preesforzado** se refiere a hormigón en el cual los esfuerzos internos inducidos por su propio refuerzo (bajo tensión) son de tal magnitud y distribución que los esfuerzos a tensión en el hormigón, producidos por las cargas impuestas, están contrarrestados en cierto grado. El hormigón preesforzado se logra normalmente por pretensionamiento o postensionamiento o por una combinación de los dos.

El **pretensionamiento** es un método de preesforzar hormigón en el cual los tendones se tensionan antes que se vacie el hormigón. Consiste, generalmente, en vaciar hormigón alrededor de tendones de refuerzo que han sido colocados apropiadamente en la formalea y esforzados a una fuerza de tensión especificada, con una curvatura también especificada. El hormigón se vacía cuidadosamente, se compacta y se cura para asegurar una adherencia adecuada a los tendones pretensionados. Después que el hormigón ha desarrollado la resistencia mínima necesaria, se sueltan los anclajes a tensión de los tendones, y, por la adherencia entre el hormigón y el acero, la tensión inicial en el acero produce la compresión requerida en el hormigón.

El **postensionamiento** es un método para preesforzar el hormigón, en el cual los tendones se tensionan después que el hormigón se ha endurecido. Al vaciar el hormigón, se dejan canales o tubos en el encofrado que forman ductos o vacíos a todo lo largo del miembro de hormigón. Antes o después de vaciar el hormigón se insertan tendones de acero en los canales o tubos

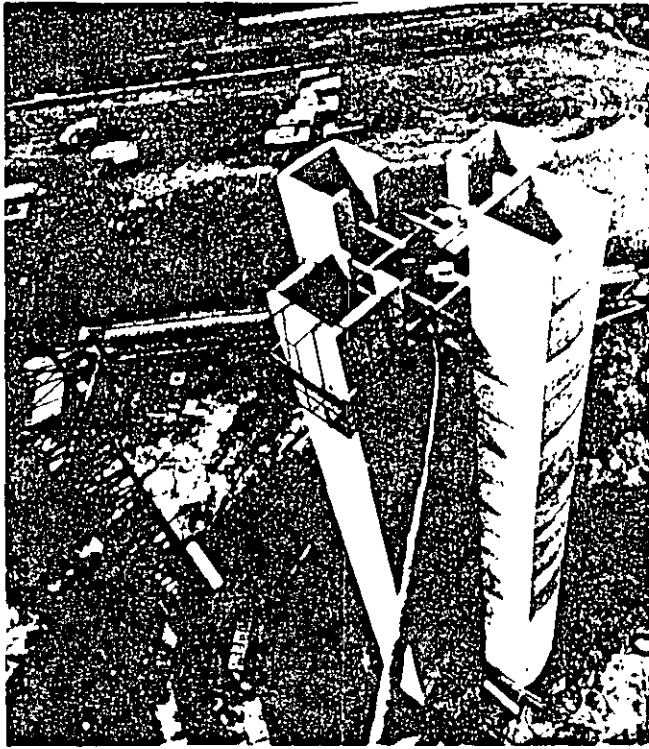


Fig. 17-1—Los núcleos de servicio de esta torre para el control del tráfico aéreo en un aeropuerto, se están construyendo mediante el ensamble de módulos huecos prefabricados de hormigón.

de manera que los tendones queden libres para moverse después que el hormigón se haya endurecido. Una vez que éste ha desarrollado la resistencia mínima necesaria, se estiran los tendones de refuerzo hasta la tensión requerida y se anclan en los extremos al hormigón para retener la tensión en el acero y desarrollar, de esta manera, compresión en el hormigón. Los tendones pueden permanecer sin adherencia o quedar adheridos mediante relleno con una inyección de lechada. Algunos tendones se dejan envueltos en parte o en toda su longitud, para impedir la adherencia en donde se desee.

El hormigón preesforzado puede ser prefabricado o vaciado en sitio. En el primer caso, la tensión se aplica, ya sea por pretensionamiento o por postensionamiento. Cuando se vacía en sitio en la estructura, los tendones se esfuerzan mediante postensionamiento.

Las Referencias 121 a 129 contienen información detallada sobre hormigón prefabricado y preesforzado y su estudio corresponde al personal intímadamente involucrado con tal tipo de construcción.

En este capítulo se presentan los detalles de inspección peculiares para el hormigón prefabricado y preesforzado. Otros capítulos de este manual cubren algunos detalles con respecto al hormigón prefabricado. Sin embargo, mucha de la información proporcionada en este capítulo es resumida de la Referencia 121, que explica los requisitos de control de calidad para hormigón prefabricado. Se recomienda que todo inspector involucrado con dicho trabajo tenga ese documento.

HORMIGON PREFABRICADO

El hormigón reforzado prefabricado tiene mucho en común con el que se vacía en sitio. Los muchos detalles de inspección señalados en otras áreas de este manual son aplicables a la construcción prefabricada y deberán ser materia de repaso. Tales ítems incluyen el fomaletado, la colocación del refuerzo, los acabados especiales, el cuado y el desencofrado (Fig. 17-3).

El tipo de inspección en la planta de prefabricación durante la producción puede consistir en ensayos de control de calidad y de garantía (aceptación de la calidad). (El control de calidad y la garantía de ésta se definen en la Referencia 16). En el caso de inspección de control de calidad, la certifica-

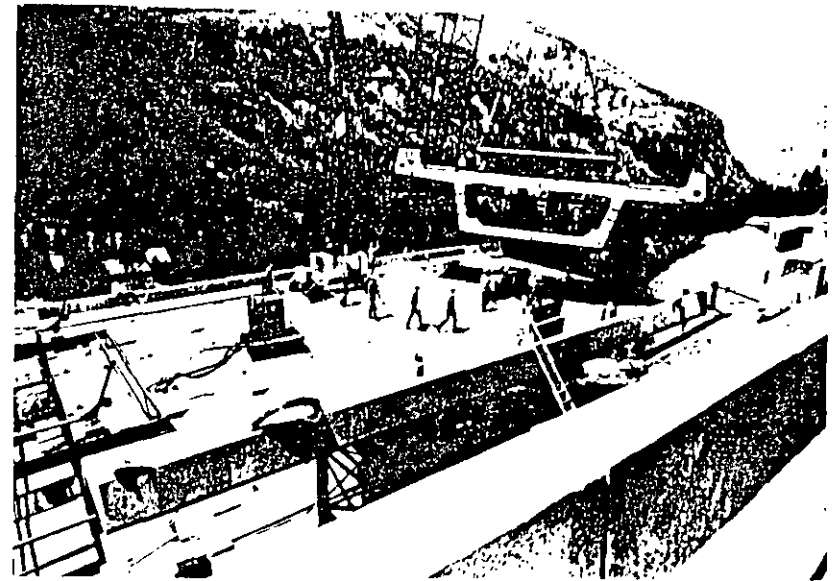


Fig. 17-2—Construcción del tablero preesforzado de un puente mediante el ensamble de miembros huecos prefabricados. En las paredes de la viga cajón se dejan lengüetas y ranuras que sirven para alinear cada miembro con el instalado previamente.

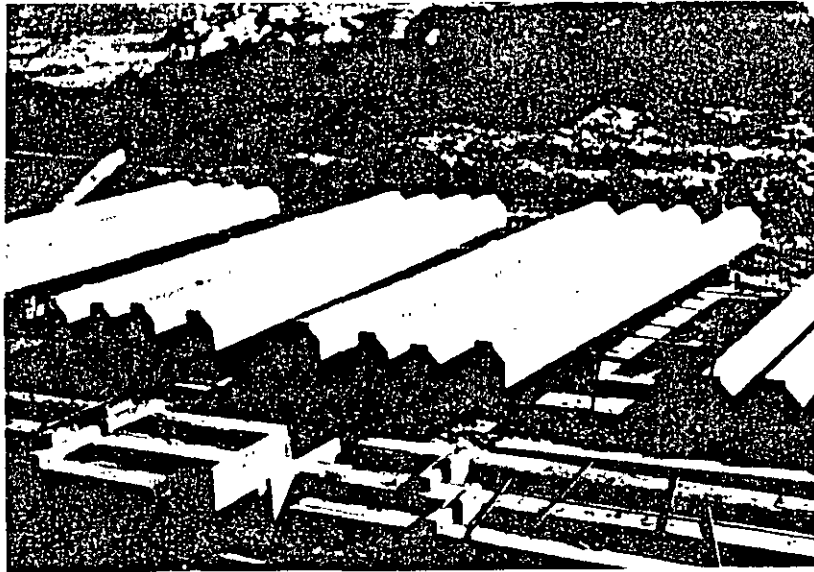


Fig. 17-3—Después de sacar los elementos prefabricados de hormigón de los moldes que se observan en primer plano, se procede a almacenarlos.

ción de la planta por el Prestressed Concrete Institute requiere que la administración de la misma mantenga un grupo de control de calidad independiente de las fuerzas de producción. El término *inspector* o *inspección*, como se utiliza en este capítulo, es aplicable, tanto al control de calidad como a la garantía de ésta.

El inspector deberá contar con un conjunto completo y al día de los planos y especificaciones que cubren los miembros prefabricados que están produciéndose, y es de su responsabilidad verificar que los miembros se fabriquen de acuerdo con estos documentos y con cualquier otro al cual hagan referencia.

Es función de este capítulo guiar al inspector en su tarea, pero no primar sobre la intención del diseñador. Si las tolerancias permisibles u otros ítems están en desacuerdo con los de este último, se aplicarán los que aparezcan en lista en los planos y especificaciones.

Requisitos de la planta

Las condiciones que afectan las superficies terminadas, las tolerancias dimensionales, etc., pueden, por lo general, controlarse en mayor grado en el caso de miembros vaciados en planta que en miembros vaciados en el campo. La operación y el equipo de la planta han de ser adecuados para producir el grado de calidad exigido por los planos y especificaciones.

Los lechos de vaciado y las formaletas deberán generalmente tener apoyo de hormigón en cimentaciones inmóviles. Las formaletas para miembros estándar, tienen que arriostrarse, hacerse rígidas, anclarse y alinearse debidamente para obtener miembros dentro de las tolerancias dimensionales requeridas. Las formaletas de miembros especiales o no estándares tendrán uso limitado, pero es preciso construirlas adecuadamente para la manufactura de miembros que cumplan las tolerancias especificadas.

Es indispensable hacer la inspección regular de los mamparos y equipo similar que tengan influencia sobre la precisión de las dimensiones y el alineamiento, y darles mantenimiento cuando sea necesario.

Es preciso mantener el alineamiento preciso de las formaletas durante la operación de vaciado. El alineamiento y la pendiente del encofrado tienen que verificarse en cada vaciado. Las juntas de la formaleta deben ser lisas y estar suficientemente apretadas para impedir el escape de la pasta. Es necesario que el taponamiento de los agujeros y ranuras del encofrado se haga en forma limpia, de manera que el miembro terminado tenga aceptable apariencia. Hay que limpiar muy bien las camas y formaletas después de cada uso y no permitir que se amontonen unas sobre otras las capas de revestimiento utilizadas para facilitar el desencofrado de los miembros. Se debe tener cuidado en asegurar que el polvo no se acumule sobre la capa de revestimiento antes de vaciar el hormigón.

Formaletas para vacíos internos

Aunque las formaletas utilizadas para producir vacíos internos (por ejemplo, ductos de tendones, núcleos huecos, etc.) pueden ser de diferentes tipos que hayan probado su adecuación al servicio, es necesario que tengan suficiente resistencia para proporcionar estabilidad a medida que se manipula y vacía el hormigón y que permanezcan en su lugar durante las operaciones de vaciado y consolidación del hormigón, de manera que sus posiciones correctas se mantengan dentro de los límites de las tolerancias dimensionales.

La localización o forma inapropiada de los vacíos cambiará las propiedades estructurales del miembro y puede resultar en su debilitamiento. Por consiguiente, es necesario que las posiciones de los vacíos se verifiquen durante el vaciado o que se proporcionen medios para asegurar que la posición de los mismos sea correcta. Las plantillas removibles deberán permanecer en su sitio después del vaciado del hormigón un tiempo suficiente para que el vacío no cambie de lugar después de la remoción de la plantilla. El hormigón aún deberá estar en condiciones tales de plasticidad como para que se puedan llenar los agujeros dejados al remover la plantilla y el hormigón compacte en la masa que los rodea.

Refuerzo de varillas y de mallas

Es preciso que el refuerzo de varillas y de mallas se fabrique de acuerdo con los planos y que se coloque en posición en el miembro según las tolerancias especificadas. Se requiere asegurar el refuerzo a los lechos y formaletas en forma apropiada, por medio de sillas o de bloques, o a los tendones por

medio de estribos, de manera que conserve su posición durante el vaciado y vibramiento del hormigón. Las varillas pueden fabricarse formando jaulas mediante amarres o según se especifique (Fig. 17-4).

Nunca hay que soldar en la vecindad de los alambres o tendones de preesfuerzo, o de las barras de alta resistencia, pues el calor proveniente de una antorcha, arco, o metal de soldadura caliente, es capaz de reducir la resistencia del refuerzo en más de un 50 por ciento. A veces el daño no resulta detectable a simple vista sino que sólo se manifiesta cuando el tendón falla durante el tensionamiento

Es necesario doblar dentro del miembro los extremos de los alambres de amarre, utilizados para atar las varillas, con lo cual se proporciona cobertura máxima, además de que se ayuda a impedir la formación posterior de manchas de óxido

Se recomienda tener cuidado al colocar varillas que salen del miembro con el objeto de proporcionar ligazón estructural a conexiones vaciadas en sitio, ya que la extensión inapropiada de las mismas podría resultar en una junta débil. Normalmente, las extensiones no deberán variar de las dimensiones de los planos en más de 13 mm, por exceso o por defecto. Es preciso remover toda la pasta que se haya adherido al acero de la extensión.

Insertos

Las tolerancias permitidas para los insertos dependerán del uso que éstos tengan. Si se requieren tolerancias especialmente estrechas, deberá establecerse así en los planos de taller. Los insertos deben colocarse firmemente de manera que no se desplacen durante el vaciado del hormigón, y los pernos de anclaje y las platinas de apoyo localizarse con precisión especial. Los aditamentos incorporados se han de instalar de manera que no afecten la posición del refuerzo principal o el vaciado del hormigón. Es preciso evitar los insertos de madera por su tendencia al desplazamiento o a hincharse y agrietar el hormigón.

Se prescribe desechar la utilización de tubo "conduit" de aluminio en miembros reforzados o preesforzados, por la posible corrosión inducida por acción galvánica.

Los elementos de izamiento se discuten posteriormente en este capítulo.

Apoyos

Además de cumplir las tolerancias especificadas, los elementos de apoyo que van a ir anclados al hormigón deberán colocarse con la mayor precisión posible, cuidando que queden debidamente alineados y nivelados, y anclados en la localización exacta que aparece en los planos.

Tolerancias dimensionales

Si los planos y las especificaciones no prescriben tolerancias, las secciones 5.5.1 a 5.5.11 de la Referencia 121 servirán como guía de las prácticas usualmente aceptables y razonables.

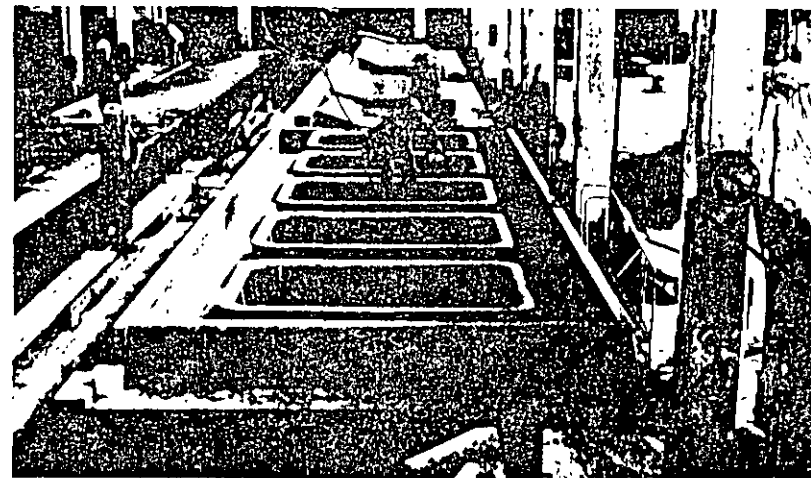


Fig. 17-4—Formaleta para cercha prefabricada y postensionada. La armazón de refuerzo se elaboró por separado y luego se colocó en la formaleta, previamente al vaciado del hormigón.

Necesidad de inspección

Los manuales de construcción y las especificaciones suelen prescribir y explicar métodos apropiados para todas las fases de la producción, consistentes con productos de calidad especificada. Para asegurar que se están siguiendo estos métodos, es necesario tener en todas las empresas de prefabricación personal de planta encargado de la inspección y un programa regular de esta actividad que cubra todos los aspectos de producción. Los inspectores deberán ser responsables de la calidad únicamente y no responder o tener que ver primordialmente con la producción.

Las operaciones de inspección tienen que administrarse de tal manera que no se retrase la producción, siempre y cuando se estén siguiendo los procedimientos especificados. Tanto el personal de inspección como el de producción deberán esforzarse al máximo por cooperar. Los inspectores empleados por la planta serán responsables ante el ingeniero jefe o la administración, y no ante el superintendente de producción.

Alcance de la inspección

En general, el alcance de la inspección en el caso de plantas de prefabricación incluye lo siguiente:

1. Identificación, examen, aceptación y cualquier ensayo, en la planta, de los materiales.
2. Inspección y registro del tensionamiento (si el producto es preesforzado).
3. Inspección de los lechos y formaletas con anterioridad al vaciado.

4. Verificación de las dimensiones de los miembros, de la posición de los tendones, del acero de refuerzo, de otros materiales incorporados, aperturas, taponamientos, etc.

5. Inspección de la dosificación, amasado, transporte, vaciado, consolidación, acabado y curado del hormigón.

6. Preparación de especímenes de hormigón para pruebas y realización de ensayos de asentamiento, contenido de aire, resistencia de cilindros, etc.

El número de personas necesarias para realizar los servicios de inspección de la planta varía con el tamaño de ésta. En plantas pequeñas, pueden ser suficientes uno o dos inspectores para efectuar todos los servicios prescritos atrás. En plantas mayores, los servicios específicos han de asignarse a un número suficiente de inspectores, de manera que todas las inspecciones necesarias se efectúen en forma satisfactoria.

Son requisitos importantes: disponer de todos los servicios necesarios de inspección para asegurar productos de alta calidad; asignar a cada inspector funciones claramente definidas; darle autoridad para que pueda exigir un estándar uniforme de calidad en todas las fases de la producción, y mantener registros adecuados y precisos.

Conservación de registros

Con el fin de establecer evidencia de la manufactura apropiada y de la calidad de los miembros de hormigón prefabricados, es necesario que el sistema de registros proporcione completa información sobre el ensayo de los materiales, el tensionamiento, la dosificación del hormigón, su colocación y curado y la disposición de los miembros.

Cada miembro de hormigón prefabricado deberá identificarse por el lecho y fecha de vaciado y llevar un número de identificación que sirva para su referencia en los cálculos de diseño y planos de taller, en los registros de tensionamiento, de vaciado, de resistencia de los cilindros y en los planos de montaje. La conservación de estos registros es de responsabilidad del personal de inspección.

Informes de ensayos del fabricante

Es preciso exigir a los fabricantes informes certificados de los ensayos de los materiales que no se hagan en la planta. Estos informes tienen que mostrar que los materiales cumplen con las especificaciones aplicables. Los ítems sobre los cuales se deben exigir informes de ensayos del fabricante incluyen; sin que esta lista sea exclusiva: cables, alambres, varillas, u otros materiales para tendones; acero de refuerzo; cemento; agregados; aditivos y materiales de curado.

Estos informes deberán identificarse con el número del carrete, paquete, cochambre, silos, carros u otros lotes específicos.

Curado al vapor

El propósito del vapor o de otros tipos de curado acelerado es el de obtener alta resistencia inicial y, por consiguiente, un ciclo de producción más

rápido. Los efectos de temperaturas más altas, al comienzo del proceso de producción, en las propiedades del hormigón, se discuten en el Capítulo 5 de este manual.

Con cualquier tipo de curado acelerado, es necesario establecer un compromiso entre los niveles de resistencia temprana y los deseados a edades posteriores. La Referencia 121 presenta las condiciones óptimas para tal compromiso, de la manera siguiente:

1. Después del vaciado y compactación, el hormigón deberá alcanzar el fraguado inicial antes de la aplicación del vapor. Este fraguado inicial toma, por lo general, de dos a cuatro horas para la mayoría de los cementos. Sin embargo, los ensayos han demostrado que una demora de 4 a 5 horas puede proporcionar mejores resistencias tempranas y posteriores. Si las temperaturas ambientes en la planta están por debajo de 10°C es necesario aplicar suficiente calor bajo, durante el periodo de demora, para mantener la temperatura de vaciado del hormigón. Es necesario tomar provisiones para impedir el secamiento superficial del hormigón durante el periodo de demora.

2. La temperatura ambiente alrededor del hormigón deberá aumentarse a una rata de 17 a 28°C por hora durante las etapas iniciales del curado con vapor.

3. Se prescribe mantener una temperatura ambiente máxima de curado entre 60 y 71°C hasta que cilindros de hormigón de 15 × 30 cm o de 10 × 20 cm, curados en forma similar, indiquen que se ha adquirido suficiente resistencia para el desencoframiento (y el destensionamiento en el caso de hormigón preesforzado). Es necesario evitar temperaturas de curado del hormigón por encima de 79°C, para prevenir cualquier efecto adverso sobre la resistencia a compresión.

El recinto de curado al vapor deberá conservar éste vivo, para minimizar las pérdidas de humedad y de calor, y permitir que el vapor circule libremente por encima de la parte superior y de los lados del miembro. No ha de permitirse que chorros de vapor salgan directamente sobre el hormigón. Los termómetros registradores de la relación tiempo-temperatura tienen que estar instalados a distancias no mayores de 60 m, uno del otro.

Curado con calor radiante y humedad

El calor radiante se aplica a los lechos por medio de tubos en los cuales circula vapor o aceite o agua caliente, o de cobijas eléctricas o elementos de calefacción en las formaletas. Hay que evitar que los tubos, cobijas o elementos de calefacción estén en contacto con el hormigón fresco.

Durante el ciclo de curado con calor radiante, es necesario proporcionar medios efectivos para prevenir la pérdida de humedad en cualquier parte del miembro. La humedad puede retenerse cubriendo el miembro con una lámina plástica en combinación con una cubierta aislante, y aplicarse recubriendo la superficie expuesta con una manta de arpillera de algodón húmeda, o inundándola. Es preciso seleccionar cuidadosamente los materiales de recubrimiento, para evitar la ocurrencia de manchas.

Los límites de temperatura y el uso de termómetros de registro son similares a los del curado con vapor. Debido a la virtud de la lenta elevación de las temperaturas ambientes con el calor radiante, la aplicación del ciclo de calor puede acelerarse para compensar las condiciones climáticas y obtener las temperaturas deseadas en el hormigón. Sin embargo, en todos los casos, hay necesidad de establecer bien el procedimiento de curado que vaya a usarse y de controlarlo cuidadosamente.

Manipulación, almacenamiento y transporte

La localización de los puntos de levantamiento para la manipulación de los miembros y los detalles de los artefactos de levantamiento son partes importantes en el diseño de los miembros de hormigón prefabricado y deberán estar de acuerdo con los planos de taller (Fig. 17-5). Los miembros se tienen que manipular únicamente por medio de artefactos aprobados y en los sitios prescritos al efecto (Fig. 17-6).

Es necesario estabilizar las áreas de almacenamiento para miembros prefabricados y proporcionar cimentaciones apropiadas, de manera que no ocurran asentamiento diferencial o torsión de los miembros. Este requisito es especialmente importante cuando los miembros se almacenan uno encima de otro.

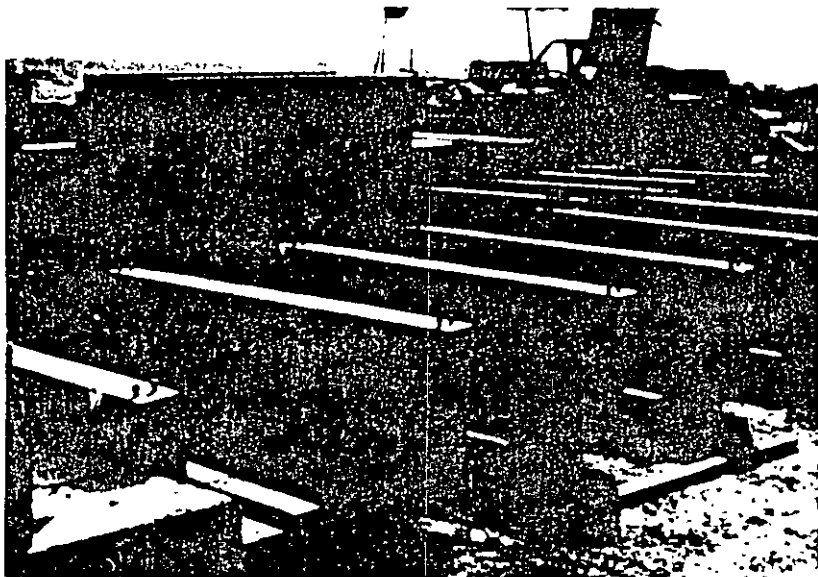


Fig. 17-5—Almacenamiento de elementos prefabricados provistos de pernos para su izamiento, incorporados antes del vaciado.

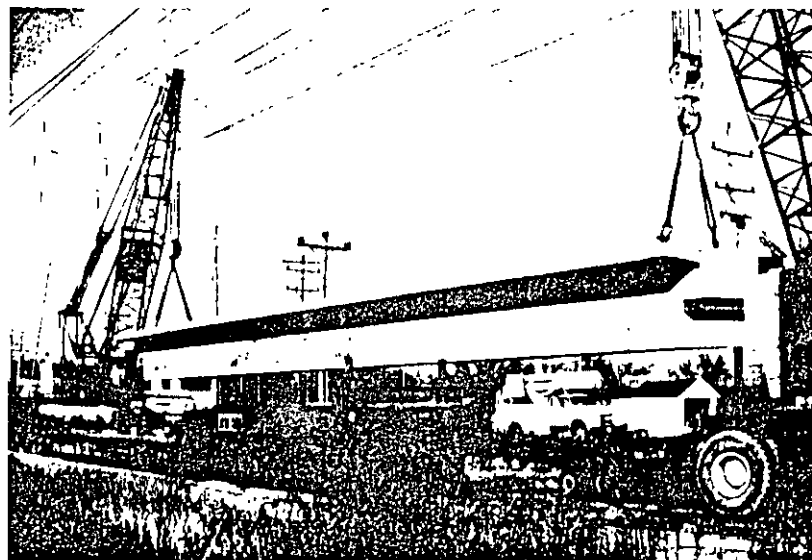


Fig. 17-6—Grúas que izan una viga maestra, prefabricada, de 85 ton de peso, transportadora en un planchón especial de ferrocarril.

Cuando el almacenamiento es de este tipo, los miembros deberán quedar separados y a la vez soportados por travesaños puestos a todo lo ancho de cada punto de apoyo (Fig. 17-7). Los travesaños irán dispuestos en planos verticales, a distancias no mayores que la profundidad del miembro, de los puntos designados de levantamiento. Hay que seleccionar cuidadosamente el material de los travesaños, para evitar que se produzcan manchas. Cuando se almacenan con este sistema miembros o planchas que tengan nervaduras, hay que evitar que los travesaños vayan continuos sobre más de una pila de unidades prefabricadas.

Al transportar miembros por camión, carros de ferrocarril o barcas, es necesario tomar precauciones para apoyar los miembros como se describió atrás, excepto que los travesaños pueden ser continuos sobre más de una pila de unidades. Las pilas han de estar arriostradas, para asegurar que permanezcan verticales y se amortiguen las vibraciones peligrosas, y se colocará un material adecuado de relleno entre los miembros de hormigón y las cadenas o cables de amarre que impida la abrasión o el desportillamiento del hormigón (Figs. 17-8 y 17-9).

En el caso de miembros largos y esbeltos, es necesario corregir cualquier indicación detectable de deflexión lateral o de vibración durante el transporte mediante arriostramiento rígido entre los miembros o el recurso de cerchas laterales. En casos extremos podrán necesitarse cepos, cerchas rigidizadoras o marcos especiales.

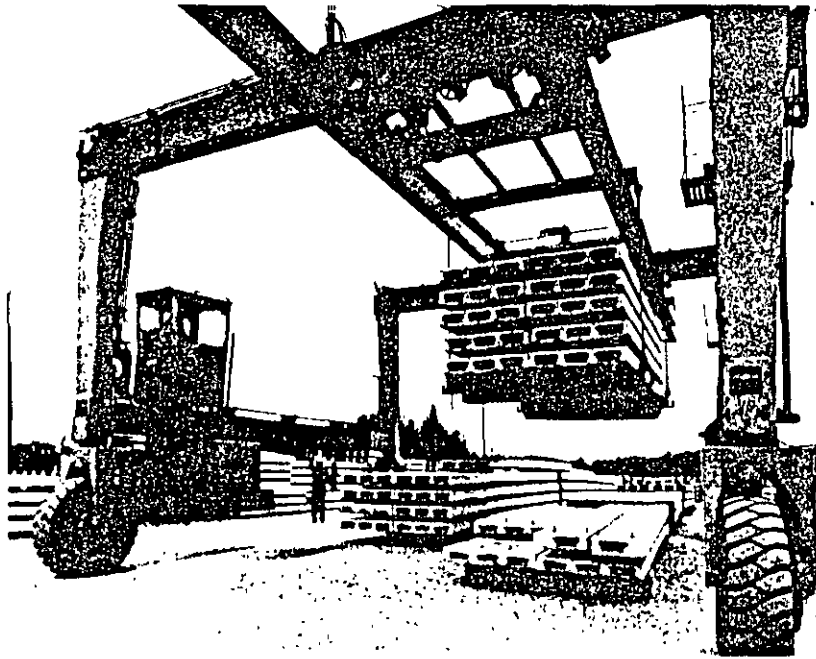


Fig. 17-7—Apllamiento de miembros huecos prefabricados.

Montaje

En el sitio de montaje es preciso observar todas las medidas dadas en los artículos anteriores para el almacenamiento y manipulación. Hay que tener especial cuidado en proporcionar apoyos adecuados. A menos que las superficies diseñadas para apoyo hagan contacto pleno con los soportes, la estructura queda expuesta a experimentar debilidades o distorsiones estructurales serias.

Las conexiones de los miembros se harán en concordancia estricta con los planos de diseño. Únicamente soldadores calificados ejecutarán las conexiones soldadas que proporcionan continuidad, utilizando el equipo y electrodos aplicables a los metales base (Fig. 17-10). Es de rigor colocar los miembros en forma tal que se evite cualquier aplicación excéntrica de fuerzas no considerada en el diseño.

HORMIGON PREFABRICADO PREENFORZADO

Las consideraciones de control de calidad para el hormigón preesforzado prefabricado difieren de los del hormigón reforzado prefabricado en que:

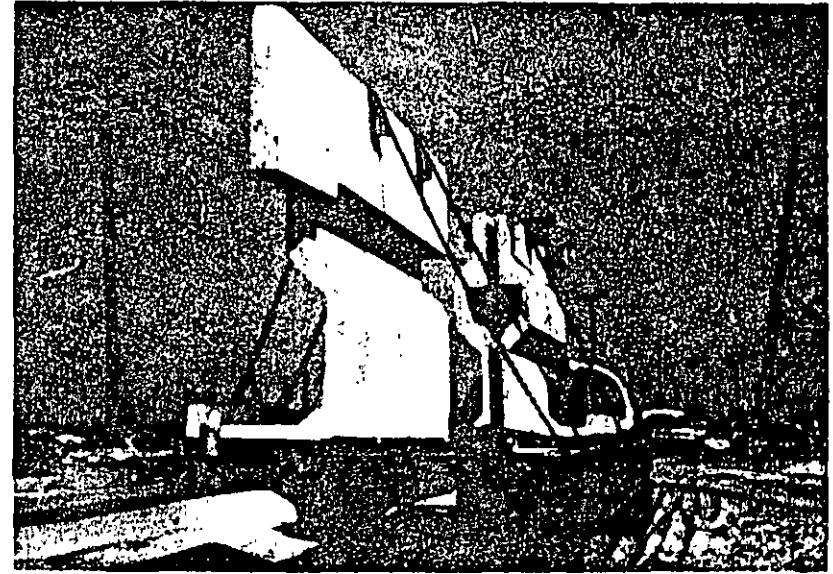


Fig. 17-8—Transporte en camión-remolque de elementos prefabricados.

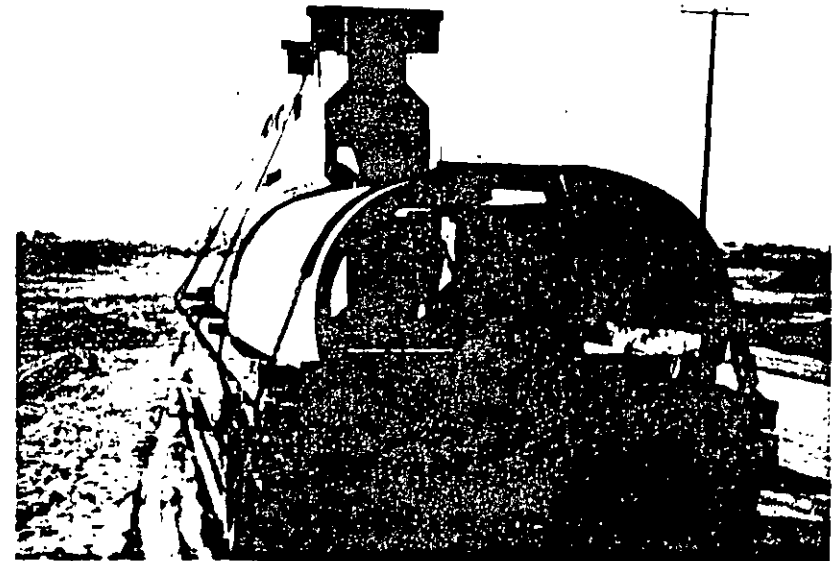


Fig. 17-9—Transporte en camión-remolque de elementos prefabricados.

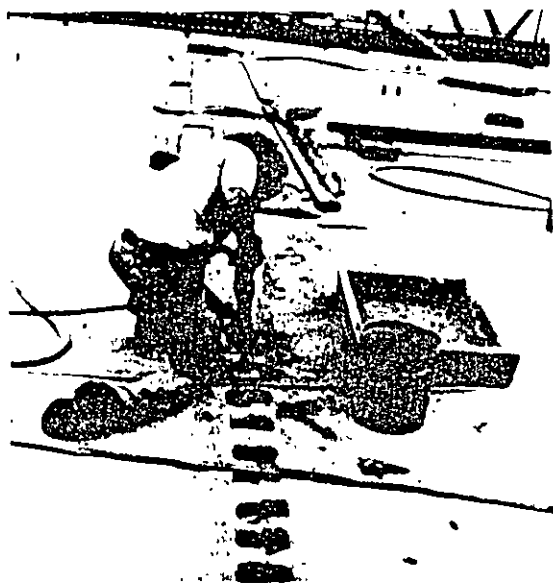


Fig. 17-10—Los miembros prefabricados del tablero de un puente se unen soldando las barras de refuerzo, luego se rellenan de mortero los espacios que quedan alrededor de la junta del refuerzo.

(1) los tendones requieren manipulación especial para su protección, con el fin de asegurar su colocación y tensionamiento apropiados y en razón de la seguridad del personal de la planta; (2) es esencial un buen control de calidad para evitar problemas como el de una contraflecha excesiva o inadecuada; y (3) el producto terminado resulta muy resistente al agrietamiento si se levanta y apoya en forma apropiada y, por consiguiente, es mucho más fácil de manejar y transportar.

Materiales del hormigón

El hormigón en los miembros preesforzados, usualmente, es de mayor resistencia y, con frecuencia, presenta menor asentamiento que el hormigón en otros miembros prefabricados. Los requisitos para el hormigón de miembros prefabricados se cubren en otro sitio de este manual.

Tendones adheridos de pretensionamiento

Los tendones que se utilizan en miembros preesforzados de hormigón, prefabricados, pretensionados y adheridos, son alambres o tendones normalizados. La gran mayoría consisten en tendones de 7 alambres que deben cumplir la norma ASTM A 416. Aunque no están incluidos en ella, algunas

veces se utilizan cables normalizados, de pequeño diámetro, de tres alambres, en miembros preesforzados y prefabricados pequeños.

Las propiedades esfuerzo-deformación de todos los tendones deben conocerse dentro de límites estrechos, con el fin de calcular los alargamientos resultantes del tensionamiento. La relación esfuerzo-deformación, llamada módulo de elasticidad, variará entre los diferentes tipos de tendones y dentro de los tendones del mismo tipo obtenidos de diferentes fabricantes.

Cada embarque de tendones del mismo fabricante tiene que estar acompañado de un certificado indicador de que ha sido fabricado y ensayado de acuerdo con las normas ASTM aplicables. En ausencia de una norma ASTM o a pedido del fabricante del hormigón preesforzado, habrá que acopiarse un informe certificado de ensayo por cada 20 toneladas, o fracción de ellas, para demostrar el cumplimiento con las especificaciones aplicables. Si el fabricante del tendón suministra una curva típica esfuerzo-deformación, en lugar de una curva esfuerzo-deformación específica, tiene entonces que certificar que es representativa del material embarcado.

Manejo y almacenamiento de los tendones

Los cables normalizados se hacen con alambre de resistencia extremadamente alta y son más susceptibles a daño que las varillas de refuerzo ordinario o que el acero estructural. Se prescribe tener cuidado especial en el manejo y almacenamiento de estos materiales.

El acero para preesforzar tiene que estar libre de materiales deletéreos, como grasa, aceite, cera, mugre, pintura, óxido suelto u otros contaminantes similares, que reducirían la adherencia entre el acero y el hormigón. También deberá estar fuera de la acción de agentes que faciliten la remoción de formaletas.

A causa de su alta resistencia y de su dureza, el acero de preesforzamiento es quebradizo. Una mella o muesca en un alambre se convierte en un elevador de esfuerzos. Tal mella reduciría la resistencia última del alambre y, en consecuencia, éste quedaría especialmente susceptible a fallar bajo cargas de fatiga. Es, también, importante evitar los dobleces. Más de la mitad de la resistencia última de los alambres de preesforzamiento se produce en los cables mediante trabajo en frío, después del tratamiento calórico final. Esto cambia la estructura interna, de granular a fibrosa. *El calor excesivo puede cambiar instantáneamente la estructura fibrosa y devolverla a la estructura granular de baja resistencia.*

Las fuentes comunes de calor excesivo son los sopletes para soldar, las corrientes de soldadura de arco y las gotas de metal fundido que saltan en las operaciones de soldadura. El daño al alambre o cable producido por el excesivo calor no es necesariamente detectable al ojo desnudo. Puede no ser advertido sino hasta que el tendón falla durante el tensionamiento o aun más tarde.

De acuerdo con la norma ASTM A 416, "la oxidación ligera, siempre y cuando no sea tanta como para causar hoyos detectables a simple vista, no será causa para el rechazo". A menudo, es deseable dicha oxidación ligera

porque aumenta la adherencia del hormigón al tendón. La oxidación grave resulta indeseable puesto que reduce el área de acero disponible para soportar la carga, y los hoyos apreciables a simple vista son elevadores de esfuerzo, de manera similar a las amelladuras causadas por daños mecánicos.

Aditamentos para los tendones

Las prensas de los cables de pretensionamiento deberán ser capaces de anclar efectivamente el cable sin permitir que haya deslizamiento después que queden sentadas. La longitud de las mandíbulas y la configuración de los aserramientos tienen que garantizar que no se produzca falla del cable dentro de las mandíbulas, a esfuerzos menores del 90 por ciento de la resistencia última. Es preciso verificar que se coloquen las cuñas apropiadas en sus respectivos cuerpos de anclaje. (El usar mandíbulas para cables de 9.5 mm con cajas de anclaje de 13 mm puede causar la falla prematura de los cables, muy por debajo de la carga última). Hay que exigir al fabricante que ensaye las cajas de acero para prensas de cables llevándolas hasta por lo menos el 90 por ciento de la resistencia última del cable.

Artefactos de deflexión

Los artefactos utilizados para deflectar o cambiar de alguna otra manera la trayectoria de un tendón, apartándolo de la línea recta, deberán diseñarse de manera que el aumento en el esfuerzo del cable debido a la presión que surge del artefacto deflectante no sea crítica.

Varios factores afectan la presión del pasador deflectante sobre los alambres individuales; entre ellos conviene citar:

1. Mientras mayor sea el diámetro del pasador, menor será la presión sobre el cable.
2. Mientras menor sea el ángulo involucrado con el doblamiento del cable, menor será la presión.
3. Si el pasador tiene un surco semicircular ligeramente mayor que el cable, varios alambres se apoyarán simultáneamente sobre la superficie del surco, y la presión sobre los alambres individuales se reducirá grandemente.
4. Si varios cables de una fila vertical se deflectan en un punto, de manera que cada cable se apoye sobre el que se halla por encima de él y el cable superior se apoya sobre un pasador, la presión sobre este cable será alta.

Este procedimiento se utiliza con buen éxito, pero el detalle del pasador, el número de cables y el ángulo del doblez deben considerarse a la luz de experiencias pasadas para evitar sobreesfuerzos.

Aplicación de esfuerzos

La aplicación de esfuerzos a los tendones deberá efectuarse dentro del grado de precisión especificado más adelante, si se quieren producir miembros aceptables. La capacidad última de un miembro preesforzado usualmente no se afecta por variaciones moderadas en los niveles de esfuerzo de los tendones,

pero sí pueden serlo la contraflecha, la carga de agrietamiento y otras propiedades.

La colocación, el tensionamiento y la deflexión de los cables son operaciones extremadamente importantes en la manufactura de miembros de hormigón prefabricado y pretensionado. Estas operaciones se cubren con mucho detalle en la división 1, sección 2, de la Referencia 21.

Tensionamiento de los tendones

En todos los métodos de tensionamiento, el esfuerzo inducido en los tendones se determina midiendo la elongación, e independientemente, en forma directa, la fuerza, con un manómetro, un dinamómetro o una celda de carga. Las dos determinaciones tienen que concordar una con otra y con los valores teóricos, dentro de un límite de tolerancia del 5 por ciento.

El sistema de manómetro indica que se ha aplicado la fuerza apropiada, y una verificación de la elongación permite comprobar el sistema de manómetro. Si hay discrepancias mayores del 5 por ciento, entre las fuerzas determinadas a partir de las medidas de elongamiento y las lecturas del manómetro, es necesario comprobar toda la operación y determinar la fuente de error antes de continuar. Es preciso consultar la Referencia 121 en relación con los métodos de medida de esfuerzos en cables de pretensionamiento, la descripción de los sistemas de medición de manómetro y el control de las fuerzas de los gatos.

Falla del alambre en los tendones

La falla de alambres en un cable de pretensionamiento o en un tendón de postensionamiento es aceptable siempre y cuando el área total de los alambres objeto de la falla no sea más del 2 por ciento del área total de tendones en cualquier miembro, y que el ingeniero responsable se asegure a sí mismo de que la falla no es sintomática de una condición más extensa de peligro.

Transferencia de esfuerzos o destensionamiento

La transferencia de esfuerzos a los miembros pretensionados no deberá efectuarse mientras la resistencia del hormigón, indicada por los cilindros de ensayo, no haya alcanzado la resistencia especificada de transferencia. En ciertos productos vaciados con máquinas de mezcla seca, no se pueden hacer cilindros que sean representativos de las unidades en el lecho de vaciado. En estas circunstancias, hay que hacer la verificación de la resistencia del hormigón por los métodos aprobados de ensayo que recomienda la asociación de fabricantes de productos vaciados a máquina.

Si el hormigón se ha curado mediante calor, el destensionamiento ha de realizarse después del período de curado, mientras el hormigón todavía está húmedo y tibio. Al permitir que se enfríe y seque antes del destensionamiento, los cambios dimensionales pueden causar agrietamiento o esfuerzos indeseables en el hormigón. Esto es especialmente cierto si se utilizan implementos para deflectar los cables.

En todas las operaciones de destensionamiento es necesario mantener las fuerzas de preesforzamiento aproximadamente simétricas con respecto al eje vertical del miembro y aplicarlas de manera que minimicen la carga repentina o el choque. La excentricidad máxima, con respecto al eje principal, deberá limitarse a un cable. Si se trata de formas poco usuales y asimétricas, es preciso que los planos de producción muestren los procedimientos de destensionamiento.

Las formaletas, amarres, insertos, elementos deflectores, taponés u otros artefactos que restrinjan el movimiento longitudinal de los miembros a lo largo del lecho deberán removerse o alojarse, con lo que el destensionamiento se efectuará de la manera y en la secuencia apropiadas para que el movimiento longitudinal resulte minimizado.

Destensionamiento de cables con dobleces

En miembros que tengan cables con dobleces es particularmente importante que no se permita movimiento longitudinal a lo largo de los lechos hasta que no se hayan removido los artefactos que mantienen hacia abajo los cables, pues cualquier movimiento de este tipo puede causar agrietamiento serio del hormigón o la destrucción de los elementos de suspensión, o ambos defectos. Por consiguiente, es aconsejable soltar los amarres y remover los pernos antes de liberar los esfuerzos en los anclajes. Sin embargo, el soltar los elementos deflectores sin aliviar los esfuerzos de anclaje puede resultar en cargas verticales concentradas peligrosamente que agrietarían la parte superior del miembro. Hay que calcular siempre las fuerzas de deflexión y compararlas con el peso del miembro, si se van a dejar libres los elementos de deflexión antes de hacerlo con los esfuerzos de anclaje. El ingeniero responsable debe dar instrucciones específicas sobre la secuencia de soltamiento de los artefactos de deflexión y de los anclajes.

Destensionamiento de cables múltiples

Al destensionar cables múltiples, éstos se sueltan simultáneamente mediante gatos hidráulicos. La fuerza total se toma del cabezal por el gato y se deja libre luego gradualmente.

Con este método es inevitable que se produzca algún deslizamiento de los miembros en los lechos, siendo éste proporcional a las longitudes expuestas de los cables esforzados entre los miembros y entre el último miembro y el extremo fijo. Con el fin de minimizar el deslizamiento, hay que reducir estas longitudes al mínimo posible.

Destensionamiento de cables sencillos

Para destensionar los cables sencillos, éstos se sueltan cortándolos con calor utilizando una llama de bajo oxígeno. Es común calentar simultáneamente ambos extremos del lecho para minimizar el deslizamiento de los miembros. Con el fin de que la liberación de esfuerzos ocurra gradualmente, no hay

que cortar los cables en forma rápida sino calentarlos hasta que el metal pierda gradualmente su resistencia.

La secuencia utilizada en el corte de los cables estará de acuerdo con un patrón aprobado por el ingeniero responsable y con una programación que mantenga los esfuerzos casi simétricos con respecto al eje de los miembros, como se recomendó atrás.

Tendones de postensionamiento

En algunos casos, toda la fuerza de preesfuerzo en un miembro prefabricado y preesforzado, o al menos parte de ella, la suministran tendones postensionados. Los requisitos de estos tendones, incluyendo su colocación, tensionamiento e inyección de lechada son esencialmente los mismos que para tendones de postensionamiento en hormigón vaciado en sitio, que se discutirán posteriormente en este capítulo.

Requisitos especiales de seguridad en las plantas

A causa de las grandes fuerzas de tensionamiento que son necesarias en todas las operaciones de preesforzamiento, cualquier construcción de este tipo deberá considerarse peligrosa. En todas las plantas dedicadas a ello se requiere un programa de seguridad cuidadosamente planeado, cuya observancia en todos sus aspectos, corresponde a íntegro el personal.

La consideración más importante que todos los niveles de personal en las plantas de hormigón prefabricado deben tener presente, es que los tendones bajo tensión de aproximadamente 14000 kg/cm² representan energía, que al ser liberada repentinamente, puede ocasionar resultados graves. Esta es una condición peculiar a la manufactura del hormigón preesforzado que es necesario reconocer y tener en cuenta constantemente si se quiere establecer una buena trayectoria de seguridad.

Medidas de seguridad

En la operación de tensionamiento hay más posibilidad de que ocurran accidentes graves que en todas las otras fases combinadas de la producción del hormigón preesforzado. Las siguientes reglas básicas aplicables al tensionamiento deberán incluirse en los requisitos de seguridad de todas las plantas:

1. Con anterioridad al tensionamiento de cualquier lecho, es preciso dar una señal visible y audible a todo el personal no necesario para efectuar el tensionamiento, con el fin de que despeje el área adyacente al lecho.
2. Es preciso cerciorarse de que los gatos están impedidos para volar longitudinal o lateralmente en casos de falla del tendón.
3. Nunca se ha de permitir a nadie que se pare en los extremos del lecho alineado directamente con el tendón que está siendo tensionado.
4. Está prohibido a todo miembro del personal que se pare sobre los tendones que están siendo tensionados para hacer medidas de alargamiento. Tales

mediciones se harán preferiblemente por medio de mandíbulas o patrones desde el lado, o desde detrás de escudos protectores.

5. Con el fin de proteger al personal, es necesario colocar escudos efectivos en ambos extremos del lecho, que detengan los tendones volantes.

6. Al personal encargado de las operaciones de acuñaamiento y anclaje hay que proporcionarle protección para los ojos contra el peligro de pedazos volantes de acero.

7. No es admisible soldar en la vecindad de los alambres, cables y barras de alta resistencia utilizadas para el preesforzamiento.

HORMIGON PREENFORZADO VACIADO EN SITIO

Las operaciones relativas al hormigón preesforzado, postensionado y vaciado en sitio, difieren de las de hormigón reforzado vaciado en sitio en que:

1. Los tendones que van a ser postensionados o los ductos de los tendones se han de colocar con precisión y atar con seguridad.

2. Los recubrimientos alrededor de los tendones no deben dañarse durante la colocación del hormigón.

3. Hay que tensionar los tendones y anclarlos después que el hormigón haya alcanzado la resistencia especificada.

4. Es preciso que el postensionamiento con adherencia se inyecte con lechada poco después que los tendones sean esforzados.

5. La resistencia especificada del hormigón es usualmente más alta que la de miembros de hormigón reforzado.

Materiales del hormigón

Los requisitos del hormigón en sí para obtener el tipo vaciado preesforzado, en sitio, son similares a los del hormigón tratado en otras partes de este manual. Los aceros de alta resistencia de preesforzamiento, sometidos a tensión, son particularmente sensibles a la corrosión, sobre todo cuando están expuestos a iones cloruro. Por consiguiente, deberá evitarse el uso de cualquier aditivo o material que contenga dichos iones.

Tendones de postensionamiento

Los tendones de postensionamiento están compuestos usualmente de: (a) cables de 7 alambres, normalizados, hechos de conformidad con la norma ASTM C 416, (b) alambres normalizados hechos de conformidad con la norma ASTM A 421, o (c) varillas de acero aleadas, especialmente procesadas, de conformidad con la norma ASTM A 722.

Es preciso instalar los sistemas de postensionamiento de acuerdo con las direcciones del fabricante y procedimientos probados y seguir las recomendaciones de éste en lo que se refiere a detalles de los bloques extremos y al refuerzo especial en las zonas de anclaje, aplicables a sus sistemas particulares.

Los registros de manejo y almacenamiento para los tendones de postensionamiento que van a ser inyectados son iguales a los discutidos atrás para

tendones de pretensionamiento. Los tendones no adheridos (o sin inyección) son cubiertos en la fábrica con un lubricante inhibidor de corrosión. Para proteger tal recubrimiento e impedir la adherencia con el hormigón, permitiendo así el postensionamiento del tendón, se provee una vaina, por lo general, plástica. Pueden presentarse pequeños agujeros o rasgaduras en la vaina durante el transporte o la colocación, que es necesario reparar antes de vaciar el hormigón. Los tendones se manipulan con cabestrillos, transportadores mullidos, etc., para evitar daños a la vaina o dobleces a los tendones. Estos se almacenan con el fin de prevenir su exposición a la corrosión o a otros daños.

Los ductos para tendones inyectados postensionados son tubos galvanizados, usualmente rígidos, a través de los cuales se insertan los tendones de acero y se esfuerzan después que el hormigón se haya endurecido. También pueden utilizarse ductos flexibles con acero de preesforzamiento preensamblado. Todas las juntas en los ductos deben sellarse para impedir la entrada de pasta de cemento y la adherencia prematura de los tendones sin tensionar.

Es de rigor que los tendones o sus ductos se coloquen en la localización y perfil especificados, evitando toda curvatura no intencional, como la producida por dobleces o bamboleos; en caso contrario, cualquier desviación del alineamiento especificado causará que se apliquen al hormigón fuerzas imprevistas, resultantes en pérdidas excesivas por fricción en la fuerza de preesforzamiento y en posible descascaramiento del hormigón. El alineamiento horizontal no deberá apartarse del especificado en más de 13 mm en 3 metros. En los sitios en que se requiere profundidad efectiva máxima, no es admisible apartarse del perfil intentado, más de 3 mm para miembros que tengan 20 cm de espesor o menos, ni más de 6 mm por cada 30 cm de profundidad para miembros más profundos.

El alineamiento de los tendones debe mantenerse durante el vaciado del hormigón por medio de accesorios como barras separadoras, sillas y caballetes. Todos los accesorios tienen que atarse en forma segura al tendón para impedir su desplazamiento. El espaciamiento máximo entre soportes no ha de exceder de 1.20 m para tendones de cables de 13 mm o para tendones de alambre múltiple; de 1.35 m para tendones de cable de 15 mm o para tendones con ductos flexibles inyectados; de 1.80 m para ductos semirrígidos de 38 mm o más de diámetro.

El diámetro interior de los ductos que van a ser inyectados deberá ser por lo menos 6 mm mayor que el diámetro nominal del tendón de cable de alambre sencillo o de varilla; en tendones de alambres o cables múltiples el área transversal interior del ducto tiene que ser por lo menos el doble del área neta del acero de preesfuerzo.

Anclajes

Es necesario que los elementos de anclaje para todos los sistemas de postensionamiento queden alineados con la dirección del eje del tendón en el punto de conexión y que las superficies de hormigón contra las cuales se apo-

yan los artefactos de anclaje, formen ángulos rectos con esta línea de dirección. Hay que tomar medidas precisas de pérdidas de anclaje debidas a deslizamiento u otras causas, compararlas con las pérdidas supuestas mostradas en la programación del postensionamiento, y, si es preciso, ajustar y corregir dicha operación.

La elongación mínima retenida por el tendón después de la colocación del anclaje está especificada en los planos. Los alargamientos obtenidos en el campo están afectados por los procedimientos de campo y las pérdidas por fricción. Si la diferencia entre los alargamientos especificados y los obtenidos excede del 5 por ciento, es necesario determinar y rectificar las causas en forma tal que se obtengan los alargamientos especificados. Las mediciones deberán hacerse en forma consistente; los tendones marcarse consistentemente en un estado no flojo y los que van a ser esforzados a partir de los dos extremos, señalarse en ambos extremos antes de comenzar el tensionamiento. Este podrá hacerse simultáneamente a partir de los dos extremos o en secuencia, siempre y cuando las fuerzas en cada extremo sean razonablemente iguales y cualquier cedencia del anclaje, causada por un esforzamiento secuencial, quede apropiadamente excluida de la medida del alargamiento total.

Inyección

Es esencial una inyección apropiada. Si no se remueve toda el agua del ducto alrededor del tendón, la que permanezca puede congelarse y partir el miembro.

Los tendones inyectados en forma inapropiada no se adhieren adecuadamente al resto del miembro, y, por consiguiente, no contribuyen del todo a su resistencia. Los espacios que no quedan llenos con la inyección pueden también estimular la corrosión grave del tendón. Para obtener un tendón inyectado en forma apropiada se requiere la aplicación cuidadosa de procedimientos y técnicas diseñados con ese fin.

Procedimiento de inyección

Se prescribe hacer la inyección de los tendones tan pronto como sea práctico después de efectuado el tensionamiento. Cuando los tendones no pueden inyectarse dentro de los 5 días siguientes al tensionamiento, es preciso protegerlos de la corrosión hasta que sean inyectados. No ha de permitirse que el agua permanezca en ductos sometidos a temperaturas de congelamiento, y en todos los casos tienen que removerse de los ductos inmediatamente después del curado.

La inyección puede ser mezcla de cemento y agua únicamente o incluir arena fina, cenizas volantes, puzolanas o una ayuda de intrusión. Es impropio usar aditivos que contengan cloruros o nitratos.

La mezcla de la inyección que vaya a usarse en un trabajo o en una planta particular requiere determinar las proporciones óptimas mediante mezclas de ensayo. El contenido de agua de la inyección se limitará al volumen mini-

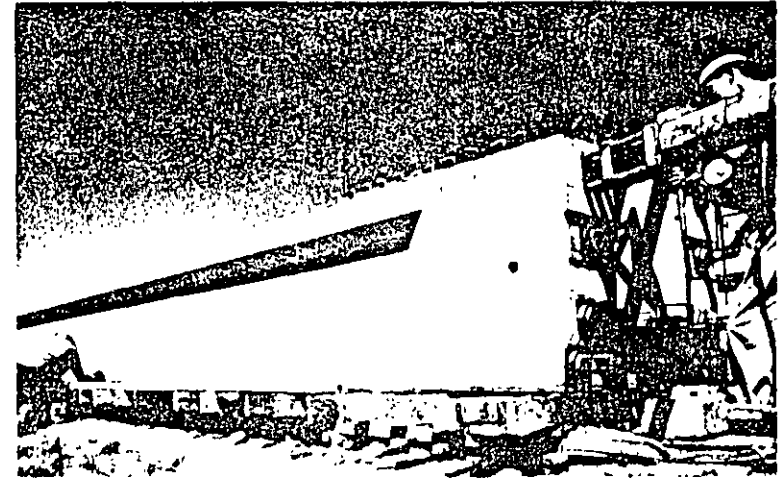


Fig. 17-11—Uso de gato hidráulico para postensionar los torones de una viga prefabricada.

mo que resulte en una mezcla bombeable con relación agua-cemento máxima de 0.45 (19 litros por saco de cemento).

La inyección deberá aplicarse siempre por bombeo hacia aperturas abiertas, para expulsar todo el aire atrapado. Es preciso que el proceso inyectivo se aplique continuamente bajo presión moderada en un punto del ducto hasta que por el orificio u orificios abiertos salga un flujo continuo de lechada. Tan pronto esté lleno todo el ducto y se hayan cerrado los orificios de descarga, se deberá aumentar la presión a un mínimo de 3.5 kg/cm² y mantenerla así durante un mínimo de 1 minuto, después de lo cual hay que taponar el punto de inyección, para impedir cualquier pérdida de lechada.

Puesto que la operación de inyección es tan importante y hay tantas posibilidades de error, se exige que un inspector calificado y ducho esté presente durante todo el proceso.

Requisitos especiales de seguridad durante el postensionamiento

Los daños por accidentes en el tensionamiento de los tendones suelen ser graves, pero son relativamente fáciles de evitar. Las recomendaciones de seguridad discutidas previamente en este capítulo, generalmente se aplican también al trabajo de postensionamiento.

En caso de deslizamiento o de falla de un anclaje o de un tendón, éste, aquél, o ambos, volarán saliéndose del ducto en línea relativamente recta. Por consiguiente, se aconseja no colocarse detrás o en línea con un tendón ni encima ni enfrente del gato, durante la operación del tensionamiento (Fig. 17-11).

El deslizamiento o la falla del anclaje o del tendón pueden causar un movimiento repentino de la unidad de gatos, en casi cualquier dirección, dependiendo del tipo de falla. La falla de una manguera o conexión hidráulica puede causar el colapso repentino del gato puesto que está bajo presión del tendón. Si el anclaje se mantiene en posición con una tuerca, la longitud del colapso puede mantenerse pequeña girando la tuerca hasta la platina de soporte, a medida que se alarga el tendón.

CAPITULO 18 — CONSTRUCCION RELACIONADA CON EL HORMIGONAMIENTO

Este capítulo cubre materiales y procedimientos de construcción que no pueden clasificarse como hormigonamiento, pero que están estrechamente relacionados con él. Se trata el uso de varios tipos de inyección y de mortero para aplicaciones estructurales y la utilización de estuco para aplicación superficial. Numerosos materiales químicos se utilizan en las inyecciones. De estos las inyecciones con resina epóxica tienen aplicación particular en conjunto con el hormigón.

El uso de inyecciones epóxicas para reparación de concreto se explicó en el Capítulo 11 y la inyección de tendones postensionados se cubrió en el Capítulo 16; por lo tanto no se discutirán acá.

El propósito de este capítulo es dar antecedentes generales sobre los materiales y procedimientos, discutir algunos principios básicos o razonamientos que ayudarán a explicar los requisitos de la especificación, describir los detalles importantes de las operaciones y ofrecer criterios generales como guía para el inspector. Como con todos los otros capítulos, la información y los criterios se presentan para asistencia y educación del inspector; los criterios reales para las operaciones y aceptación de la construcción deben ser siempre estrictamente los prescritos en las especificaciones del proyecto.

Como con todo otro hormigón y la construcción relacionada con él, una consideración principal es la relativa a la durabilidad bajo los esfuerzos aplicados, en especial con cargas excepcionales, y a las condiciones ambientales, particularmente las extremadamente adversas, a que pueda verse sometido el material durante su vida de servicio. Algunos materiales son apropiados para ciertas condiciones, algunos para otras, y a menudo, no pueden intercambiarse. El inspector tiene la obligación de asegurarse de que los materiales y procedimientos de construcción estén estrictamente de acuerdo con los planos y especificaciones del proyecto. Es, por supuesto, responsabilidad del diseñador y de quien escribe la especificación asegurarse de que los planos y especificaciones del proyecto requieran el uso de materiales idóneos para las condiciones ambientales que se vayan a encontrar (clima, ataque químico, temperaturas extremas, etc.), que los materiales y procedimientos sean apropiados para las cargas que vayan a soportarse y que cuando sea necesario, se restrinja la aplicación demasiado temprana de tales cargas.

INYECCION A PRESION

La inyección a presión puede efectuarse con una amplia variedad de propósitos, incluyendo el que busca consolidar cimentaciones de presas grandes

y de otras cimentaciones en roca: la inyección de juntas de contracción en presas de hormigón; la inyección de contacto por detrás de revestimientos de túneles e ítems similares, y la que se hace para reparar el agrietamiento en pavimentos, puentes y edificios. El tipo de material usado en inyecciones con lechada de cemento portland puede consistir en lechadas de cemento puro o mezclas de cemento y arena; además, las lechadas contienen a veces un aditivo o una puzolana. (También se utilizan varias inyecciones químicas, pero no se discutirá este punto acá. La inyección con resina epóxica para reparación del concreto fue debatida en el Capítulo 11). Requisito principal de la inyección es que penetre en las fisuras o aperturas bajo la presión de bombeo utilizada.

La inyección a presión de cimentaciones de presas y de otras cimentaciones en roca se aplica a través de orificios perforados bajo un amplio intervalo de presiones, dependiendo de las condiciones. A menudo, la inyección se hace por pasos, utilizando presiones más altas en localizaciones profundas y presiones más bajas en elevaciones menos acentuadas.

La inyección para las cimentaciones está compuesta generalmente de cemento puro o agua. A veces, cuando las fisuras son ultrafinas, resulta necesario utilizar un cemento especial separado por aire. La inyección debe mezclarse mediante agitación violenta y utilizarse preferiblemente antes de una hora después del mezclado.

Los requisitos de las inyecciones a presión para reparación de grietas se dieron en el Capítulo 11 de este manual, los relativos al hormigón de agregado precolocado, en el Capítulo 15 y los de inyección de tendones postensio- nados en hormigón pretensificado, en el Capítulo 17.

INYECCION BAJO PLATINAS DE APOYO Y BASES DE MAQUINARIA

Los requisitos de inyección bajo platinas de base para miembros estructurales y para el soporte de maquinaria son generalmente los mismos. El requisito principal es la provisión de una inyección endurecida en contacto permanente con el lado inferior de la placa y que tenga suficiente resistencia para soportar los esfuerzos aplicados por el miembro o la maquinaria. Se utilizan numerosas lechadas o inyecciones "que no encojen" para montar maquinaria y placas de base. Los materiales que se utilizan comúnmente son:

Paquete de mortero húmedo—Mortero de cemento portland dosificado y mezclado para producir baja contracción.

Inyecciones de polvo de aluminio (y otras inyecciones productoras de gas) que compensan la mayoría del encogimiento de asentamiento pero producen expansión únicamente mientras se hallan en estado plástico.

Inyecciones de agregado ferroso (inyección metálica catalizada)—Proporcionan expansión continua después de su endurecimiento (si hay humedad presente).

Sistemas cementosos (incluyendo inyecciones de cemento compensador de encogimiento)—Proporcionan expansión después del endurecimiento de la

inyección si se aplica curado húmedo apropiado, pero más tarde quedan sujetos a encogimiento por secamiento.

Inyecciones de polímero, ciento por ciento de sólidos (más comúnmente, resinas epóxicas)—Esencialmente, inencogibles a ninguna edad (con excepción del encogimiento debido a cambios de temperatura).

La efectividad de la inyección depende de los procedimientos de mezclado y colocación, lo mismo que de la composición. Para que se comporten efectivamente, es necesario asegurar que el procedimiento de aplicación produzca contacto íntimo con la parte interior de la placa y lo mantenga mientras se endurece la inyección.

Paquete de mortero húmedo

Rellenar con mortero húmedo es un modo eficiente de fijar maquinaria pesada sobre una base de hormigón y de asegurar los pernos de anclaje en el hormigón. Las proporciones usuales de mortero húmedo de paquete son: una parte de cemento por tres partes de arena bien graduada, en peso, con un contenido de agua ajustado de tal manera que una masa de mortero apretada firmemente en la mano la humedezca pero no la ensucie significativamente y que el mortero retenga su forma pero se desmorone fácilmente a la menor perturbación. Se deben mezclar íntimamente el cemento y la arena en estado seco, añadir el agua y de nuevo mezclar todo el conjunto muy bien.

Antes de colocar la platina de base o la máquina, debe dársele aspereza al hormigón de apoyo, martillándolo si es necesario con el fin de proporcionar una superficie fuerte y limpia. Es preciso quitar todo el polvo, preferiblemente por succión, y restregar la base con agua y cepillos de fibra hasta remover todo el material suelto y los revestimientos, así como saturar muy bien el hormigón de la base durante 24 horas y remover luego toda el agua libre de la superficie, inmediatamente antes de colocar el paquete de mortero húmedo. Resulta imprescindible mezclar éste con anterioridad, para que tenga una edad de por lo menos 30 minutos en el momento de usarlo, con lo cual se reduce significativamente el encogimiento potencial del mortero.

El mejor método de rellenar bajo una máquina o platina de base consiste en bloquear un lado del espacio abierto y colocar todo el mortero a partir del otro lado. El relleno deberá efectuarse compactando pequeñas cantidades, una a la vez, con tacos de madera dura de tamaño, forma y longitud apropiados. Hay que utilizar con cuidado el martillo al golpear los bloques, a fin de asegurar que la consolidación completa de la inyección no cause alabeos en la placa de base. Cuando se haya llenado el espacio entre la placa y la base, se procede a quitar el bloque de respaldo y a compactar la cara del mortero desde ese lado. El mortero alrededor de un perno puede compactarse muy bien martillando sobre una sección de tubo colocada en el espacio anular entre el perno y las paredes del agujero.

Inyecciones formadoras de gas

Inyección de polvo de aluminio (mezclada en obra)—El polvo de aluminio añadido al hormigón reacciona químicamente con los constituyentes al-

calinos solubles del cemento y genera gas hidrógeno. La expansión resultante antes del fraguado se aprovecha para compensar el encogimiento por asentamiento y causa que la inyección se endurezca en contacto con la platina que va a soportar. La expansión gaseosa del polvo de aluminio o de otra fuente no proporciona compensación para el encogimiento de hidratación, el cual ocurre a medida que la inyección gana resistencia después del fraguado inicial, ni para el encogimiento posterior al secamiento.

El polvo de aluminio molido debe hallarse exento de agentes pulidores como es el caso de los estearatos, palmitatos y ácidos grasos, y ser de cualquier variedad que produzca la expansión deseada. Se prescribe realizar ensayos con los materiales a temperaturas de trabajo con anterioridad a su empleo en el trabajo de construcción, para establecer la cantidad requerida y la efectividad de la combinación de polvo y de cemento portland. Puesto que son los álcalis solubles en el cemento los que reaccionan con el polvo de aluminio, el contenido de álcalis de aquél tiene un efecto importante en la expansión obtenida. Pocos cementos, con contenido de álcalis extremadamente bajo, producen una reacción tan pequeña que no son apropiados para este tipo de inyección. Las cantidades de polvo de aluminio que se requieren son extremadamente pequeñas. Los ensayos de laboratorio han demostrado que puede producirse un mortero apropiado para el uso bajo bases de maquinaria añadiendo a una mezcla de mortero de 1: 1.5 con relación agua-cemento de 0.50, una cantidad de polvo de aluminio que esté entre 50 y 60 millonésimas del peso del cemento utilizado (o sea, aproximadamente, una cucharadita dulcera por saco de cemento). Con arena bien gradada, tal mezcla tendrá un asentamiento aproximado de 280 mm.

Es importante que se prepare y pese cuidadosamente la dosis de cada mezcla. El polvo de aluminio deberá combinarse primero en proporción de una parte de polvo por 50 partes, en peso, de cemento o de arena seca que pase el tamiz No. 100. Esta combinación se añade, entonces, rociándola sobre la mezcla. La dosificación de los materiales combinados estará gobernada por la cantidad y composición química (contenido de álcalis) del cemento utilizado, por la temperatura de colocación y por el hecho de que el aditivo de aluminio se utilice en una inyección de cemento puro o de cemento y arena. La cantidad por usar se ajustará en la medida necesaria para obtener expansión efectiva.

Como ayuda en la determinación de las cantidades apropiadas de material combinado para el trabajo particular involucrado, se sugieren las siguientes dosis en las mezclas de ensayo preliminares:

Tipo de inyección	1: 50 combinación de polvo de aluminio y arena seca (o cemento), en gramos por saco de cemento (de 50 kg)	
	Temperatura de colocación: 21°C	Temperatura de colocación: 4°C
Inyección de arena-cemento	180	a 280
Inyección de cemento puro	150	a 230

Es aconsejable mezclar muy bien la combinación con el cemento y la arena antes de añadir el agua, pues el polvo de aluminio tiene tendencia a flotar en ella. Las mezclas deberán ser lo suficientemente pequeñas como para permitir la colocación inmediata del mortero recién preparado, puesto que la acción del aluminio se debilita al cabo de aproximadamente 45 minutos después de hecha la mezcla. Una vez añadidos, todos los ingredientes, el conjunto se mezclará durante 3 minutos. Se necesitan formaletas para confinar completamente la inyección en todas las superficies (incluyendo la superior), excepto que han de permitir una pequeña expansión, pues si la inyección queda completamente confinada puede ejercer presiones de hasta 7 kg/cm². Es preciso seleccionar el agente expansor y las proporciones utilizadas, a fin de impedir que haya una cantidad innecesaria de expansión. Si se permite la ocurrencia de expansión inconfiada, se presentará una drástica reducción de resistencia.

Para información más detallada sobre inyecciones con polvo de aluminio véanse las Referencias 8 y 130.

Otras inyecciones productoras de gas—Materiales finamente molidos como por ejemplo: carbón activado, coque fluido, y otros materiales reaccionan químicamente en presencia del agua para producir ciertos gases como hidrógeno o nitrógeno, etc., esencialmente con el mismo resultado final que el obtenido con polvo de aluminio. Estas reacciones tienen lugar sólo mientras la inyección está en la fase plástica.

Hay que señalar la disponibilidad existente en el mercado de fluidificantes de inyección premezclados de varias marcas registradas, que también producen expansión por la producción de gases. Con estos productos se obtienen, en general, resultados más uniformes y confiables que los logrados con polvo de aluminio mezclado en la obra.

Inyección metálica catalizada

Es una inyección que contiene agregados de hierro y un catalizador de oxidación que hace que las partículas metálicas se alarguen, compensando, en esta forma, la contracción de secamiento y el asentamiento. Este tipo de inyección requiere confinamiento rígido durante los primeros 7 a 14 días de endurecimiento si se quiere obtener servicio satisfactorio. La exposición por largo tiempo de áreas inconfiadas de inyección endurecida a ciclos de mojamiento y secamiento en el aire, puede llevar a una expansión autodestructora. Como los soportes inconfiados normalmente se autodestruirían por sobreexpansión, hay que cortarlos a ras con los bordes de la placa después del fraguado inicial y cubrir la superficie expuesta con un mortero de arenamiento o con una capa gruesa de compuesto de curado, de acuerdo con las instrucciones del productor de la inyección.

Estos materiales son para el uso en inyecciones fluidas y normalmente nunca deberán usarse como morteros rígidos. Todas las inyecciones tendrán que mezclarse, colocarse, terminarse y curarse de acuerdo con las recomendaciones impresas de su fabricante.

Sistemas cementosos

Cierto número de productos que cae en este grupo, produce mecanismos de expansión compensatoria de encogimiento, causados por un cemento expansivo, yeso mate, u otros componentes expansivos. Usualmente, estas inyecciones contienen agregados finos naturales o una combinación de agregados naturales y hierro similarmente graduado, este último con el objeto de aumentar la resistencia a la fatiga. Muchas de las inyecciones no metálicas con base de cemento utilizan un hidrato trisulfatado que produce los cristales de sulfoaluminato de calcio responsables de los cambios de volumen en la fase de endurecimiento. Hay que mezclar, colocar, terminar y curar todas las inyecciones de acuerdo con la recomendación impresa de su fabricante. Tales inyecciones deben ser bajas en cloruro y sulfatos para la protección del acero de la corrosión por esfuerzos. Las preparaciones premezcladas que incluyen agregado de sílice finamente gradado son utilizables en sitios en que el espacio disponible para la inyección permita o requiera este tipo, como es el caso de la inyección de varillas de anclaje o de alambres separados.

En sistemas de inyección cementosa puede utilizarse cementos compensadores de encogimiento, como se discutió en el Capítulo 16 de este manual, para inyecciones mezcladas en la obra. Opcionalmente, el cemento puede ser una combinación de cemento portland y de compensador de encogimiento. Como en el caso de hormigones compensadores de encogimiento, es muy importante que tales inyecciones se restrinjan en forma adecuada. Sin embargo, en la forma de uso normal, la restricción es inelástica y por lo tanto la inyección estará sometida a encogimiento durante el secamiento. La dosificación de la mezcla para estos sistemas de inyección cementosa, mezclados en obra, es poco diferente de la de otras inyecciones, excepto en que debe tener presente suficiente agua para producir la formación de etringita, causante de la fuerza expansiva.¹²⁹ El uso de cemento compensador de encogimiento en un paquete de mortero húmedo no resulta apropiado. Para mayores detalles de las propiedades de las inyecciones de cemento expansivo véase la Referencia 130.

La selección cuidadosa de la inyección más apropiada para una aplicación particular es de mucha importancia, puesto que cada tipo de inyección tiene limitantes definidos. Es aconsejable efectuar ensayos de aceptación inicial de cualquier sistema de inyección cementosa ya que las inyecciones se especifican para que trabajen adecuadamente en un cierto intervalo de consistencias y temperaturas. Junto con los datos de resistencia a la compresión deberá informarse sobre edad de la prueba, flujo de la inyección al tomar la muestra, temperatura inicial de la inyección y condiciones de curado. Dependiendo de los requisitos de trabajo son fácilmente alterables las condiciones rígidas, plásticas y de fluidez, mediante un cambio en el contenido de agua. No deberá permitirse el reemplazamiento de la mayoría de las inyecciones. En general, éstas se comportarán en igual forma a la del ensayo para cualquier consistencia más espesa (contenido de agua más bajo) que la que se utilizó en aquél. En consistencias más delgadas (mayor contenido de agua

de amasado) es probable que ocurra o aumente la exudación, que disminuya la expansión y se reduzca la resistencia.

Procedimientos de inyección en el campo para inyecciones inencogibles

La colocación en el campo de inyecciones inencogibles deberá seguir las mismas reglas de buena práctica necesarias para los tipos convencionales de inyección; esto es, asegurar que las superficies en contacto con la inyección estén libres de polvo, aceite, natas y cualquier sustancia extraña, y que la inyección reciba el curado apropiado para prevenir la pérdida de humedad durante los primeros estados de hidratación. Sin embargo, se necesitan medidas adicionales para asegurar que las inyecciones inencogibles, precombinadas, se comportan de la manera anunciada y que se logran los resultados deseados en todas las condiciones.

La inyección de cimentaciones y de placas grandes de base requiere una inyección de consistencia fluida con capacidad para mantener estable esta cualidad durante periodos largos. La fluidez estable de la inyección se determina practicando a este fin ensayos de flujo con un cono, 30 minutos después de terminar la operación de mezcla, según el método de prueba del Cuerpo de Ingenieros, CRD 79.¹³⁰ Para mantener el contacto con la placa durante el estado plástico, es común especificar tableros con talud o formas laterales extendidas por encima de la parte inferior de la placa, con el fin de proporcionar una pequeña cabeza y lograr así adherencia uniforme. No se permiten golpes ni vibraciones, a pesar de que sean necesarios para eliminar los vacíos y bolsas de aire, a menos que mediante ensayos (inyectando y después levantando una placa) se hubiera demostrado efectivamente que la vibración no induce exudación ni asentamiento. También deberá desestimularse el uso de cadenas, que fue antes un método popular, pues los eslabones de la cadena pueden atrapar burbujas de aire que se elevan a la superficie de la inyección, y reducen de esta forma el área de contacto.

Las inyecciones inencogibles no están destinadas a que se las use en hormigón autoesforzante, puesto que no proporcionan expansión adecuada para producir esfuerzos en el refuerzo. Adicionalmente, una excesiva expansión, como la que resulta de inyecciones productoras de gas, puede resultar indeseable en aplicaciones a soportes de carga, puesto que la resistencia comúnmente se deteriora con cambios volumétricos excesivos. La especificación CRD C 588 del Cuerpo de Ingenieros limita el volumen de expansión permisible a menos del 0.4 por ciento. Una expansión que no exceda 0.2 por ciento puede ser más segura y compensar el encogimiento por asentamiento. El encogimiento es indeseable, bien sea en estado plástico o bien en estado de endurecimiento y se limita a cero en la mayoría de las especificaciones.

Ensayo de campo de inyección inencogible

Las prácticas apropiadas de instalación deben complementarse mediante ensayos adecuados de control de calidad de la inyección, durante la coloca-

ción de ésta, con el fin de vigilar su comportamiento y proporcionar datos experimentales en casos de servicio cuestionable. Los requisitos mínimos de ensayo tienen que incluir la determinación de la consistencia a un nivel específico de agua, la expansión, la exudación y resistencia a la compresión para la inyección tal como quedó mezclada, según muestra proveniente de la mezcladora.

Los ensayos estándares como, por ejemplo, el de la norma ASTM C 109 sobre ensayo de resistencia (únicamente para morteros rígidos mezclados en obra) y el ensayo de flujo de la norma CRD-C 79¹³ del Cuerpo de Ingenieros, junto con la norma CRD-C 588 de la misma entidad, para inyección inencogible, revelarán los límites críticos de comportamiento. Para la inyección de pequeñas placas se juzgan apropiadas consistencias plásticas entre 110 y 125 por ciento, con 5 golpes, medidas mediante la masa de flujo. Cuando se trata de inyectar placas y bases de tamaño medio a grande, columnas estructurales y pernos de anclaje, es común emplear consistencias fluidas entre 125 y 145 por ciento, con 5 golpes, medidas mediante la mesa de flujo, y consistencias fluidas de 25 a más de 30 segundos medidas con el cono de flujo y el método de ensayo del Cuerpo de Ingenieros, CRD-C 79. Un aumento arbitrario de fluidez por encima de la consistencia especificada en el sitio de trabajo probablemente causará exudación, impidiendo en esta forma el contacto con la placa de base y la distribución apropiada de la carga a la inyección.

Siempre que se use cualquier tipo de inyección, es necesario verificar el contacto entre ésta y una placa inyectada, simulada o real (sondeando la placa a varias edades después que se endurezca la inyección), con el fin de garantizar: (1) que la interfase no resulta debilitada por la recolección de burbujas de gas en la superficie de contacto, y (2) que toda la exudación ha sido absorbida o desplazada de manera que exista contacto físico entre la inyección y la placa en por lo menos 90 por ciento del área de ésta (hay que remover la placa para determinarlo).

Sistema de polimeros

En inyecciones con resina epóxica, el agente cementoso es una resina y un convertidor (agente poliamido de curado) que cuando se mezclan forman un plástico termofraguante, inencogible, de alta resistencia (siempre y cuando la resina epóxica sea un sistema de sólidos ciento por ciento exento de diluyentes). Las inyecciones de resina epóxica deberán mezclarse, colocarse y curarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Inyecciones inencogibles comerciales, premezcladas

Las inyecciones con formulación especial, premezcladas para compensar el encogimiento, además de proporcionar el control deseado de cambio de volumen tienen también la ventaja de estar listas para su uso y de funcionar en un amplio intervalo de consistencias de colocación. Estas inyecciones se utilizan frecuentemente en aplicaciones cuyos requisitos no se pueden cum-

plir con las inyecciones ordinarias de cemento y arena, por ejemplo, cuando se requiere alta fluidez y es indeseable la exudación, o cuando se necesita acción no encogedora o expansiva. Las inyecciones premezcladas se agrupan generalmente, de acuerdo con su característica genitora de expansión (compensador de encogimiento) en las siguientes categorías: (1) productora de gas, (2) inyección metálica catalizada, (3) sistema cementoso y (4) sistema polimérico.

También hay en el mercado inyecciones especiales para aplicación de preesforzamiento mediante postensamiento y para sistemas de anclaje en roca o en hormigón. Tales inyecciones contienen, agregado de sílice finamente graduado, bajo en cloruros y en sulfatos, puesto que es preciso proteger el acero utilizado para estas instalaciones contra la corrosión por esfuerzos.



Fig. 18-1—Aspersión de un acabado granular sobre mampostería de hormigón.

MORTERO Y ESTUCCO

A menudo se utilizan mortero y estuco para hacer el lecho de losas de hormigón o el enlucido de otras superficies. El estuco puede tener textura o color, con fines arquitectónicos.

Cuando no hay especificación sobre dosificación del mortero se recomienda que la proporción entre material cementoso (cemento o cemento y cal) y arena sea de aproximadamente 1:3 a 1:5 por volumen seco, con cierta tolerancia, para tener en cuenta la expansión. Las mezclas más pobres son más porosas

mientras que las más ricas requieren más agua de amasado y, por consiguiente, tienen mayor encogimiento por secamiento y tienden a agrietarse. La arena deberá estar limpia y no tener cantidad excesiva de finos, y el mortero hallarse bien amasado, preferiblemente a máquina. El mortero y el estuco se aplican, con frecuencia, en forma neumática. El curado es especialmente importante en aplicaciones delgadas, como las capas de pañetamiento, pues si se permite que éstas sequen a edad temprana, tienden a agrietarse y a aflojarse. Las áreas pequeñas pueden mantenerse húmedas con emplastos de arpillera húmeda.

El enlucido o estuco es una forma especial de revestimiento de mortero para paredes y cielos rasos, que se aplica comúnmente en tres capas. Normalmente, la tercera capa es un estuco preparado en fábrica que consiste de cemento portland, color y plastificador. Generalmente, la capa superficial posee textura decorativa y, a menudo, color (Fig. 18-1). En las referencias 131 y 132 se dan recomendaciones y especificaciones detalladas para enlucidos de cemento portland.

Además de las características usuales de la inspección del hormigón, ésta ha de incluir atención particular a la preparación de la parte posterior; al método de aplicar cada capa, ya sea con llana, fratás o brochón; al espesor de las varias capas; a la dosificación y mezcla uniforme de los cementos colorantes; y al curado completo de capa capa. Preferiblemente, se deberá dejar colgada una arpillera, en contacto con las superficies, la que se mantendrá húmeda rociándola por lo menos 3, 5 o 7 días (dependiendo del clima) para luego dejarla secar lentamente, manteniendo la cubierta en su lugar hasta que esté seca.

CAPITULO 19 — ENSAYO DEL HORMIGON Y DE LOS AGREGADOS

Los métodos de ensayo del hormigón están detallados en forma comprensiva en las normas nacionales publicadas por la American Society for Testing and Materials (ASTM), por el U.S. Army Corps of Engineers y por el U.S. Bureau of Reclamation. Los métodos más comúnmente utilizados para la mayor variedad de proyectos de construcción fueron desarrollados por la ASTM. Este capítulo describe, de manera general, los métodos de ensayo de la ASTM para las pruebas de hormigón que se requieren en el campo o en el laboratorio de campo (Véase la Parte 14 del *Annual Book of ASTM Standards, de 1980*)¹³³. Se hace énfasis en que este capítulo presenta únicamente las descripciones generales de los métodos de ensayo.

Para asegurar el cumplimiento estricto con el método del ensayo, es necesario seguir los procedimientos precisos que de éste se exigen por parte de las especificaciones del proyecto. Cuando la norma no describa ni especifique los métodos de ensayo que deban usarse, se emplearán los métodos de prueba aplicables de la ASTM u otra entidad similar.

Con el objeto de proporcionar guía y asistencia general en las pruebas del hormigón, el Comité C-9 de la ASTM preparó el "Manual of Aggregate and Concrete Testing", que también está contenido en la Parte 14 del *ASTM Book of Standards*. Aunque el manual no es una norma ASTM, proporciona comentarios e interpretaciones útiles de los varios métodos de ensayo.

La norma ASTM E 329 define los deberes y responsabilidades y establece los requisitos mínimos del personal y del equipo para obtener ensayos e inspección confiables.

MUESTREO

Uno de los aspectos más significativos de los ensayos radica en la manera de obtener una muestra representativa para la medida de una propiedad específica. La norma ASTM C 172 contiene métodos de muestreo para varias unidades de producción de hormigón. Si las especificaciones del proyecto definen donde han de obtenerse las muestras, en ese caso predominarían sobre las opciones dadas en la norma ASTM C 172. Las muestras deberán tomarse en forma aleatoria, evitando cualquier muestreo selectivo no representativo de la variedad de parámetros usados y especificados para la construcción.

Es preciso que el muestreo para controlar la calidad del hormigón tal como se produce, se realice en el momento en que la hormigonera final entrega el hormigón. Es indiferente que el muestreo se haga en una hormigonera estacionaria en la planta de mezcla, o en una hormigonera de camión que

se prepare a entregar el hormigón en la obra. Sin embargo, las especificaciones pueden exigir o el ingeniero ordenar, para un propósito especial, que se haga un muestreo regular u ocasional del hormigón en cualquier otro sitio, como, por ejemplo, a medida que se le coloca en las formaleas, pero antes que sea vibrado. Con las facilidades usuales, los errores de muestreo y de fabricación de los cilindros de ensayo son mínimos en el lugar en que la hormigonera entrega el hormigón. Cuando la manipulación y colocación del hormigón son tales como deben ser, resulta que dicho muestreo y ensayos miden satisfactoriamente el carácter del hormigón colocado.

Cuando el hormigón se vacía por métodos susceptibles de afectar significativamente sus características, como, por ejemplo, el de bombeo, será necesario ocasionalmente doble muestreo, tanto en la descarga de la hormigonera como en el punto de vaciado final, para determinar si se presenta cualquier cambio significativo en asentamiento, contenido de aire, temperatura u otra característica significativa de la mezcla.

La norma ASTM C 172 describe los métodos de muestreo para el siguiente equipo de hormigonamiento:

(a) *Hormigoneras o agitadoras de camión, de tambor giratorio*—Para efectuar las pruebas de cumplimiento del hormigón proporcionado, es necesario tomar dos o más porciones durante la descarga de la parte media de la mezcla y combinarlas. La compuerta de descarga debe estar abierta y las muestras obtenerse, bien, pasando un receptáculo a través de la corriente de descarga, bien, desviando la corriente para que caiga en el recipiente de muestra. Cuando la corriente resulte demasiado rápida para tomar la muestra, será necesario descargar por completo y tomar la muestra de acuerdo con el método aplicable.

(b) *Hormigoneras estacionarias*—Hay que pasar un receptáculo a través de las corrientes de descarga en dos o más ocasiones, regularmente espaciadas, durante la descarga de la porción media de la mezcla.

(c) *Hormigoneras de pavimentación*—Después de la descarga de la mezcladora se recogen porciones de por lo menos 5 puntos para constituir una muestra representativa. Es preciso evitar la contaminación con el material de la subrasante.

(d) *Hormigoneras o agitadoras de camión, de cubierta abierta, tolvas receptoras, canecas, etc.*—Se prescribe el uso de uno cualquiera de los métodos anteriores (a, b o c), el que sea aplicable.

(e) *Final de la línea de bombeo*—Hay que pasar un receptáculo a través de la corriente de descarga o desviar la corriente en el recipiente en una o más ocasiones, regularmente espaciadas, durante la descarga.

Los requisitos generales del muestreo son: la cantidad de hormigón de muestra deberá ser mayor que la requerida para los especímenes o ensayos y no menor de 28 litros para ensayos de calificación. Las muestras compuestas han de mezclarse con una pala (únicamente hasta lograr uniformidad), y utilizarse antes de 15 minutos después del comienzo del muestreo. Entonces es preciso comenzar los ensayos de contenido de aire y de asentamiento antes que transcurran 5 minutos de iniciada la composición, y moldearse los

especímenes para pruebas de resistencia en los primeros 15 minutos después de ella. El material de pruebas deberá desecharse después de cada ensayo.

ENSAYOS DE HORMIGON RECIENTE MEZCLADO

Consistencia

La consistencia del hormigón es una medida de su manejabilidad, definible por sus características de asentamiento, asentamiento de la bola Kelly u otros indicadores del mismo. La ASTM publica dos métodos estándar: la prueba de asentamiento y el ensayo de penetración de bola.

1. Ensayo de asentamiento—ASTM C 143

(a) Colocar un cono húmedo y limpio en una superficie húmeda, no absorbente y plana.

(b) Llenar el cono con hormigón fresco en 3 capas de igual volumen, la superior de las cuales sobresale del cono; apisonar cada capa 25 veces con una varilla, y mantener el cono firmemente en su lugar mientras se llena y compacta.

(c) Después de apisonar la última capa, enrasar el nivel del hormigón con la parte superior del cono.

(d) Levantar el cono en un movimiento vertical suave y medir el asentamiento con respecto al centro original, con aproximación al medio centímetro.

2. Ensayo de penetración de la bola—ASTM C 360

Este ensayo utiliza una bola de peso estándar (la bola Kelly), a la cual se le permite penetrar en una masa de hormigón que contiene una regla graduada para medir las pulgadas de penetración. El uso de este método deberá correlacionarse con el ensayo de asentamiento si se va a utilizar como prueba de aceptación.

Contenido de aire

La ASTM tiene 3 métodos para determinar el contenido de aire del hormigón recién amasado, a saber: el método de presión, el método volumétrico y el método gravimétrico.

1. Método a presión—ASTM C 231

Se utilizan dos tipos de medidores para determinar el contenido de aire por el método de presión. Uno es el medidor tipo A (Fig. 19-1), que se basa en la correlación entre la reducción del nivel de agua y la reducción en volumen de aire de la muestra de hormigón, causada por una presión de aire predeterminada. El otro utiliza un medidor tipo B (Fig. 19-2), que opera con base en el principio de igualar un volumen conocido de aire, a presión conocida, en una cámara sellada, para obtener el valor del volumen desconocido de aire en la muestra de hormigón.



Fig. 19-1—Preparándose para el ensayo en el terreno del contenido de aire, utilizando un medidor tipo A, conforme a las instrucciones de la norma ASTM C 231.

Los requisitos generales del ensayo de contenido de aire que utiliza el método de presión de aire consisten en:

- (a) Calibrar el medidor de aire de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- (b) Llenar el recipiente en tres capas iguales de hormigón fresco, apisonar con varilla cada capa durante 25 veces, y golpear el recipiente 10 a 15 veces con una maceta, después de apisonar cada capa.
- (c) Remover el hormigón de exceso con un movimiento de vaivén de la barra enrasadora y ensamblar el medidor.
- (d) Añadir y presurizar el agua necesaria.
- (e) Leer el resultado mediante un manómetro o tubo de medida y utilizar el factor de corrección del agregado para obtener la verdadera lectura de aire. En la norma ASTM C 231 se describe un procedimiento para determinar el factor de corrección del agregado.

2. Método volumétrico—Norma ASTM C 173 ("Roll-a-meter")

(a) Calibrar el medidor de acuerdo con las direcciones del fabricante y seguir los procedimientos generales en la misma forma indicada atrás para llenar el recipiente con hormigón fresco, apisonando con varilla, golpeando lateralmente cada capa y enrasando el nivel superior. Ensamblar el medidor y llenarlo con agua hasta la marca de cero.

(b) Invertir y agitar el medidor hasta que el hormigón quede libre de la base, continuar girando y meciedo el medidor, con el cuello elevado, para remover el aire del hormigón.

(c) Colocar el aparato en posición erguida, sacudirlo y permitir que todo el aire se eleve a la parte superior.

(d) Repetir la agitación hasta que el nivel de agua se haya estabilizado; luego usar alcohol en incrementos medidos para que desaparezca la espuma.

(e) Leer directamente el aire, que será igual al nivel del agua más los incrementos de alcohol que se hayan añadido.



Fig. 19-2—El método de ensayo de la ASTM tiene instrucciones detalladas sobre cómo efectuar el enrase, después de consolidar la muestra, para la determinación del contenido de aire por el método a presión. Este es un medidor tipo B.

3. Método gravimétrico—Norma ASTM C 138

La norma ASTM C 138 para determinar el contenido de aire está basada en la diferencia entre el rendimiento (volumen calculado a partir del peso unitario medido) y el volumen absoluto calculado de los constituyentes sólidos y líquidos. No se utiliza comúnmente porque la precisión depende de la exactitud de las cantidades de mezcla y de los pesos específicos.

Peso unitario del hormigón recién mezclado Norma ASTM C 138

El peso unitario del hormigón recién mezclado se usa para determinar los factores de cemento y el contenido de aire, lo mismo que el peso unitario del hormigón. Este procedimiento incluye el uso de un recipiente de volumen conocido para determinar el peso del hormigón que cabe en él.

(a) Llenar el recipiente en 3 capas iguales, apisonando cada una con varilla durante 25 veces, para tamaños de 14 litros o menos, y 50 veces, para recipientes de 28 litros:

(b) Golpear el recipiente 10 o más veces después de cada apisonamiento y luego enrasar y terminar la parte superior, alisándola con una placa plana de cubierta que sea mayor que el diámetro del mismo.

(c) Limpiar el exterior y pesar.

(d) El peso unitario es el peso neto (peso total menos peso del recipiente) multiplicado por el factor de calibración del recipiente. Este puede calcularse determinando el peso neto de agua que puede sostener, según se describe en la norma ASTM C 29.

Temperatura

La temperatura del hormigón se toma cuando éste acaba de amasarse, y también en sitio, para vigilar la elevación térmica. La temperatura inicial se toma, por lo general, con un termómetro de inmersión graduado desde aproximadamente 0°C (32°F) hasta aproximadamente 65.5°C (150°F). La elevación de temperatura del hormigón se determina de la mejor manera por el uso de pares térmicos eléctricos embebidos.

PRUEBAS DE RESISTENCIA

El método estándar para determinar la resistencia del hormigón durante la construcción consiste en hacer y curar en el campo especímenes de prueba de la resistencia estructural a la compresión y a la flexión. El número de especímenes y la evaluación y aceptación de la resistencia del hormigón se discuten en el Capítulo 2. Todos aquellos tienen que hacerse en el lugar del curado inicial, o en sus proximidades, para evitar los posibles efectos perjudiciales del traslado de especímenes de prueba recién hechos.

Resistencia a la compresión—Normas ASTM C 31 y C 39

La norma ASTM C 31 cubre los requisitos de los moldes y de la hechura y curado de los especímenes.

1. Moldes

Los moldes son utilizables una o varias veces, están hechos de acero, hierro fundido, plástico, cartón con recubrimiento u otros materiales no absorbentes ni que reaccionen con el cemento, y tienen que cumplir las tolerancias

en dimensiones, absorción y elongación, especificadas en la norma ASTM C 470.

2. Hechura de los especímenes

Para hacer especímenes cilíndricos (15 × 30 cm) de conformidad con la norma ASTM C 31 (en el campo) y la ASTM C 192 (en el laboratorio), es preciso tomar una muestra del hormigón, según las instrucciones de la norma ASTM C 172 y de la sección de muestreo de este capítulo. El moldeado de los especímenes debe comenzar dentro de los 15 minutos siguientes a la composición de la muestra, según el proceso que se indica a continuación:

(a) Llenar uniformemente el molde con cuchara o palustre, en 3 capas casi iguales (sólo 2 capas si se van a vibrar).

(b) Apisonar cada capa 25 veces con una varilla (para asentamientos de 25 mm o menos hay que vibrar); golpear los lados del recipiente después de cada apisonamiento, para cerrar los vacíos dejados por la varilla y enrasar la parte superior con la misma varilla, o con lana metálica o de madera.

(c) Cubrir los bordes con vidrio, placa metálica, lámina de polietileno o arpillera húmeda para evitar la evaporación rápida. Hay que evitar el contacto de los moldes cilíndricos de cartón revestido con la arpillera húmeda.

3. Curado de especímenes a compresión

(a) Los cilindros se curan en el campo durante las primeras 20 ± 4 horas, a temperaturas entre 16 y 27°C (60 a 80°F), a fin de permitirles que desarrollen resistencia adecuada para su transporte.

(b) Los cilindros utilizables para verificar la bondad del hormigón en cuanto a resistencia, o como base de aceptación, que son los usos más comunes, se remueven de los moldes después de 20 ± 4 horas y se almacenan luego en condición húmeda a $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$) hasta el momento del ensayo. Pueden sumergirse en agua saturada de cal, colocarse en gabinetes de curado, o en cuartos de curado (ASTM C 511).

(c) Los cilindros destinados a determinar el momento en que pueden removerse las formaletas, o ponerse en servicio la estructura o a comprobar la bondad del curado, se tienen que almacenar dentro de la estructura, tan cerca al punto de uso como sea posible; es necesario que reciban, hasta donde sea práctico, la misma protección y curado que aquélla. Los especímenes que tienen por objeto determinar cuándo puede ponerse en servicio una estructura, se retiran de los moldes en el momento de remoción de las formaletas.

4. Refrentado de los especímenes cilíndricos de hormigón para ensayos de resistencia a compresión (ASTM C 617)

(a) Los cilindros de hormigón recién moldeados pueden refrentarse con cemento puro, pero usualmente éste no es un método expedito. El hormigón endurecido es refrentable con yeso de alta resistencia o con mortero de azufre (350 kg/cm²). El método del mortero de azufre (Fig. 19-3) es el más expedito por el momento.



Fig. 19-3— Refrentado de los cilindros que se van a ensayar a compresión, con un compuesto de azufre

(b) La capa de refrentado debe ser plana, con una tolerancia de 0.05 mm (0.002 pulg), perpendicular al eje del cilindro, y completamente sana, sin zonas huecas.

5. Ensayo de cilindros de hormigón—ASTM C 39

El ensayo a compresión de cilindros de hormigón debe hacerse en una máquina al efecto, calibrada, operada a motor, que proporcione una rata de carga uniforme de 0.14 a 0.34 MPa por segundo (1.4 a 3.5 kg/cm² por seg), y que cumpla los requisitos para máquinas de ensayo establecidos en la norma ASTM E 4. Las superficies de apoyo han de ser planas y limpias y el cilindro centrado en las cabezas de la máquina (Fig. 19-4).

Resistencia a la flexión del hormigón—Normas ASTM C 31, C 78, C 293

Lo más común es determinar la resistencia a flexión del hormigón utilizando vigas rectangulares, normalmente de 150 × 150 × 500 mm (6 × 6 × 20 pulg) de largo, para hormigones con agregado grueso de hasta 50 mm (2 pulg). Lo que sigue se aplica a los especímenes de tamaño estándar.

1. Moldes para especímenes a flexión

Los moldes no deben ser absorbentes ni reactivos, pero sí lisos y herméticos y sin daños.

2. Moldeo de especímenes para ensayos a flexión

(a) Llenar el molde en dos capas iguales si se va a apisonar con varilla (una capa, si va a ser vibrado).

(b) Apisonar con la varilla uniformemente cada capa, una vez por cada 13 cm² (2 pulg²) y golpear los lados del molde para llenar los huecos dejados por la varilla. Cuando se esté apisonando la capa superior, la varilla debe penetrar la capa inferior. (Hay que vibrar, si el asentamiento es de 25 mm o menos).

(c) Enrasar la superficie con una llana de madera o de magnesio.

3. Curado de especímenes para ensayos a flexión (ensayo de aceptación)

(a) Después del curado inicial en los moldes, (similar al de los cilindros), remover las vigas de los moldes entre 20 y 48 horas después del moldeo y curarlas a $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$) en condición húmeda (similarmente a la de los cilindros).

(b) Es muy importante sumergir las vigas, con anterioridad al ensayo, un mínimo de 20 horas, en agua saturada de cal.

4. Prueba de vigas para determinar su resistencia a flexión

La resistencia a flexión puede determinarse utilizando vigas simplemente apoyadas con carga en el centro de la luz (ASTM C 293) o con cargas en

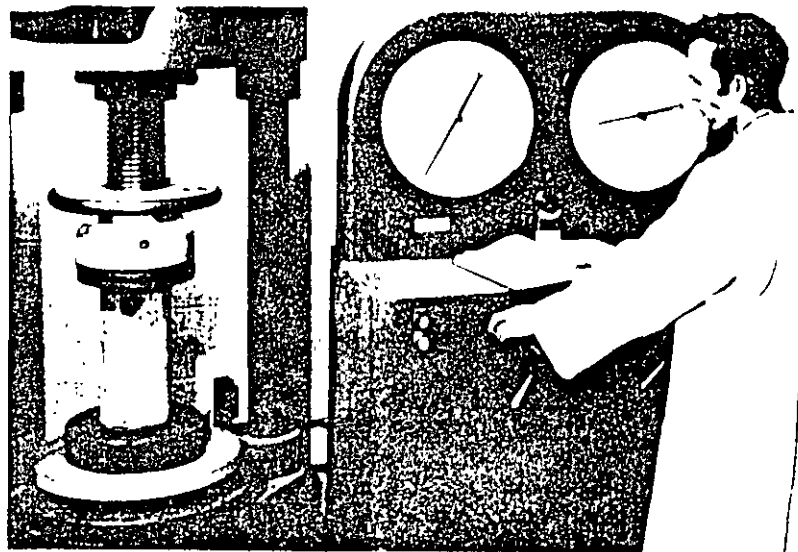


Fig. 19-4—Ensayo a compresión de un cilindro de hormigón.

los tercios de ella (ASTM C 78). La carga en el punto central usualmente indica resistencias más altas.

(a) Las máquinas de ensayo deben ser movidas por motor (aunque se permiten bombas manuales de desplazamiento positivo) y capaces de aplicar uniformemente la carga.

(b) Hay que conducir el procedimiento seleccionado para la prueba de la viga de acuerdo con las normas apropiadas de ASTM, y además:

(c) Voltear el espécimen de prueba húmedo para que quede de lado, con respecto a su posición en el molde, y centrarlo sobre los bloques de apoyo;

(d) Aplicar la carga a una velocidad uniforme que no aumente el esfuerzo de la fibra en más de 1034 kPa (10.3 kg/cm², 150 lb/pulg²) por minuto hasta que ocurra la rotura, y

(e) Medir el ancho y profundidad promedios y calcular el módulo de rotura.

Resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de hormigón—ASTM C 496

Las especificaciones pueden exigir el uso de cilindros estándar de hormigón para la determinación de resistencias indirectas a la tensión. Se cree que esta propiedad indica con precisión la resistencia real a la tensión del hormigón y se usa en la evaluación del hormigón estructural de peso liviano.

(a) Los métodos de hechura y curado son los mismos que se dieron en la sección previa para especímenes cilíndricos de 15 × 30 cm. Sin embargo, cuando se usan para la evaluación del hormigón de peso liviano, de acuerdo con el Código de Construcción del ACI⁶ los especímenes se curan húmedos durante 7 días y luego durante otros 21 a temperatura de 23.0 ± 1.7°C (73 ± 3°F) y humedad relativa de 50 ± 5 por ciento.

(b) Los cilindros se marcan con líneas diametrales en cada extremo, utilizando un artefacto apropiado que asegure que las marcas quedan en el mismo plano axial, se toman 3 medidas del diámetro y se les saca el promedio.

(c) Se centra el espécimen en la máquina de ensayo y se le colocan tablillas de madera laminada de 3 × 25 × 300 mm en las partes superior e inferior.

(d) Se aplica la carga continuamente, sin producir choques, a una rata constante entre 7 y 14 kg/cm² (689 a 1380 kPa) por minuto de esfuerzo a tensión indirecta, hasta que se produzca la falla. Para cilindros de 15 × 30 cm, la cantidad de 7 kg/cm² por minuto corresponde a aplicar una carga que aumente continuamente a una rata de 5100 kg (50 kN) por minuto.

(e) Se calcula la resistencia a la tensión indirecta.

CURADO ACELERADO DE ESPECIMENES DE ENSAYO

Los requisitos de algunos proyectos de construcción pueden exigir o permitir el uso de ensayos acelerados de resistencia de cilindros estándares de hormigón. La ASTM C ha aprobado un método de ensayo acelerado que está descrito en su norma ASTM C 684. Esto hace posible el uso de un método estándar de curado acelerado para proporcionar tempranamente datos

de resistencia sobre la calidad del hormigón, en lugar de los convencionales de resistencia a los 7 y a los 28 días.

Es necesario desarrollar un programa de correlación para la misma mezcla de hormigón y utilizando los mismos materiales, con el fin de evaluar apropiadamente la relación entre los cilindros curados aceleradamente y los curados en forma estándar. En la publicación ACI SP-56¹⁴, se indica el procedimiento para el desarrollo y uso de estos datos en el control de calidad del hormigón.

La norma ASTM C 684 contiene tres métodos que pueden utilizarse para acelerar el curado de los cilindros para ensayo:

Procedimiento A—Método del agua tibia

Procedimiento B—Método del agua hirviendo

Procedimiento C—Método autógeno

Se requiere equipo especial para obtener y controlar la temperatura de los cilindros de hormigón durante el ciclo de curado acelerado. Todo el curado se lleva a cabo mientras los cilindros están en sus moldes y los ensayos se efectúan poco después de sacarlos de ellos.

El **procedimiento A** es el más corto. El curado empieza inmediatamente después del vaciado. Se curan los cilindros en un baño de agua caliente a 35 ± 3°C (95 ± 5°F) durante 23 ½ horas ± 30 min., y luego se les quitan los moldes, para ensayarlos a la edad de 24 horas ± 15 min.

El **procedimiento B** añade un corto período de curado acelerado a un período más largo de curado convencional. Los cilindros se curan inicialmente durante 23 horas ± 15 min. a 21 ± 5°C (70 ± 10°F), y luego se sumergen en agua hirviendo durante 3 ½ horas ± 5 min. En seguida, se les quitan los moldes a los cilindros y se enfrían por lo menos durante una hora, a temperatura ambiente para, finalmente, ensayarlos a la edad de 28 ½ horas ± 15 min.

El **procedimiento C** utiliza el calor generado por la hidratación del cemento, para acelerar el desarrollo de resistencia. Los cilindros se almacenan, una vez vaciados, en un recipiente aislado térmicamente. A la edad de 48 horas ± 15 min. se los saca de dicho recipiente, se les quita el molde y se dejan durante 30 minutos a temperatura ambiente; por último, se ensayan a la edad de 49 horas ± 15 min.

El muestreo, moldeo y ensayo de los cilindros de hormigón deberá hacerse de acuerdo con los procedimientos de la ASTM descritos anteriormente en este capítulo, excepto que se excluye el uso de moldes de cartón.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE HORMIGÓN AISLANTE DE PESO LIVIANO

La norma ASTM C 495 cubre el método de preparación y ensayo de la resistencia a compresión del hormigón aislante de peso liviano; secado al horno, que tenga un peso no superior a 800 kg/m³ (50 lb/pie³). La norma está restringida al uso de cilindros de 75 × 150 mm (3 × 6 pulgadas).

(a) El muestreo se efectúa de acuerdo con los procedimientos estándar establecidos en este capítulo. Sin embargo, cuando se tomen muestras provenientes de equipo de bombeo, se pasa un balde por la corriente de descarga de la manguera de la bomba de hormigón en el punto de vaciado.

(b) Al moldear los cilindros, el hormigón se coloca en dos capas iguales y después de cada capa se golpean ligeramente los lados del molde hasta que la superficie descienda. *Está prohibido apisonar el hormigón con varilla.*

(c) El ensayo de los cilindros y la determinación de la resistencia a compresión son esencialmente los mismos que para cilindros estándar de hormigón de peso normal.

ENSAYOS DE UNIFORMIDAD DE LAS HORMIGONERAS

Hormigoneras de camión

La norma ASTM C 94 estipula que cuando el hormigón se amasa completamente en una hormigonera de camión, con 70 a 100 revoluciones, a la velocidad de amasado especificada por el fabricante, es necesario producir la uniformidad de hormigón indicada en la Tabla 19-1. Una prueba de uniformidad consiste en comparar dos muestras de hormigón recién amasado, una del frente de la hormigonera y la otra de la parte de atrás. La uniformidad del hormigón se considera satisfactoria cuando por lo menos 5 de las 6 pruebas que muestra la Tabla 19-1 están dentro de los límites especificados. Deben hacerse ensayos de asentamiento de muestras individuales, tomadas después de haber descargado aproximadamente 15 por ciento y 85 por ciento de la carga, para comprobar rápidamente el grado probable de uniformidad. Es necesario obtener estas dos muestras en un lapso no mayor de 15 min. Si los dos asentamientos difieren más de lo especificado en la Tabla 19-1, será preciso no usar la hormigonera, a menos que se corrija tal condición o que, al operar la con un tiempo de amasado mayor, o una secuencia de carga más eficiente, se logre cumplir con los requisitos de la Tabla 19-1.

Hormigoneras estacionarias

La norma ASTM C 94 especifica un tiempo de amasado basado en la capacidad de la hormigonera, que requiere un minuto para los primeros tres cuartos de metro cúbico y 15 segundos adicionales por cada $\frac{1}{4}$ m³, o fracción de capacidad adicional. Se considera que estos requisitos de tiempo mínimo producirán uniformidad, pero se sabe que son innecesariamente consumidores de tiempo en muchas de las hormigoneras de gran capacidad. Por consiguiente, se han incorporado provisiones en la especificación que permiten reducir este tiempo de amasado siempre y cuando se pruebe, mediante ensayos, que la uniformidad es obtenible en menor tiempo.

Las pruebas pueden hacerse en cualquier momento, previamente decidido que signifique menor tiempo de amasado. Es aceptable que las muestras se tomen de una hormigonera en proceso de descarga, después que ésta haya descargado el 15 por ciento y el 85 por ciento de la mezcla, o que se detenga

TABLA 19-1 — REQUISITOS DE UNIFORMIDAD DEL HORMIGON

Ensayo	Máxima diferencia permitida entre muestras tomadas de dos sitios de la tanda de hormigón
Peso unitario del hormigón fresco, calculado sobre la base de que está libre de aire	16 kg/m ³ (1.0 lb/pe ³)
Contenido de aire, en porcentaje, del volumen de hormigón	Diferencia numérica 1.0 por ciento
Asentamiento.	
Cuando el asentamiento promedio es de 102 mm (4 pulg) o menor que éste	25 mm (1.0 pulg)
Cuando el asentamiento promedio está entre 102 y 152 mm (4 a 6 pulg)	38 mm (1.5 pulg)
Contenido de agregado grueso, porcentaje de cada muestra, en peso, retenida en el tamiz No. 4 (4.75 mm)	Diferencia numérica 6.0 por ciento
Peso unitario de mortero libre de aire	Diferencia } 1.6 por ciento en porcentaje } 7.5 por ciento*
Resistencia a compresión promedio de cada muestra, a los 7 días	

*Puede aprobarse tentativamente la hormigonera, mientras se obtienen los resultados de los ensayos de resistencia a compresión a los 7 días.

la hormigonera después del tiempo señalado de amasado, y sin descargarla, se tomen las muestras de sitios próximos a la parte frontal y trasera del tambor. Cuando se encuentra que la hormigonera cumple los requisitos especificados de uniformidad, el tiempo de amasado puede reducirse al nuevo que haya resultado satisfactorio.

Ensayo de lavado para determinar el contenido de agregado grueso

Como medida de la uniformidad de una mezcla de hormigón se tiene el porcentaje de agregado grueso contenido en dos porciones diferentes de la mezcla (véanse las Tablas 19-1 y 19-2). El procedimiento para esta determinación es:

(a) Pesar una muestra de hormigón en estado plástico. Con el fin de combinar parcialmente esta determinación con la del peso unitario del mortero, libre de aire, se utiliza la base de un medidor de aire como unidad de medida para la determinación del peso unitario. Luego se ensaya la muestra para encontrarle el contenido de aire.

(b) Después de la prueba de aire, tamizar y lavar el hormigón sobre una malla No. 4.

(c) Pesar el agregado mientras está sumergido en agua.

TABLA 19-2 — ENSAYO DE UNIFORMIDAD DEL HORMIGON

Ensayo	Al frente	Atrás	Variación	Requisitos de la norma ASTM C 94, expresados como diferencia máxima aceptable
Contenido de agregado grueso, porción de cada muestra retenida en el tamiz No. 4	55 por ciento	52.5 por ciento	2.5	6.0
Peso unitario del mortero libre de aire	2083 kg/m ³	2114 kg/m ³	1.5 por ciento	1.6 por ciento*

* El porcentaje de variación en el peso unitario del mortero puede calcularse, con base en el promedio de muestras comparables (en cuyo caso el límite de uniformidad se convierte en $1.6/2 = 0.8$ por ciento), como se indica a continuación:

$$\text{Peso unitario promedio del mortero libre de aire} = \frac{2083 + 2114}{2} = 2098 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Variación en peso unitario, con respecto al promedio} = \frac{2098 - 2083}{2098} \times 100 = 0.72 \text{ por ciento} < 0.8 \text{ por ciento. Bien}$$

(d) Calcular el peso saturado, seco superficialmente, usando el peso específico saturado, seco superficialmente, del agregado, que es conocido, y la fórmula para el peso específico suelto (SSS) dada en la norma ASTM C 127.

(e) En vez del método del pesaje sumergido, se puede secar con toalla el agregado grueso, una vez lavado, y pesarlo a continuación. Sin embargo, se recomienda hacer uso de aquél.

Ensayo para determinar el peso unitario del mortero libre de aire

El método para determinar el peso unitario del mortero, libre de aire, se describe en la Referencia 8 con el título "Variabilidad de los constituyentes del hormigón", designación 26. El procedimiento se resume en las siguientes operaciones:

(a) Efectuar las pruebas de peso tal como se describieron en los puntos (a) a (d) del ensayo de lavado, para determinar el contenido de agregado grueso.

(b) Determinar el peso del mortero en la muestra, sustrayendo el peso SSS del agregado grueso del peso de la muestra de hormigón.

(c) Obtener el volumen de mortero libre de aire, para lo cual se sustraen los volúmenes del agregado grueso y del aire.

(d) Obtener el peso unitario del mortero, libre de aire, que es su peso dividido por su volumen, calculado por la fórmula siguiente:

$$M = \frac{b - c}{V - \left(A + \frac{c}{1000 G} \right)}$$

en donde:

M = peso unitario del mortero, libre de aire, en kg/m³

b = peso de la muestra de hormigón en el medidor de aire, en kg

c = peso SSS del agregado retenido en el tamiz No. 4, en kg

V = volumen de la muestra, en m³

A = volumen de aire, que se calcula multiplicando el volumen V por el porcentaje de aire dividido por 100, en m³

G = peso específico relativo (SSS) del agregado grueso

1000 = peso unitario del agua a la temperatura de ensayo, en kg/m³

En el siguiente ejemplo se ilustra el método para determinar el peso unitario del mortero libre de aire y el contenido de agregado grueso.

Dados:

Una muestra de hormigón que contiene agregado con tamaño nominal máximo de 38 mm,

G = peso específico relativo SSS del agregado grueso suelto = 2.65

b = peso de la muestra de hormigón en un volumen de 7.079 litros (0.25 pies³) del medidor de aire = 15.88 kg

S = peso sumergido del agregado retenido en el tamiz No. 4 = 5.44 kg

Contenido de aire en esta muestra = 5.0 por ciento

Cálculos:

$$c = \text{peso SSS del agregado grueso} = \frac{S \times G}{G - 1} = 5.44 \times \frac{2.65}{2.65 - 1} = 8.74 \text{ kg}$$

W = contenido de agregado grueso (porcentaje en peso de la muestra),

$$\frac{8.74}{15.88} \times 100 = 55.0 \text{ por ciento.}$$

$$A = \text{volumen de aire} = \frac{7.079 \text{ dm}^3 \times 5.0}{100} = 0.354 \text{ litros}$$

$$M = \text{peso unitario del mortero libre de aire} = \frac{15.88 - 8.74}{0.007079 - \left(0.000354 + \frac{8.74}{2.65 \times 1000} \right)} = 2083 \text{ kg/m}^3$$

Para determinar el cumplimiento de una hormigonera de camión o estacionaria, es necesario ensayar dos muestras, una de cada extremo de la mezcla. Suponiendo que los cálculos anteriores representan la primera muestra de una tanda, supóngase que para la segunda muestra se encuentra que tiene

52.5 por ciento de contenido de agregado grueso y un peso unitario de mortero, libre de aire, de 2114 kg/m³. Estos resultados se comparan con los de la Tabla 19-2, para ver si la uniformidad está dentro de los límites establecidos en la norma ASTM C 94. Los datos y cálculos de volúmenes y de pesos de ambas muestras aparecen en lista en la Tabla 19-3.

Los límites de uniformidad de ensayos diferentes a los mostrados en la Tabla 19-2 figuran en la Tabla 19-1 y en la norma ASTM C 94. El cálculo del ejemplo anterior ilustra el método para determinar la uniformidad por medio de las fórmulas dadas. En la Referencia 8 se presenta un método tabular conveniente, similar al de la Tabla 19-3, pero que contiene más información.

PESO UNITARIO DEL HORMIGON ESTRUCTURAL DE PESO LIVIANO

La densidad del hormigón de peso liviano a la edad de 28 días, para control de diseño, se determina por el método C 567 de la ASTM. El peso unitario del hormigón recién mezclado se determina de acuerdo con la norma ASTM C 138, excepto que para consolidar el hormigón en el recipiente se permite tanto vibración externa como interna y apisonamiento con varilla. En el caso de hormigones con un contenido muy bajo de agua, se describe, en la norma ASTM C 192, un método de consolidación por vibración externa y aplicación de fuerza adicional sobre la superficie de cada capa de hormigón.

El peso unitario del material seco al aire se determina, generalmente, de la siguiente manera, utilizando cilindros de 15 × 30 cm, hechos de acuerdo con la norma ASTM C 31, que prescribe:

(a) Cubrir y curar los cilindros, después de vaciados, a una temperatura entre 16 y 27°C (60 a 80°F), en condición de sellamiento o de envolvimiento, durante 7 días.

(b) Al séptimo día, sacar los cilindros de los moldes o de la cubierta plástica y secarlos durante 21 días en condiciones de humedad relativa de 50 ± 5 por ciento y temperatura de 23.0 ± 1.1°C (73.4 ± 2°F).

(c) Pesar los cilindros a la edad de 28 días tal como quedaron; luego, sumergirlos en agua durante 24 horas; determinar el peso sumergido y el peso saturado y seco superficialmente, pesando los cilindros empapados en agua y en aire.

(d) Calcular el peso por metro cúbico de hormigón seco, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{peso/m}^3 = \frac{1000A}{B - C}$$

en donde:

- A = peso del cilindro de hormigón en estado seco, a los 28 días, en kg
 B = peso del cilindro en estado saturado y seco superficialmente, en kg
 C = peso sumergido del cilindro, en kg

TABLA 19-3 — EJEMPLO DE CALCULO DEL PESO UNITARIO DE MORTERO LIBRE DE AIRE

Datos	Muestra tomada del frente de la hormigonera o de la primera porción descargada de la mezcla		Muestra tomada de la parte posterior de la hormigonera o de la última porción descargada de la mezcla.	
	Peso kg	Volumen litros	Peso kg	Volumen litros
Peso y volumen de la muestra en el medidor de aire	15.88	7.079	15.95	7.079
Contenido de aire determinado con el medidor	—	(5.00 por ciento)	—	(4.75 por ciento)
Volumen de aire	—	0.354	—	0.336
Peso y volumen libre de aire de la muestra	15.88	6.725	15.95	6.743
Peso sumergido de la muestra retenida en el tamiz No. 4	5.44	—	5.22	—
Peso calculado SSS y volumen de partículas del material mayor que el tamiz No. 4	8.74	3.298	8.38	3.162
Peso y volumen que representan al mortero de la muestra	7.14	3.427	7.57	3.581
Peso unitario calculado del mortero libre de aire, kg/m ³	2083	—	2114	—

PRUEBAS DE ESTRUCTURAS TERMINADAS

Núcleos de hormigón endurecido

Algunas veces se determina la resistencia a compresión del hormigón, mediante núcleos extraídos de una estructura. Esto se hace, por lo general, cuando no se conoce la resistencia a compresión de un hormigón dado, o son cuestionables los resultados de los ensayos de cilindros de hormigón. El ingeniero estructural deberá ser quien especifique dónde hay que tomar los núcleos y cuántos de ellos, según requisito de la norma ACI 318-77^b que está cubierto por la norma ASTM C 42. Los núcleos se obtienen por medio de un extractor propio para ese fin y normalmente se usan brocas con puntas de diamante. Se debe tener cuidado para no causar recalentamiento y evitar defectos obvios como son las bolsas de roca y las uniones.

Cuando se va a utilizar el núcleo para determinar la resistencia a compresión, se prefiere que su longitud sea tan cercana como resulte posible al doble del diámetro, y que éste a su vez sea por lo menos el triple del tamaño máximo del agregado en el hormigón. (Los núcleos con longitudes menores que el diámetro no se consideran estándar para el ensayo a compresión, pero pueden utilizarse con un factor de corrección como lo especifica la norma ASTM C 42). En caso necesario se cortan con sierra los extremos para producir una superficie pareja, y el núcleo irá pulido o refrentado, a fin de que sea posible un ensayo a compresión apropiado.

El contenido de humedad en el momento del ensayo afectará los resultados. Es común sumergir los núcleos en agua saturada de cal, por lo menos durante 40 horas inmediatamente antes del ensayo. Sin embargo, se pueden utilizar otras condiciones de humedad, a opción de la entidad para la cual se lleva a cabo el ensayo, si el hormigón ha de quedar sometido a otras condiciones de humedad durante el servicio.

Ensayo de carga

Si se ha decidido que se requiere una prueba de carga para determinar la integridad estructural de una losa o viga de hormigón reforzado cuestionable, el Código de Construcciones del ACI describe un método apto para el ensayo. Será necesario aislar de la estructura el miembro que va a ensayarse, y tomar las precauciones apropiadas de seguridad.

Ensayos no destructivos

Hay varios métodos disponibles para el ensayo no destructivo del hormigón en el sitio. Todos son valiosos en cuanto permiten obtener en forma económica y rápida un mayor conocimiento de la calidad del hormigón.

Entre los métodos están los sondeos con sonido ultrasónico, el martillo de impacto (suizo) y la probeta de penetración. Cada uno, si se utiliza en forma apropiada, permite determinar cualitativamente la extensión del hormigón que puede ser sospechoso en una estructura. Esta es su función más valiosa.

En ocasiones, es deseable que los datos obtenidos por estos métodos sean susceptibles de interpretarse en términos de resistencia a la compresión. Si se va a hacer tal interpretación, hay que tener *extremo cuidado* en calibrar las medidas para las condiciones reales encontradas en cada trabajo. Estas condiciones se relacionan con el nivel de resistencia del hormigón, el tipo de agregado, las condiciones de la superficie de hormigón y otros factores. Más aún, es necesario entender que la precisión de la correlación de resistencia puede no ser mejor que + 20 por ciento. Puesto que los sondeos con ultrasonido proporcionan una velocidad promedio del impulso a través de un espesor conocido de hormigón y dado que el martillo de impacto y la probeta de penetración dependen de las condiciones superficiales, es natural esperar que los sondeos con ultrasonido proporcionen un estimativo más consistente de la calidad del hormigón. Únicamente personal experimentado deberá operar el sonoscopio e interpretar sus resultados.

El ensayo de ultrasonido (ASTM C 597) permite medir la velocidad con la cual una onda de sonido, lanzada por el instrumento, se propaga a través del hormigón. Estos ensayos de la velocidad del impulso se pueden utilizar en estructuras para detectar deterioro progresivo, agrietamientos ocultos, hormigueros u otros defectos. También es aprovechable la velocidad del impulso para localizar hormigón con calidad considerablemente inferior a la especificada. Como resultado de muchos estudios sobre un amplio campo de estructuras, los investigadores¹⁵ han deducido la siguiente descripción cualitativa del hormigón, con base en las medidas de velocidad del impulso:

Velocidad del impulso	Calidad del hormigón
4600 m/s y más	Excelente
3700 a 4600 m/s	Buena
3000 a 3700 m/s	Cuestionable
2100 a 3000 m/s	Pobre
por debajo de 2100 m/s	Muy pobre

Cuando sea necesario interpretar las velocidades del impulso en términos de resistencias a la compresión, será preciso obtener por lo menos seis núcleos y preferiblemente más, del hormigón en cuestión. Estos núcleos deberán cubrir todo el intervalo de velocidades encontradas del impulso, y tomarse en sitios en que se haya medido realmente dicha velocidad. Después de una preparación adecuada, se ensayan los núcleos para determinar su resistencia a la compresión; es posible, entonces, establecer la correlación entre la velocidad del impulso y la resistencia. Probablemente tal correlación sea curvilínea y resulte necesario ignorar algunos puntos que aparentemente no se acomoden con la mayoría de los otros.

El ensayo del martillo de impacto (ASTM C 805) proporciona una determinación aproximada relativa de la resistencia. Al martillo de impacto se le llama algunas veces martillo *suizo*; es de acero, accionado por resorte, que al dispararse golpea la cabeza de un vástago también de acero que está en contacto con la superficie de hormigón. La distancia de rebote del martillo de acero, medida desde la cabeza, después del impacto, se registra en una escala lineal incorporada. El instrumento lleva consigo una gráfica que correlaciona el número de rebote con la resistencia a compresión. Conviene aceptar esta correlación precautelativamente, pues, en general, dista bastante de ser precisa. Se recomienda que las determinaciones hechas con este instrumento se usen exclusivamente con fines comparativos en hormigón de la misma composición, edad y contenido de humedad, y que se use buen criterio en su interpretación. Este es crítico, puesto que el rebote se ve afectado por muchos factores como por ejemplo: el contenido de humedad del hormigón, el tipo de acabado superficial, el tipo de agregado, la edad del hormigón (no se recomienda para hormigón de más de 90 días de edad), y la proximidad del acero de refuerzo al punto de contacto.

El ensayo con sonda de penetración (ASTM C 803) es un método registrado para la determinación no destructiva de la resistencia a compresión del

hormigón, en el campo. El instrumento se conoce comúnmente como *sonda de Windsor* y utiliza el principio de que la penetración de la sonda es inversamente proporcional a la resistencia a compresión del hormigón que se está ensayando. Generalmente, se introducen en el hormigón tres sondas, utilizando un artefacto accionado con pólvora que suministra una fuerza específica productora de energía.

La resistencia a compresión se determina por correlación entre ella y la energía cinética. Una tabla proporcionada por el fabricante relaciona aproximadamente la penetración de la sonda y la resistencia a compresión. Se necesita tener la clasificación de dureza Moh (ensayo de raspado) del agregado grueso, para poder usar la tabla, con ella se utiliza el promedio de tres valores de la sonda (altura expuesta de la sonda). Una investigación independiente ha demostrado que la correlación entre los ensayos de la sonda de Windsor y los de resistencia a compresión de núcleos de hormigón y de cilindros, puede variar significativamente.

TRANSPORTE Y MANIPULACION DE MUESTRAS

Al enviar las muestras a un laboratorio es preciso adjuntar información completa de tal manera que, con seguridad, quede fija o identificada con la muestra. La información debe incluir el proyecto, número de la muestra, identificación completa del material en cuanto a tipo y grado, fuente, fecha de muestreo, cantidad representada, sitio en que se va a usar en la estructura, ensayos requeridos e identificación de quien la envía. Las muestras han de empacarse adecuadamente para impedir su daño en tránsito.

Cuando los cilindros de hormigón se envían con un transportador común, es necesario empacarlos en arena húmeda u otro material apropiado, con suficiente cobertura que impida el secamiento o los daños causados por impacto. Los especímenes frescos, de un día o dos de edad, deben manejarse con cuidado porque es fácil que reciban serios daños o que se rompan. Hay que evitar durante el primer día el manejo de especímenes recién hechos.

Cuando los cilindros van a transportarse a distancias cortas, en vehículo, es preciso asegurarlos en una estantería o caja, de manera que no sufran daño por caídas o rebotes.

ENSAYO DE AGREGADOS

Conviene que el inspector de planta o de campo esté equipado para efectuar ensayos de rutina de agregados en un laboratorio de campo. Esto proporciona una medida adicional de control de calidad en la producción del hormigón.

La calidad del agregado se controlará en su punto de producción, utilizando un sistema apropiado de ensayos de control de calidad. Los siguientes ensayos son fáciles de realizar en el laboratorio de campo como

verificación de la calidad; se presentan en forma general, y en cuanto a los detalles exactos aparecen en el manual ASTM.

Tamizado o análisis de tamices de agregados finos y gruesos—ASTM C 136

(a) Tomar una muestra de los agregados de acuerdo con el método apropiado que aparece en la norma ASTM D 75.

(b) Separar la muestra por el método del cuarteo o utilizando un separador de muestras.

(c) Utilizar los pesos mínimos de la muestra de ensayo como lo requiere la Norma ASTM C 136.

(d) Secar las muestras hasta obtener peso constante.

(e) Pesar, con aproximación a 0.1 gramos, el agregado fino y al 0.1 por ciento, el agregado grueso.

(f) Colocar la muestra sobre el conjunto de tamices o mallas dispuestos en orden con el tamaño de las aperturas que van disminuyendo de la parte superior a la inferior.

(g) Sacudir los tamices durante un periodo suficiente hasta que no más del uno por ciento del peso del residuo en cualquiera uno de ellos, pase el tamiz durante un minuto de cribado a mano continuo.

(h) Pesar las cantidades retenidas en cada tamiz o criba y registrar el resultado en hojas de trabajos similares a las que aquí se muestran.

(i) Calcular el porcentaje, con base en el peso total de la muestra, incluyendo cualquier material más fino que el tamiz No. 200, determinado de acuerdo con la norma ASTM C 117.

(j) El módulo de finura puede calcularse añadiendo los porcentajes acumulados según el análisis de tamices, que hubieran quedado retenidos en los siguientes tamices y de dividirlos por 100: No. 100, 50, 30, 16, 8, 4, 9.5 mm, 19 mm, 38 mm y mayores, que aumenten en una relación de 2 a 1.

Muestreo de agregados—ASTM D 75

1. Tamaños mínimos de una muestra compuesta

Tamaño máximo nominal, mm	Tamaño, kg
No. 8	11
No. 4	11
9.5	11
13	16
19	25
25	50
38	75
51	100
64	125

2. Muestreo tomado de bandas transportadoras

(a) Tomar muestras seleccionadas al azar y asegurar un mínimo de tres de ellas tomadas al azar, con incrementos casi iguales, de todo el ancho de la banda de un transportador detenido.

(b) Colocar dos plantillas que tengan aproximadamente la forma de la banda, de tal manera que el material contenido entre ellas proporcione el peso requerido.

(c) Recoger todo el agregado comprendido entre las plantillas y mezclarlo con las otras muestras como se requiere en (a).

3. Muestreo de la descarga de silos o bandas transportadoras

(a) Asegurarse un mínimo de tres muestras, con incrementos aproximadamente iguales, seleccionadas al azar de la unidad que está siendo muestreada, y mezclarlas para formar la muestra de campo.

(b) Cada muestra deberá obtenerse de la sección transversal total del material, a medida que se va descargando.

(c) Deberá utilizarse un implemento consistente en una vasija apoyada en rieles o artefacto similar, capaz de interceptar todo el chorro de la descarga y de sostener el material sin que rebose.

4. Muestreo tomado de pilas de almacenamiento

(a) Se debe evitar, siempre que sea posible, el muestreo de pilas de almacenamiento.

(b) Para el muestreo de la cara de la pila se inserta en ésta un escudo de material rígido, a fin de que impida que el material se segregue a medida que avanza el muestreo.

(c) Para el muestreo de la parte superior de la pila, se remueve un mínimo de 30 cm de la cima. Las unidades de muestra se han de seleccionar al azar y mezclarse para formar la muestra de campo requerida.

Materiales más finos que el tamiz No. 200—ASTM C 117

(a) Prepárese una muestra húmeda mezclando la muestra y redúzcasela con un partididor de muestras o mediante cuarteo. La muestra mínima de ensayo, después del secamiento, hasta peso constante será:

Tamaño nominal del agregado	Peso mínimo, g
No. 8: 2.36 mm	100
No. 4: 4.75 mm	500
9.5 mm (3/8 pulg)	2000
19.0 mm (3/4 pulg)	2500
38.1 mm (1 1/2 pulg) o mayor	5000

(b) Colóquese la muestra en un recipiente de tamaño suficiente para que quede cubierta con agua y permita una agitación vigorosa, sin pérdidas.

(c) Agítese la muestra con suficiente vigor para que se produzca la separación completa de todas las partículas más finas que el tamiz No. 200, de las partículas gruesas, y para que las finas queden en suspensión.

(d) Inmediatamente viértase el agua de lavado que contiene los sólidos suspendidos sobre un juego de tamices que tenga el No. 16 en la parte superior y el No. 200 en la inferior.

(e) Añádase una segunda carga de agua al espécimen en el recipiente y repítase la agitación y decantación. Hágase esto una y otra vez hasta que el agua de lavado quede limpia.

(f) Devuélvase todo el material retenido en el juego de tamices, vertiéndolo en la muestra lavada.

(g) Séquese el agregado lavado hasta obtener peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) y péselese con aproximación al 0.1 por ciento del peso de la muestra de ensayo.

(h) Calcúlese la cantidad que pasa el tamiz No. 200, con aproximación al 0.1 por ciento, de la manera siguiente:

$$A = 100 (B - C)/B$$

donde:

A = porcentaje de material que pasa el tamiz No. 200, por lavado

B = peso original seco de la muestra, en g

C = peso seco de la muestra, después del lavado, en g

Terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los agregados—ASTM C 142

(a) El agregado para este ensayo consiste en el material que queda después de terminar la prueba para materiales que pasan el tamiz No. 200, por lavado.

(b) Séquese el agregado hasta obtener peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).

(c) Cribese el agregado seco para obtener la porción de agregado fino comprendida entre los tamices No. 16 y No. 4. Tómense muestras de prueba de dicha porción, que pesen por lo menos 100 gramos, cada una.

(d) Mediante tamizado, sepárese la porción de agregado grueso en muestras de ensayo de los siguientes tamaños:

Tamaño de la partícula	Peso mínimo de la muestra, en gramos
No. 4 a 9.5 mm	1000
9.5 a 19 mm	2000
19 a 38 mm	3000
Más de 38 mm	5000

(e) Pésese cada muestra de ensayo y extiéndase en capa delgada en la parte inferior del recipiente; cúbrase la muestra con agua y permítasele que se empape durante 24 ± 4 horas.

(f) Rómpace todo el material susceptible de quebrarse con los dedos, opriéndolo entre el pulgar y el índice. No se utilicen las uñas ni se presione contra una superficie dura. Después de quebrar todos los terrones de arcilla y partículas desmenuzables discernibles, sepárese el detrito del resto de la muestra mediante tamizado húmedo por los tamices indicados en la siguiente tabla:

Tamaño de la partícula que conforma la muestra	Tamaño del tamiz para remover el residuo de los terrones de arcilla y partículas desmenuzables
Agregado fino	No. 20
No. 4 a 9.5 mm	No. 8
9.5 a 19 mm	No. 4
19 a 38 mm	No. 4
más de 38 mm	No. 4

(g) Efectúese un tamizado húmedo pasando agua sobre la muestra a través del tamiz, agitándolo simultáneamente, hasta que se remueva todo el material de tamaño inferior.

(h) Tórnense las partículas retenidas en el tamiz y séqueselas a temperatura constante de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$); luego déjeselas enfriar y péseles con una precisión del 0.2 por ciento de la muestra original de ensayo.

(i) Calcúlese el porcentaje de terrones de arcilla y de partículas desmenuzables en los agregados finos o los tamaños individuales de los agregados grueso por medio de:

$$P = 100(W - R)/W$$

en donde:

- P = porcentaje de partículas de arcilla y de material desmenuzable
 W = peso de la muestra de ensayo, en g
 R = peso de las partículas retenidas en el tamiz designado, después del ensayo, en g

(j) En el caso de agregado grueso, el porcentaje de terrones de arcilla y de partículas desmenuzables es el promedio del porcentaje de partículas de arcilla y de material desmenuzable en cada fracción de tamaño, pesado de acuerdo con la gradación de la muestra original, antes de hacer su separación para el ensayo. Si el agregado contiene menos del 5 por ciento de cualquier tamaño especificado, deberá considerarse que este tamaño contiene el mismo porcentaje de terrones de arcilla y de partículas desmenuzables que el tamaño inmediatamente mayor o menor

Impurezas orgánicas en la arena—ASTM C 40

(a) Obténgase una muestra de ensayo representativa de la arena, que pese aproximadamente 450 gramos.

(b) Llénese el frasco graduado de 350 ml (12 onzas) con la muestra de arena hasta aproximadamente el nivel de los 130 ml (4 ½ oz).

(c) Agréguese una solución al 3 por ciento de hidróxido de sodio NaOH (lejía) hasta que el volumen de la solución de arena, después de agitarla, sea aproximadamente de 200 ml (7 oz).

(d) Tápese el frasco, agítese vigorosamente y déjeselo luego en reposo durante 24 horas.

(e) Al final de las 24 horas sosténgase la muestra de ensayo y una escala Gardner de color, o una solución coloreada de referencia, frente a una fuente de luz; compárese el color del líquido en la botella con las láminas de color de referencia de la escala Gardner e indíquese si el color del líquido es más claro, más oscuro o igual a una de las láminas de color de referencia de dicha escala.

(f) Si el color del líquido en el frasco de ensayo es más oscuro que el de la lámina No. 3 en la escala Gardner de color, se considera que la arena ensayada puede tener compuestos orgánicos perjudiciales y que es necesario hacer ensayos adicionales.

Peso específico y absorción del agregado grueso—Norma ASTM C 127

(a) Selecciónense aproximadamente 5 kg de agregado, tomándolos de la muestra mediante partición o cuarteo. Remuévase todo el material que pasa el tamiz No. 4.

(b) Lávese muy bien la muestra de ensayo y séquesela hasta obtener peso constante a una temperatura entre 100 y 110°C (212 y 230°F). Enfríesela al aire a temperatura ambiente y luego sumérjasela en agua a esta temperatura, durante 24 ± 4 horas.

(c) Sáquese la muestra del agua y ruédesela sobre una toalla absorbente grande, hasta que desaparezcan todas las películas visibles de agua. Pésele la muestra en esta condición saturada y seca superficialmente con aproximación a los 0.5 gramos.

(d) Inmediatamente después del pesaje, colóquese el material saturado y seco superficialmente en un recipiente de muestras (canastilla de alambre de malla No. 6 o más fina, con capacidad aproximada de 4000 a 7000 cm³) y pésele en agua a $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$). Es necesario suspender el recipiente en agua, sacudirlo para remover el aire atrapado, y soportarlo mediante un alambre delgado.

(e) Séquese al horno la muestra hasta obtener peso constante, a una temperatura entre 100 y 110°C (212 a 230°F), enfríesela a temperatura ambiente durante una a tres horas, y pésele.

(f) Calcúlese el peso específico suelto del material saturado y seco superficialmente como sigue:

$$\text{Peso específico suelto (SSS)} = B/(B - C)$$

en donde:

B = peso en el aire del espécimen SSS, en g
 C = peso en el agua del espécimen SSS, en g

(g) Calcúlese el porcentaje de absorción así:

$$\text{Porcentaje de absorción} = 100 (B - A)/A$$

en donde A = peso en el aire del espécimen secado al horno, en g

Peso específico y absorción del agregado fino—Norma ASTM C 128

(a) Selecciónense, mediante cuarteo o el uso de un partidor de muestras, aproximadamente 1000 gramos de agregado fino de la muestra.

(b) Séquese la muestra en un recipiente apropiado hasta obtener peso constante a una temperatura entre 100 y 110°C (212 a 230°F).

(c) Permitase que se enfríe la muestra, cúbrase la con agua y déjesela quiete durante 24 ± 4 horas.

(d) Decántese el agua de exceso. Extiéndase luego la muestra sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire caliente para asegurar su secamiento uniforme. Continúese hasta que quede en condición de flujo libre.

(e) Para verificar la sequedad, colóquese una porción de la muestra en un molde cónico sostenido firmemente sobre una superficie lisa, no absorbente, con el diámetro mayor hacia abajo. Golpéese ligeramente la superficie del agregado, 25 veces, con un apisonador metálico que pese 340 ± 15 g (12 ± ½ oz) y que tenga para apisonar una cara plana circular de aproximadamente 25 mm de diámetro (1 pulg); luego levántese el molde verticalmente.

Si todavía existe humedad superficial, el agregado fino retendrá la forma del molde. Continúese secándolo mientras se le revuelve, y repítase el ensayo a intervalos frecuentes hasta que el agregado fino apisonado se derrumbe ligeramente al quitar el molde. Esto indica que ha alcanzado la condición saturada, seca en la superficie.

(f) Inmediatamente, introdúzcanse 500.0g del agregado fino SSS en el picnómetro (de matraz) y llénese éste de agua hasta aproximadamente 90 por ciento de su capacidad. Gírese, inviértase y agítase el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire; añádase luego agua hasta llevar el nivel de la misma a la capacidad calibrada. Manténgase la temperatura en 23 ± 1.7°C (73.4 ± 3°F). Determinése el peso total del picnómetro, con el espécimen y el agua, aproximando a 0.1g.

(g) Sáquese del picnómetro el agregado fino: séquese hasta obtener peso constante a una temperatura entre 100 y 110°C (212 a 230°F), enfríese en aire a temperatura ambiente entre ½ y 1 ½ horas, y pésele.

(h) Pésele el picnómetro lleno hasta su capacidad de calibración con agua a temperatura de 23 ± 1.7°C (73.4 ± 3°F).

(i) Calcúlese el peso específico del agregado:

$$\begin{aligned} \text{Peso específico suelto SSS} &= 500/(B + 500 - C) \\ \text{Peso específico suelto seco} &= A/(B + 500 - C) \end{aligned}$$

en donde:

A = peso de la muestra seca, obtenido en el paso (g)
 B = peso del picnómetro lleno de agua, en g
 C = peso del picnómetro con la muestra y el agua, en g

(j) Determinése la absorción de humedad del agregado fino pésele inmediatamente 500.0g del agregado fino SSS y séqueselos hasta obtener peso constante, a una temperatura entre 100 y 110°C (212 a 230°F). Permitase que enfríe y pésele con aproximación a los 0.1g. Calcúlese el porcentaje de absorción de la manera siguiente:

$$\text{Porcentaje de absorción} = 100 (500 - A)/A$$

en donde A = peso en el aire de la muestra secada al horno, en g .

Determinación del contenido total de humedad del agregado por secamiento—ASTM C 566

(a) Selecciónense una muestra representativa del agregado partiéndolo, o por cuarteo, de no menos de los siguientes pesos:

Tamaño nominal del agregado	Peso mínimo de la muestra de ensayo, en kg
6 mm	0.5
9.5 mm	1.5
13 mm	2
19.5 mm	3
25 mm	4
38 mm	6
50 mm	8

(b) Pésele la muestra húmeda con aproximación al 0.1 por ciento.

(c) Séquese muy bien la muestra hasta obtener peso constante. Si se utiliza un horno ventilado la temperatura debe ser 110 ± 5°C (230 ± 9°F). Si se usa una estufa o una lámpara calorífica, hay que revolver la muestra frecuentemente para evitar el sobrecalentamiento de una porción en particular.

(d) Permitase que la muestra seca se enfríe y pésele con aproximación al 0.1 por ciento.

(e) Calcúlese el contenido total de humedad como sigue:

$$P = 100(W - D)/D$$

en donde:

P = contenido total de humedad de la muestra, porcentaje

W = peso de la muestra húmeda original, en g

D = peso de la muestra seca, en g

(f) La humedad superficial (agua libre) es la diferencia entre el contenido total de humedad y la absorción conocida del agregado.

CAPITULO 20 — REGISTROS E INFORMES

Las especificaciones del proyecto, los códigos y las entidades reguladoras exigen registros e informes escritos de las inspecciones y de las pruebas. Las especificaciones del proyecto deberán considerar las necesidades del mismo y los requisitos reglamentarios, al definir qué informes y registros es preciso desarrollar. Muchos informes deben conservarse durante toda la vida del proyecto y, por consiguiente, ser legibles, completos y confiables. Proporcionan un registro de las condiciones durante la construcción, incluyendo la verificación de ésta, efectuada de acuerdo con las especificaciones del proyecto, e incluyen cualquier incumplimiento y acción correctora que se haya tomado. Muchas veces se utilizan para resolver disputas y como base para futuras modificaciones de la estructura. Cuando está involucrada la seguridad pública, resulta necesario aplicar atención especial a que los documentos en referencia incluyan todos los atributos requeridos, con el fin de cumplir los requisitos de las autoridades jurisdiccionales y de los códigos.

Los registros e informes mencionados en este capítulo son ilustrativos de los que podrían usarse en caso de que estén prescritos por las condiciones y especificaciones del proyecto. Se muestran, también, ocho formularios modelos al final del capítulo. Obviamente, las necesidades detalladas de la inspección (y, por consiguiente, los registros e informes para verificarla) están afectadas por muchos factores. Algunos de estos factores, pero no los únicos, son requisitos legales de la jurisdicción en la localidad de la obra, requisitos del contrato, tamaño del proyecto, localización del mismo, estado crítico del hormigón que se está vaciando y su cantidad, etc. Por consiguiente, hay que tener los formularios y listas de verificación de este capítulo, simplemente como sugerencias y no de carácter obligatorio. Todos ellos se han encontrado útiles en algunos proyectos, pero, ciertamente, no en todos. La parte responsable de determinar el programa de inspección, generalmente, el ingeniero de diseño, juzgará sobre la utilidad de estas listas y cuadros, y tendrá que determinar cuáles usar y cómo usarlos, tanto para cumplir los requisitos legales apropiados como las necesidades de su cliente. De la misma manera que prepara su diseño y especificaciones para acomodarse a las necesidades de cada proyecto particular, tendrá que determinar los requisitos de inspección de éste y los registros e informes requeridos para su verificación. La discusión, listas de verificación y formularios de informes que siguen le ayudarán en el particular; en cuanto a los segundos, no pueden ni deben ser usados ciegamente en cada proyecto, más bien habrá que adaptar los que sean útiles a las necesidades legales y prácticas que gobiernan el proyecto individual. (Figs. 20-1 a 20-8).

GRAFICAS DE CONTROL DE CALIDAD

Algunos registros e informes se utilizan para controlar la construcción y asegurar que se actúe a tiempo en la adopción de pasos correctivos para evitar que la calidad quede por debajo de la estándar. Los registros típicos de ese carácter se incluyen en la publicación "Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete" (ACI 214)¹¹. Véase la gráfica de control de calidad de la Referencia 13 y refiérase al Capítulo 2 de este manual. Se dibujan los datos de resistencia a edad temprana para proporcionar una representación gráfica de las tendencias de calidad. Estas gráficas se utilizan también para establecer si se ha logrado el criterio especificado de resistencia o para indicar cuándo se requiere acción correctora.

INSPECCION DE LA PLANTA DE DOSIFICACION Y DE AMASADO

La inspección de la dosificación y amasado del hormigón incluye la documentación de las pruebas requeridas y la verificación de que se hayan usado los materiales apropiados, mediante la dosificación en las proporciones previstas y la realización de un amasado apropiado. Antes de dosificar para producción, es preciso verificar que la planta correspondiente cumpla con los estándares especificados. La verificación se basa en un certificado de cumplimiento expedido por la National Ready Mixed Concrete Association¹⁶ o en un informe de inspección de la planta que contenga los resultados de las calibraciones, ensayos de uniformidad y condiciones de la planta. Todo informe sobre las pruebas de uniformidad de las mezclas tiene que basarse en dosificaciones de la mezcla y en el empleo de materiales similares a los utilizados en el proyecto. La comprobación del tiempo apropiado de amasado para las hormigoneras centrales o de las revoluciones para las hormigoneras de camión deberá ser objeto de verificación y registro, lo mismo que la capacidad y comportamiento de la planta para cumplir con los límites especificados en el pesaje de cada material.

Informe de la inspección preliminar a la dosificación

Se aconseja que el informe de la inspección preliminar a la dosificación incluya las siguientes verificaciones:

(a) De que las básculas hayan sido calibradas contra pesas de prueba con anterioridad a la fecha de vencimiento. La evidencia de la precisión obtenida en el pesaje de prueba y el certificado de aprobación de las básculas deben exhibirse donde queden fácilmente visibles y ser objeto de examen; es preciso incluir las fechas efectivas de calibración y recalibración.

(b) De que los elementos medidores de agua y los dispensadores de aditivos hayan sido calibrados adecuadamente y de que la fecha de la próxima calibración no esté vencida.

(c) De que las probetas de compensación de humedad hayan sido calibradas para las determinaciones de humedad de la arena, efectuadas por un método de prueba aplicable.

Registros de Inspección de la producción de hormigón

Algunos de los siguientes ítems de verificación se cubren durante las operaciones de cada día y otros pueden serlo con frecuencias diferentes, dependiendo de las condiciones y especificaciones. El informe de inspección de la planta de dosificación y de la planta de amasado central deberá comprobar y documentar:

(a) Que el almacenamiento del cemento y de los agregados esté de acuerdo con las especificaciones y las normas aplicables.

(b) Que haya disponibles suficientes cantidades para cada vaciado específico.

(c) Que el despacho para cada vaciado y con la mezcla apropiada, se efectúe como lo exijan los procedimientos del proyecto. Esto puede verificarse al completar la tarjeta de vaciado del hormigón (Véase la Fig. 20-2) que se discutirá posteriormente en este capítulo.

(d) Que el implemento automático compensador de humedad esté puesto para el agua libre en el agregado fino. Este paso exige que se indiquen tiempo, cantidad y correlación con el resultado real del ensayo.

(e) La compensación de humedad para el agregado grueso, con indicación como en (d) de tiempo, cantidad, y correlación con los resultados reales del ensayo.

(f) El registro de las temperaturas de los materiales, para comprobar el cumplimiento con las especificaciones.

(g) Que se verifique el uso de la tarjeta de dosificación apropiada, incluyendo el tiempo de amasado aprobado por los ensayos de uniformidad, si éstos son aplicables.

(h) Que se verifiquen las proporciones en las básculas y se correlacionen con las registradas, en caso que éstas sean aplicables.

(i) Que se verifique el agua total usada y se la compare con la admisible para mantener la relación agua-cemento requerida de la mezcla.

El informe-resumen diario de la inspección de la planta de hormigón deberá incluir, por lo menos, la siguiente información:

(a) Fecha.

(b) Volumen total producido de cada clase de hormigón.

(c) Identificación del sitio de vaciado.

(d) Marca y tipo de cemento y fecha en las cuales se recibieron y usaron los embarques.

(e) Contenidos de humedad de los agregados.

(f) Temperaturas de los materiales.

(g) Tiempos de amasado para la hormigonera central.

Informe de las hormigoneras de camión

Cuando para amasar se utilicen camiones de hormigón premezclado, es necesario que los informes incluyan los siguientes resultados de la inspección y su comparación con los límites especificados:

- (a) Revoluciones de amasado y de agitación.
- (b) Tiempo en que se completó la entrega del hormigón, una vez hecha la dosificación, comparado con los límites prescritos.
- (c) Agua total, incluyendo la añadida, para demostrar el cumplimiento con el requisito de la relación agua-cemento.

VACIADO DEL HORMIGON

Para ayudar a evaluar la calidad, es preciso que el informe del vaciado del hormigón incluya los siguientes datos, obtenidos en los momentos especificados:

- (a) Contenido de aire (anotando el límite de la especificación y el método de ensayo).
- (b) Temperatura del hormigón fresco.
- (c) Asentamiento (anotando el límite de la especificación y el método de ensayo).
- (d) Identificación y localización de los cilindros de ensayo, con inclusión de, el número del camión, número de carga, y hora de toma de la muestra.
- (e) Fecha.
- (f) Localización del vaciado (porción de la estructura) y número de éste, si es aplicable.
- (g) Proyecto y estructura.
- (h) Condiciones del clima, incluyendo temperaturas ambiente.
- (i) Horas de comienzo y fin del vaciado.
- (j) Cantidad total de hormigón colocado.
- (k) Hormigón rechazado y causa del rechazo.
- (l) Firma del inspector.
- (m) Clase de hormigón.
- (n) Métodos de vaciado y compactación.
- (o) Métodos de curado y protección.
- (p) Agua añadida en el sitio.
- (q) Tiempo transcurrido.
- (r) Condición del encofrado y del refuerzo.

Tarjetas de vaciado de hormigón

Algunos proyectos grandes de construcción utilizan un sistema de tarjetas de vaciado del hormigón, para controlar todas las condiciones anteriores al mismo, como el formulario modelo que aparece en este capítulo. Esta tarjeta contiene la identificación de cada actividad que debe completarse con anterioridad al vaciado del hormigón. El supervisor responsable de cada una de estas actividades debe firmar y fechar la actividad respectiva cuando se ha-

yan completado todos los requisitos de los planos y especificaciones para ese vaciado específico. Estas actividades incluyen: subrasante, juntas de construcción, formaletas, acero de refuerzo y elementos embebidos, conductos eléctricos y elementos embebidos, tubería y sus elementos embebidos, y embebidos estructurales. Usualmente, el ingeniero responsable o el supervisor general verifican todas las comprobaciones y autorizan el vaciado del hormigón.

Tiquete de entrega del hormigón

Generalmente, se requiere que el productor del hormigón deje un tiquete de entrega con cada carga de hormigón. Este tiquete sirve como certificado de las dosificaciones y cantidades entregadas y deberá incluir como mínimo la siguiente información:

- (a) Nombre de la planta dosificadora de hormigón premezclado.
- (b) Número de serie del tiquete.
- (c) Fecha y número del camión.
- (d) Nombre del contratista.
- (e) Designación específica del trabajo (nombre y localización).
- (f) Clase específica o designación del hormigón, de acuerdo con lo requerido por las especificaciones del trabajo.
- (g) Cantidad de hormigón entregado (en metros cúbicos).
- (h) Hora en que se cargó la hormigonera o del primer amasado de cemento y agregados.
- (i) Hora de llegada al sitio.
- (j) Hora en que se comenzó la descarga.
- (k) Hora en que se completó la entrega.
- (l) Cantidad de agua añadida por quien recibe el hormigón e iniciales de este empleado.
- (m) Tipo, nombre y cantidad de aditivos.

También puede incluirse en el tiquete de entrega la siguiente información adicional:

- (a) Lectura del contador de revoluciones en el momento de la primera adición de agua.
- (b) Firma del representante de la planta de hormigón premezclado.
- (c) Tipo y marca del cemento.
- (d) Cantidad del cemento.
- (e) Contenido total de agua suministrado por el productor.
- (f) Tamaño máximo del agregado.
- (g) Peso de los agregados fino y grueso.
- (h) Agua libre del agregado.
- (i) Indicación de que todos los materiales son de la clase aprobada o certificada previamente.

El tiquete de entrega puede complementarse con cualquier información adicional que exijan las especificaciones del proyecto; por ejemplo, con una

ITEMS DE INSPECCION	SEÑALE LA CALIFICACION APLICABLE				
	EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA	VEANSE LAS NOTAS
Instalaciones para almacenamiento de gómitas					
Condición de los silos de cemento					
Condición de las pilas de agregado					
Condición de los camiones de entrega					
Confiablez de los fletes					
Previsiones para clima frío o calido					
Funcionamiento general de la planta					
Manejo de la planta					

HORA (Vea la nota 1)	NUMERO DEL TIOESTE DE ENTREGA (Vea la nota 2)	TEMP DEL AIRE (°C)	TEMP DEL AGUA (°C)	TEMP DEL HORMIGON (°C)	NIVEL DE HUM DEL TIOESTE FINO (%)	NIVEL DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUPO (%)				AGUA ADMISI BLE <input type="checkbox"/> Kg <input type="checkbox"/> lit (Vea la nota 3)
						No 4	No 67	No 57	No A	
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										

NOTAS

1. Hora en que se toma la muestra para el ensayo de contenido de humedad
2. Número del primer flete de entrega que utiliza información proveniente del ensayo de contenido de humedad
3. El agua total admisible, según la tabla, menos el hielo añadido de el "agua admisible"

Fig. 20-1 (continuación)—Modelo de Informe de Inspección de una planta de dosificación.

TARJETA DE VACIADO
HORMIGON
REGISTRO DE VERIFICACION DE PREVACIADO

FECHA PROGRAMADA _____
DE VACIADO _____

RELACIONADO CON LA SEGURIDAD SI NO

VACIADO No _____	FECHA DE VACIADO _____
CONTRATISTA _____	CONTRATO No _____
LOCALIZACION _____	
ELEVACION _____ A _____	ACABADO _____
CLASE DE HORMIGON _____	
PLANOS DE REFERENCIA _____	

ITEM	FIRMAS DE LA CUADRILLA	FECHA	RCS	
			CDC	FECHA
PREPARACION DE LA BASE				
ACERO DE REFUERZO				
EMBEBIDOS ESTRUCTURALES				
TUBERIAS				
SISTEMAS				
EMBEBIDOS				
INSTALACIONES ELECTRICAS				
CONEXIONES A TIERRA				
TUBERIA "CONDUIT"				
EMBEBIDOS				
CARPINTERIA				
ENCOFRADOS				
EMBEBIDOS				
TAPONES DE DRENAJE				
OTROS				
ALINEACION Y PENDIENTE				

AUTORIZACION FINAL	
ADMINISTRADOR DEL CONTRATO	
ACDC (Relacionado con la seguridad)	

REGISTRO DE VACIADO DEL HORMIGON (Vea el reverso)

Fig. 20-2—Modelo de tarjeta de control del vaciado de hormigón.

REGISTRO DE VACIADO DE HORMIGON

El vaciado del hormigón comenzó a las _____ horas El vaciado de hormigón terminó a las _____ horas
 El hormigón se vació y compactó de acuerdo con las especificaciones.

Comentarios: _____

Capataz del contratista _____

INSTRUCCIONES: En el espacio de "Comentarios" indique las condiciones raras y las dificultades encontradas, que afecten el vaciado y protección del hormigón. Señale también cualquier instrucción especial para el contratista y la acción tomada

Fig. 20-2 (continuación)—Modelo de trabajo de control del vaciado de hormigón.

ENSAYOS DEL CEMENTO										
Marca				Procesancia						
No de R del relacionado			No de Lab			Fecha				
ENSAYOS FISICOS										
Muestra No	Sensid. Esperada en este tipo %	Vicat Tiempo de fraguado		Resistencia a la compresion (Prom de 3 probetas - kg/cm ²)			Contenido de aire en vol	Superficie especifica Blaine cm ² /g		
		Inicial Hrs - Min	Final Hrs - Min	3 Dias	7 dias	28 Dias				
Req espec	0 80 Max.	45 Min Min	8 Hrs Max	1500 Min	2500 Min	3500 Min	12 0 Max	2800 Min		
ANALISIS QUIMICO										
Muestra No	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Pérdida por ign	Res ined	C ₃ S	C ₂ S	
Req espec	21 0 Min	8 0 Max	6 0 Max.	5 0 Max	5 0 Max	3 0 Max	0 75 Max			8 0 Max.
OBSERVACIONES										
El material si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Cumple con las especificaciones Técnico C de C de S _____ Revisor C de C de S _____ Fecha _____										

Fig. 20-3—Modelo de formulario para los ensayos de cemento.

INFORME DE LOS ENSAYOS DE AGREGADOS PARA HORMIGON												
No del R de l relacionado			Informe No				Fecha					
FUENTE DE A Q MUESTREO DE A Q Fecha Hora Localización						FUENTE DE A F MUESTREO DE A F Fecha Hora Localización						
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO % QUE PASA ASTM C 136												
TAMIZ	75 mm (3")	150 mm (6")	300 mm (12")	600 mm (24")	125 mm (5")	No 4	No 8	No 16	No 30	No 60	No 100	M D P
Agr fino												
Espec					100	95-100	80-100	60-85	35-60	10-30	2-10	2-5-1
A Q No 6					100	85-100	70-90	50-75				
Espec					100	90-100	75-95	55-80				
A Q No 67												
Espec			100	90-100	70-95	50-75	30-55	15-30	5-15			
A Q No 77												
Espec		100	95-100	75-90	55-70	35-50	15-30	5-15				
A Q No 4												
Espec	100	90-100	70-95	50-75	30-55	15-30	5-15					
OBSERVACIONES: Aceptado/Rechazado												
SUBSTANCIAS DANINAS EN LOS AGREGADOS - MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ 200-ASTM C117												
TAMANO DEL AGREGADO	AGREGADO FINO	No 8	No 16	No 30	No 60							
% PASA No 200												
Espec	50% Max	10% Max	10% Max	10% Max	10% Max							
OBSERVACIONES: Aceptado/Rechazado												
* Se considera aceptable un máximo de 1.5% si el material que pasa el tamiz No 200 corresponde esencialmente a polvo de trituration												
OBSERVACIONES												

Supervisor C de C de S

Fig. 20-4—Modelo de Informe sobre ensayos de agregados para hormigón.

INFORME SEMANAL DE LOS ENSAYOS DE AGREGADOS PARA HORMIGON					
Correspondiente al semana del _____ de _____					
FUENTE DE A F Fecha de la muestra Localización			IMPUREZAS ORGANICAS - ASTM C-40 Valor de ensayo ESPEC Estándar No 3 o menos * Es aceptable un resultado mayor que el estándar No 3 si el desmenuamiento se debe principalmente a pequeñas cantidades de carbon y lignito		
Los resultados (SON) (NO SON) aceptables					
INFORME MENSUAL DE LOS ENSAYOS DE AGREGADOS PARA HORMIGON					
Correspondiente al mes de _____					
FUENTE DE A B Fecha de la muestra Localización			FUENTE DE A F Fecha de la muestra Localización		
TERRONES DE ARCILLA EN LOS AGREGADOS-ASTM C142 (PARTICULAS DESMENUZABLES)					
TAMANO DEL AGREGADO	AGREGADO FINO	No 8	No 16	No 30	No 60
% DESMENUZABLE					
Espec	50% Max	50% Max	50% Max	50% Max	50% Max
OBSERVACIONES: Aceptado/Rechazado					
PARTICULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS-ASTM C123					
TAMANO DEL AGREGADO	AGREGADO FINO	No 8	No 16	No 30	No 60
% PARTIC LIV					
Espec	0.9% Max	0.9% Max	0.9% Max	0.9% Max	0.9% Max
OBSERVACIONES: Aceptado/Rechazado					
PARTICULAS BLANDAS EN LOS AGREGADOS ASTM C 235					
TAMANO DEL AGREGADO	No 8	No 16	No 30	No 60	
% PART BLANDAS					
Espec	50% Max	40% Max	50% Max	50% Max	
OBSERVACIONES: Aceptado/Rechazado					
OBSERVACIONES					

Fig. 20-4 (continuación)—Modelo de Informe sobre ensayos de agregados para hormigón.

20. Comité 212 del ACI, "Guide for Use of Admixtures in Concrete", (ACI 212.2R-71), American Concrete Institute, Detroit, 1971, 31 pp.
21. Comité 212 del ACI, "Admixtures for Concrete", (ACI 212 1R-63), American Concrete Institute, Detroit, 1963, 33 pp.
22. *Manual of Standard Practice*, 23a edición, Concrete Reinforcing Steel Institute, Chicago, 1980, 65 pp.
23. Comité 504 del ACI, "Guide to Joint Sealants for Concrete Structures", (ACI 504R-77), American Concrete Institute, Detroit, 1977, 57 pp.
24. Comité 304 del ACI, "Recommended Practice for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete (ACI 304-73)", (Reaffirmed 1978), American Concrete Institute, Detroit, 1973, 40 pp.
25. Waddell, Joseph J., *Concrete Construction Handbook*, 2a. edición, McGraw-Hill Book Company, New York, 1974, 978 pp.
26. Blanks, Robert F., y Kennedy, Henry L., *The Technology of Cement and Concrete*, John Wiley and Sons, Nueva York, 1955, 422 pp.
27. "Standard Practice for Concrete", *Manual* No. 1110 2-2000, U. S. Army Corps of Engineers, Washington, D. C., Noviembre 1971 (con cambios 1-5, Abril 1980).
28. Troxell, George F., y Davis, Hamner F., *Composition and Properties of Concrete*, 2a. edición, McGraw Hill Book Company, Nueva York, 1968, 529 pp.
29. Neville, Adam M., *Properties of Concrete*, 2a. edición, John Wiley and Sons, Nueva York, 1973, 686 pp.
30. Bogue, Robert H., *The Chemistry of Portland Cement*, 2a. edición, Reinhold Publishing Corporation, Nueva York, 1955, 793 pp.
31. Lea, F. M., *The Chemistry of Cement and Concrete*, 3a. edición, Chemical Publishing Company, Nueva York, 1973, 727 pp.
32. Powers, J.C., "A Discussion of Cement Hydration in Relation to the Curing of Concrete", *Proceedings*, Highway Research Board, V. 27, 1947, pp 178-188. También, *Research Department Bulletin* No. 25, Portland Cement Association.
33. Klieger, Paul, "Effect of Mixing and Curing Temperature on Concrete Strength", *ACI JOURNAL*, *Proceedings* V. 54, No. 12, Junio 1958, pp 1063-1081.
34. Woods, Hubert, *Durability of Concrete Construction*, ACI Monograph No. 4, American Concrete Institute/Iowa State University Press, Detroit, 1968, 187 pp.
35. Comité 201 del ACI, "Guide to Durable Concrete", (ACI 201.2R-77), American Concrete Institute, Detroit, 1977, 37 pp.
36. Comité 211 del ACI "Recommended Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-80)", American Concrete Institute, Detroit, 1980, 18 pp.
37. Comité 211 del ACI, "Recommended Practice for Selecting Proportions for No-Slump Concrete (ACI 211 3-75) (Revised 1980)", American Concrete Institute, Detroit, 1980, 18 pp.
38. Comité 201 del ACI, "Durability of Concrete in Service", *ACI JOURNAL*, *Proceedings* V. 59, No. 12, Diciembre 1962, pp. 1771-1820.
39. Powers, T.C., y Helmuth, R.A., "Theory of Volume Changes in Hardened Portland Cement Paste During Freezing", *Proceedings*, Highway Research Board, V. 32, 1953, pp 285-297. También, *Research Department Bulletin* No. 46, Portland Cement Association.
40. Comité 301 del ACI, "Specifications for Structural Concrete for Buildings (ACI 301-72) (Revised 1981)", American Concrete Institute, Detroit, 1981, 36 pp.
41. "Specifications, Tolerances and Other Technical Requirements for Commercial Weighing and Measuring Devices", 4a. edición, *Handbook* No. 44, National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1971, (más hoja de reemplazo, 1972).

42. "Concrete Plant Mixer Standards of the Plant Mixer Manufacturers División, Concrete Plant Manufacturers Bureau", 5a. revisión, Concrete Plant Manufacturers Bureau, Silver Spring, 1977, 4 pp.
43. "Air Entrained Concrete", *Concrete Information Sheet* No. IS04T, Portland Cement Association, Skokie, 1967, 8 pp.
44. "Test Method for Concrete Mixer Performance", (CRD-C55-78), *Handbook for Concrete and Cement*, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, 1978, 6 pp.
45. "Truck Mixer and Agitator Standards of the Truck Mixer Manufacturers Bureau", 9a. revisión, Truck Mixer Manufacturers Bureau, Silver Spring, 1971, (impresión de 1976), 6 pp.
46. Hurd, M.K., *Formwork for Concrete*, 4a. edición, SP-4, American Concrete Institute, Detroit, 1979, 464 pp.
47. Comité 345 del ACI, "Recommended Practice for Concrete Highway Bridge Deck Construction (ACI 345-74)", American Concrete Institute, Detroit, 1974, 35 pp.
48. Comité 315 del ACI, *ACI Detailing Manual-1980*, SP-66, American Concrete Institute, Detroit, 1980, 206 pp.
49. "Recommended Practices for Welding Reinforcing Steel, Metal Inserts and Connections in Reinforced Concrete Construction", (AWS D1.4-79), American Welding Society, Nueva York, 1979, 37 pp.
50. Comité 306 del ACI "Permissible Openings in Construction", *ACI JOURNAL*, *Proceedings*, V. 26, No. 1, Noviembre 1929, pp. 24-28.
51. Comité 309 del ACI, "Recommended Practice for Consolidation of Concrete (ACI 309-72) (Reaffirmed 1978)", American Concrete Institute, Detroit, 1972, 40 pp.
52. "Vibration for Quality Concrete", *Publication* N°T-3, Portland Cement Association, Skokie, 1949, 32 pp.
53. Comité 302 del ACI, "Guide for Concrete Floor and Slab Construction", (ACI 302.1R-80), American Concrete Institute, Detroit, 1980, 46 pp.
54. Comité 303 del ACI, "Guide to Cast-in-Place Architectural Concrete Practice", (ACI 303R-74), American Concrete Institute, Detroit, 1974, 30 pp.
55. "Exploring Color and Texture", *Publication* No. PA020A, Portland Cement Association, Skokie, 1966, 30 pp.
56. Comité 347 del ACI, "Recommended Practice for Concrete Formwork (ACI 347-78)", American Concrete Institute, 1978, 37 pp.
57. Comité 306 del ACI, "Cold Weather Concreting", (ACI 306R-78), American Concrete Institute, Detroit, 1978, 22 pp.
58. Comité 308 del ACI, "Standard Practice for Curing Concrete (ACI 308-80)", American Concrete Institute, Detroit, 1980, xxxx pp.
59. Comité 305 del ACI, "Hot Weather Concreting", (ACI 305R-77), American Concrete Institute, Detroit, 1977, 16 pp.
60. "Removing Stains from Concrete", *Publication* No. IS142T, Portland Cement Association, Skokie, 1970, 6 pp.
61. "Investigation of Methods for Removing Stains from Mortar and Concrete", *Miscellaneous Paper* No. C-68-8, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Octubre 1968.
62. Greening, N. R., y Landgren, R., "Surface Discoloration of Concrete Flatwork", *Journal*, PCA Research and Development Laboratories, V. 8, No. 3, Septiembre 1966, pp. 34-50.
63. "Maintenance and Repair of Concrete and Concrete Structures", *Engineer Manual* No. 1110-2-2002, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C., Marzo 1979.

64. Comité 506 del ACI, "Recommended Practice for Shotcreting (ACI 506-66) (Reaffirmed 1978)", American Concrete Institute, Detroit, 1966, 26 pp.
65. Comité 503 del ACI, "Use of Epoxy Compounds with Concrete", (ACI 503R-81), American Concrete Institute, Detroit, 1981.
66. Comité 503 del ACI, "Standard Specification for Bonding Hardened Concrete, Steel, Wood, Brick, and Other Materials to Hardened Concrete with a Multi-Component Epoxy Adhesive (ACI 503.1-79)", American Concrete Institute, Detroit, 1979, 5 pp.
67. Comité 503 del ACI, "Standard Specification for Bonding Plastic Concrete to Hardened Concrete with a Multi-Component Epoxy Adhesive (ACI 503.2-79)", American Concrete Institute, Detroit, 1979, 6 pp.
68. Comité 503 del ACI, "Standard Specification for Producing a Skid-Resistant Surface on Concrete by the Use of a Multi-Component Epoxy System (ACI 503.3-79)", American Concrete Institute, Detroit, 1979, 6 pp.
69. Comité 503 del ACI, "Standard Specification for Repairing Concrete with Epoxy Mortars (ACI 503.4-79)", American Concrete Institute, Detroit, 1979, 6 pp.
70. "Survey of Applications of Epoxy Resins for Civil Works Projects", *Technical Report No. C71-1* U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Julio 1971.
71. Comité 316 del ACI, "Recommended Practice for Construction of Concrete Pavements and Concrete Bases", (ACI 316-74), (Revised 1975), American Concrete Institute, Detroit, 1975, 26 pp.
72. Finney, Edwin A., *Better Concrete Pavement Serviceability*, ACI Monograph No. 7, American Concrete Institute/Iowa State University Press, Detroit, 1973, 246 pp.
73. *Roadways and Airport Pavements*, SP-51, American Concrete Institute, Detroit, 1975, 283 pp.
74. Parsons, Bruce, "Construction of Concrete Pavements", *Technical Bulletin No. 8*, American Concrete Pavement Association, Arlington Heights, 1970, 9 pp.
75. Walker, D.L., "Quality Control in Highway Construction", *Technical Bulletin No. 11*, American Concrete Pavement Association, Arlington Heights, 1971, 10 pp.
76. "Handling Pavement Reinforcing Steel", *Technical Bulletin No. 14*, American Concrete Pavement Association, Arlington Heights, 1972, 9 pp.
77. "Make a Profit on Quality", *Technical Bulletin No. 16*, American Concrete Pavement Association, Arlington Heights, 1973, 43 pp.
78. "Concrete Pavements Exposed to Rain During Construction", *Technical Bulletin No. 17*, American Concrete Pavement Association, Arlington Heights, 1974.
79. "Concrete Pavement Construction — Inspection at the Paving Site", *Publication No. PA047P*, Portland Cement Association, Skokie, 1967, 16 pp.
80. "Design, Construction, and Maintenance of PCC Pavement Joints", *NCHRP Synthesis No. 19*, Transportation Research Board, Washington, D. C., 1973, 40 pp.
81. "Jointed Concrete Pavements Reinforced with Welded Wire Fabric", Wire Reinforcement Institute, Mel ean, 1975.
82. Comité 325 del ACI, "Design of Concrete Overlays for Pavements", (ACI 325.1R-67), American Concrete Institute, Detroit, 1967, 5 pp.
83. Comité 325 del ACI, "Guide for Design of Foundations and Shoulders for Concrete Pavements", (ACI 325.3R-68), American Concrete Institute, Detroit, 1968, 7 pp.
84. Comité 325 del ACI, "Design Procedure for Continuously Reinforced Concrete Pavements for Highways", (ACI 325.4R-72), American Concrete Institute, Detroit, 1972, 11 pp.

85. "Standard Practice for Concrete Pavements", *Technical Manual No. TM5-822-7*, Department of the Army and the Air Force, Septiembre 1975.
86. "Guideline for Texturing of Portland Cement Concrete Highway Pavements", *Technical Bulletin No. 19*, American Concrete Pavement Association, Arlington Heights, 1975.
87. "Cast-in-Place Architectural Concrete", *Monograph No. 03M350*, Construction Specifications Institute, Washington, D.C., 1974, 15 pp.
88. Comité 533 del ACI, "Fabrication, Handling, and Erection of Precast Concrete Wall Panels", (ACI 533.3R-70), American Concrete Institute, Detroit, 1970, 31 pp.
89. "Forms for Architectural Concrete", *Publication No. PA033.03A*, Portland Cement Association, Skokie, 1952, 64 pp.
90. "Color and Texture in Architectural Concrete by Aggregate Transfer", *Publication No. A019A*, Portland Cement Association, Skokie, 1956, 16 pp.
91. CIB Working Commission W29, "Tolerances on Blemishes of Concrete", *Report No. 24*, International Council for Building Research Studies and Documentation (CIB), Rotterdam, 1974, 8 pp. También Summary, *ACI JOURNAL, Proceedings V. 72*, No. 6, Junio 1975, pp 261-262.
92. O'Brien, J., "Principles and Practices of Slipform", *Technical Report No. 33*, Cement and Concrete Association of Australia, North Sidney, Mayo 1973, 48 pp.
93. Fisher, George H., "Concrete Set Control for Vertical Slip-Forming", *ACI JOURNAL, Proceedings V. 69*, No. 9, Septiembre 1972, pp. 556-561.
94. Comité 346 del ACI, "Specification for Cast-in-Place Nonreinforced Concrete Pipe (ACI 346-80)", American Concrete Institute, Detroit, 1980, 6 pp.
95. Comité 346 del ACI, "Recommendations for Cast-in-Place Nonreinforced Concrete Pipe", (ACI 346R-80), American Concrete Institute, Detroit, 1980, 15 pp.
96. Collins, F. Thomas, *Manual of Tilt-Up Construction*, 6a. edición, Know How Publications, Berkeley, 1965, 148 pp.
97. "Tilt-Up Concrete Walls", *Publication No. PA079B*, Portland Cement Association, Skokie, 1970, 16 pp.
98. "Tilt-Up Construction", *ACI Compilation No. 4*, American Concrete Institute, Detroit, 1980, 80 pp.
99. Waddell, Joseph J., "Tilt-Up Concrete Walls", *Construction Specifier*, V. 29, No. 10, Octubre 1976, pp. 26-37.
100. Comité 304 del ACI, "Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete", (ACI 304.1R-69), American Concrete Institute, Detroit, 1969, 13 pp.
101. Wenander, Harald, "Vacuum Dewatering is Back", *Concrete Construction*, V. 20, No. 2, Febrero 1975, pp. 40-42.
102. Wenander, Harald; Danielsson, Jan O.; y Sendker, F., "Floor Construction by Vacuum Dewatering", *Concrete Construction*, V. 20, No. 2, Febrero 1975, pp. 43-46.
103. Comité 304 del ACI, "Placing Concrete by Pumping Methods", (ACI 304.2R-71), American Concrete Institute, Detroit, 1971, 19 pp.
104. *Use of Shotcrete for Underground Structural Support*, SP-45, American Concrete Institute/American Society of Civil Engineers, Detroit, 1974, 467 pp.
105. *Shotcrete for Ground Support*, SP-54, American Concrete Institute/American Society of Civil Engineers, Detroit, 1977, 766 pp.
106. *Shotcreting*, SP-14, American Concrete Institute, Detroit, 1966, 223 pp.
107. Comité 213 del ACI, "Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete", (ACI 213R-79), American Concrete Institute, Detroit, 1979, 30 pp.

108. Comité 523 del ACI, "Guide for Cellular Concretes Above 50 pcf, and for Aggregate Concretes Above 50 pcf with Compressive Strengths Less Than 2500 psi", (ACI 523.3R-75), American Concrete Institute, Detroit, 1975, 17 pp.
109. Comité 523 del ACI, "Guide for Cast-in-Place Low Density Concrete", (ACI 523.1R-67), American Concrete Institute, Detroit, 1967, 8 pp.
110. Davis, H S., "Aggregates for Radiation Shielding Concrete", *Materials Research and Standards*, V. 7, No. 11, Noviembre 1967, pp. 494-501.
111. Tuthill, Lewis H., "Inspection of Mass and Related Concrete Construction", *ACI JOURNAL, Proceedings* Vol. 46, No. 5, Enero 1950, pp. 349-359.
112. Tuthill, Lewis H., "Vibration of Mass Concrete", *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 49, No. 10, Junio 1953, pp. 921-931.
113. Comité 207 del ACI, "Mass Concrete for Dams and Other Massive Structures", (ACI 207.1R-70) (Reaffirmed 1980), American Concrete Institute, Detroit, 1970, 37 pp.
114. *Symposium on Mass Concrete*, SP-6, American Concrete Institute, Detroit, 1963, 427 pp.
115. Tuthill, Lewis H., y Adams, Robert F., "Cracking Controlled in Massive, Reinforced Structural Concrete by Application of Mass Concrete Practices", *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 69, No. 8, Agosto 1972, pp. 481-491.
116. Comité 349 del ACI "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures (ACI 349-80)", American Concrete Institute, Detroit, 1980, 120 pp. (más suplemento acumulativo publicado anualmente).
117. Comité 359 de ACI-ASME, "Code for Concrete Reactor Vessels and Containments (ACI 359-80)", *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*, Sección III, División 2, American Society of Mechanical Engineers, Nueva York, 1980, 335 pp.
118. *Proportioning Concrete Mixes*, SP-46, American Concrete Institute, Detroit, 1974, 223 pp.
119. Price, Walter H., "Pozzolans— A Review", *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 72, No. 5, Mayo 1975, pp. 225-232
120. Comité 223 del ACI, "Recommended Practice for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete", (ACI 223-77), American Concrete Institute, Detroit, 1977, 21 pp.
121. "Manual for Quality Control for Plants and Production of Precast Prestressed Concrete Products", *Publication* No. MNL-116-77, Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1977, 90 pp.
122. Comité 423 de ACI-ASCE, "Tentative Recommendations for Concrete Members Prestressed With Unbonded Tendons", (ACI 423.1R-69), American Concrete Institute, Detroit, 1969, 6 pp.
123. Comité 423 de ACI-ASCE, "Tentative Recommendations for Prestressed Concrete Flat Plates", (ACI 423.2R-74), American Concrete Institute, Detroit, 1974, 11 pp.
124. "Inspection of Prestressed Concrete", Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1960, 36 pp.
125. Comité 512 de ACI-ASCE, "Precast Structural Concrete in Buildings", (ACI 512.2R-74), American Concrete Institute, Detroit, 1974, 13 pp.
126. Comité 523 del ACI, "Guide for Low Density Precast Concrete Floor, Roof, and Wall Units", (ACI 523.2R-68), American Concrete Institute, Detroit, 1968, 6 pp.
127. Comité 533 del ACI, "Selection and Use of Materials for Precast Concrete Wall Panels", (ACI 533.2R-69), American Concrete Institute, Detroit, 1969, 7 pp.
128. Comité 533 del ACI, "Quality Standards and Tests for Precast Concrete Wall Panels", (ACI 533.1R-69), American Concrete Institute, Detroit, 1969, 6 pp.

129. Waddell, Joseph J., *Precast Concrete: Handling and Erection*, ACI Monograph No. 8, American Concrete Institute/Iowa State University Press, Detroit, 1974, 146 pp.
130. Hoff, G.C., "Investigation of Expanding Grout and Concrete", *Miscellaneous Paper* No. C-71-5, Report 2, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Enero 1973
131. "Plasterer's Manual", *Publication* No. EB049M, Portland Cement Association, Skokie, 1962, 24 pp.
132. Comité 524 del ACI, "Guide to Portland Cement Plastering", *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 60, No. 7, Julio 1963, pp. 817-834.
133. *1980 Annual Book of ASTM Standards*, Part 14, Concrete and Mineral Aggregates, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1980, 834 pp.
134. *Accelerated Strength Testing*, SP-56, American Concrete Institute, Detroit, 1978, 319 pp.
135. Whitehurst, E A., *Evaluation of Concrete Properties from Sonic Tests*, ACI Monograph No. 3, American Concrete Institute/Iowa State University Press, Detroit, 1966, 94 pp.
136. "Certification of Ready Mixed Concrete Production Facilities", National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, 1972, 21 pp.
137. "Test Method for Flow of Grout Mixtures (Flow-Cone Method)", (CRD-C 79-77), *Handbook for Concrete and Cement*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Diciembre 1977, 1 p.
138. "Method of Test for Compressive Strength of Preplaced-Aggregate Concrete", (CRD-C 84-63), *Handbook for Concrete and Cement*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Junio 1963, 2 pp.

CAPITULO 22 — NORMAS, ESPECIFICACIONES, METODOS DE ENSAYOS E INFORMES

La mayoría de las normas que aparecen en lista más adelante son las de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Con el fin de evitar duplicación, sólo aparecen en la lista las normas de otras organizaciones cuando la materia no está cubierta por las normas ASTM. A continuación, se dan las siglas, nombres y direcciones de las organizaciones en las cuales se pueden obtener copias de las normas.

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials, National Press Bldg., Washington, D C 20004
ACI	American Concrete Institute, P O. Box 19150, Redford Station, Detroit, Mich. 48219
AREA	American Railway Engineering Association, 1243 Railway Exchange Bldg., 80 E. Jackson Blvd., Chicago, Ill. 60604
ASTM	American Society for Testing and Materials, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103
CRSI	Concrete Reinforcing Steel Institute, 228 N. LaSalle St., Chicago, Ill. 60601
NRMCA	National Ready Mixed Concrete Association, 900 Spring St., Silver Spring, Md. 20910
PCA	Portland Cement Association, Old Orchard Rd., Skokie, Ill. 60076
US	U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20401
USBR	U.S. Bureau of Reclamation, Denver Federal Center, Denver, Colo 80225
USCE	Corps of Engineers, U.S. Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss. 39180

Cada norma ASTM tiene una designación de serie permanente (como, por ejemplo, C 33) seguida por un número que indica el año de su adopción o de la última revisión (como, por ejemplo, C 33-78). Las normas se publican anualmente.* Cada una de ellas está disponible en forma de panfleto, a un pequeño costo.

Como las normas se revisan frecuentemente, es prudente verificar siempre si la copia disponible de una norma dada es la vigente.

DOSIFICACION

ACI	211.1	Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal and Heavyweight Concrete (Práctica recomendada para la dosificación de hormigón de peso normal y de peso pesado).
-----	-------	---

*Las normas se publican en inglés. Para comodidad del lector se da aquí entre paréntesis la traducción del título al español. (N. del T.)

NORMAS Y ESPECIFICACIONES

439

ACI	211.2	Recommended Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (Práctica recomendada para la dosificación de hormigón estructural de peso liviano).
ACI	211.3	Recommended Practice for Selecting Proportions for No-Slump Concrete (Práctica recomendada para la dosificación de hormigón sin asentamiento).

CEMENTO

ASTM	C 91	Specification for Masonry Cement (Norma sobre cemento de mampostería).
ASTM	C 109	Test for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico).
ASTM	C 114	Methods for Chemical Analysis of Portland Cement (Métodos para el análisis químico del cemento portland)
ASTM	C 115	Test for Fineness of Portland Cement by the Turbidimeter (Ensayo de finura del cemento portland, por medio del turbidímetro).
ASTM	C 150	Specification for Portland Cement (8 types) (Norma sobre cemento portland, 8 tipos).
ASTM	C 151	Test for Autoclave Expansion of Portland Cement (Ensayo para determinar la expansión en autoclave del cemento portland).
ASTM	C 183	Methods of Sampling Hydraulic Cement (Método para la toma de muestras de cemento hidráulico).
ASTM	C 184	Test for Fineness of Hydraulic Cement by the No. 100 and No. 200 Sieves (Ensayo para determinar la finura del cemento hidráulico, por medio de los tamices No. 100 y No. 200).
ASTM	C 186	Test for Heat of Hydration of Hydraulic Cement (Ensayo para averiguar el calor de hidratación del cemento hidráulico).
ASTM	C 187	Test for Normal Consistency of Hydraulic Cement (Ensayo para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico).
ASTM	C 188	Test for Density of Hydraulic Cement (Ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico).
ASTM	C 190	Test for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortars (Ensayo para determinar la resistencia a tensión de los morteros de cemento hidráulico).
ASTM	C 191	Test for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle (Ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico, por medio de la aguja de Vicat)
ASTM	C 204	Test for Fineness of Portland Cement by Air Permeability Apparatus (Ensayo para determinar la finura del cemento portland, por medio del aparato de permeabilidad de aire).

ASTM	C 219	Definitions of Terms Relating to Hydraulic Cement (Definiciones de los términos relacionados con el cemento hidráulico)
ASTM	C 227	Test for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Ensayo para determinar la reactividad potencial a los álcalis de las combinaciones cemento-agregado)
ASTM	C 230	Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement (Especificación de la mesa de flujo que se vaya a utilizar en ensayos de cemento hidráulico).
ASTM	C 243	Test for Bleeding of Cement Pastes and Mortars (Ensayo para determinar la exudación de pastas y morteros de cemento)
ASTM	C 265	Test for Calcium Sulfate in Hydrated Portland Cement Mortar (Ensayo para determinar el sulfato de calcio en morteros de cemento portland hidratado)
ASTM	C 266	Test for Time of Setting of Hydraulic Cement by Gillmore Needles (Ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico, por medio de las agujas de Gillmore).
ASTM	C 267	Test for Chemical Resistance of Mortars (Ensayo para determinar la resistencia química de los morteros).
ASTM	C 465	Specification for Processing Additions for Use in Manufacture of Hydraulic Cements (Norma sobre procesamiento de adiciones utilizadas en la manufactura de cementos hidráulicos).
ASTM	C 595	Specification for Blended Hydraulic Cements (Norma sobre cementos hidráulicos combinados).
US	SS-C-158	Federal Specification for Cements, Hydraulic, General Specifications (methods for sampling, inspection, and testing) [Norma federal sobre cementos hidráulicos, normas generales (métodos para muestreo, inspección y ensayo)].
US	SS-C-181	Federal Specification for Cement, Masonry (Norma federal sobre cemento utilizado en mampostería).
US	SS-C-192	Federal Specification for Cements, Portland (10 types) [Norma federal sobre cementos, portland (10 tipos)]
US	SS-C-208	Federal Specification for Cement, Portland, Pozzolana (Norma federal sobre cemento, portland y puzolana).
USCE	CRD-C 213	Test for the Presence of Sugar in Cement, Mortar, Concrete, and Aggregates (Ensayo para determinar la presencia de azúcar en cemento, mortero, hormigón y agregados).
USCE	CRD-C 248	Corps of Engineers Specifications for Slag Cement (Normas del Cuerpo de Ingenieros sobre cemento de escorias).

AGREGADOS

AASHTO	T 103	Test for Soundness of Aggregates by Freezing and Thawing (Ensayo para determinar la sanidad de los agregados con respecto a congelamiento y descongelamiento).
ASTM	C 29	Test for Unit Weight and Voids in Aggregate (Ensayo para determinar el peso unitario y los vacíos en el agregado).
ASTM	C 40	Test for Organic Impurities in Sands for Concrete (Ensayo para determinar las impurezas orgánicas de las arenas disponibles para hormigón).
ASTM	C 33	Specification for Concrete Aggregates (Norma sobre agregados de hormigón).
ASTM	C 70	Test for Surface Moisture in Fine Aggregate (Ensayo para determinar la humedad superficial del agregado fino).
ASTM	C 87	Test for Effect of Organic Impurities in Fine Aggregate on Strength of Mortar (Ensayo para determinar el efecto de las impurezas orgánicas del agregado fino sobre la resistencia del mortero).
ASTM	C 88	Test for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate (Ensayo para determinar la sanidad de los agregados, por medio del uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio).
ASTM	C 117	Test for Materials Finer Than No. 200 Sieve in Mineral Aggregates by Washing (Ensayo para determinar los materiales que pasan el tamiz No. 200 en agregados minerales, mediante lavado).
ASTM	C 123	Test for Lightweight Pieces in Aggregate (Ensayo para determinar los trozos livianos de agregado).
ASTM	C 125	Definitions of Terms Relating to Concrete and Concrete Aggregates (Definiciones de los términos que se relacionan con el hormigón y con los agregados de éste).
ASTM	C 127	Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate (Ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso).
ASTM	C 128	Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate (Ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino).
ASTM	C 131	Test for Resistance to Abrasion of Small Size Coarse Aggregate by use of the Los Angeles Machine (Ensayo para determinar la resistencia a la abrasión del agregado grueso de tamaño pequeño mediante el uso de la máquina de Los Angeles).
ASTM	C 136	Test for Sieve or Screen Analysis of Fine and Coarse Aggregates (Ensayo para el análisis mediante tamices o mallas de los agregados fino y grueso).

ASTM	C 142	Test for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates (Ensayo para determinar los terrenos de arcilla y las partículas desmenuzables de los agregados).
ASTM	C 144	Specification for Aggregate for Masonry Mortar (Especificación para agregado que se vaya a usar en mortero de mampostería).
ASTM	C 227	Test for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Ensayo para determinar la reactividad potencial a los álcalis de las combinaciones agregado-cemento).
ASTM	C 295	Recommended Practice for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete (Práctica recomendada para el examen petrográfico de los agregados disponibles para hormigón).
ASTM	C 330	Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete (Norma sobre agregados livianos que se vayan a usar en hormigón estructural).
ASTM	C 331	Specification for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units (Norma sobre agregados livianos que se vayan a utilizar en unidades de mampostería de hormigón).
ASTM	C 332	Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete (Norma sobre agregados livianos que se vayan a utilizar en hormigón aislante).
ASTM	C 535	Test for Resistance to Abrasion of Large Size Coarse Aggregate by Use of the Los Angeles Machine (Ensayo para determinar la resistencia a la abrasión del agregado grueso de tamaño grande, mediante el uso de la máquina de Los Angeles).
ASTM	C 851	Recommended Practice for Estimating Scratch Hardness of Coarse Aggregate Particles (Práctica recomendada para estimar la dureza a la raspadura de las partículas de agregado grueso).
ASTM	D 75	Methods of Sampling Aggregates (Método para el muestreo de agregados).
ASTM	D 448	Specification for Standard Sizes of Coarse Aggregate for Highway Construction (Norma sobre tamaños estándar de agregado grueso destinado a construcción de carreteras).
ASTM	E 11	Specification for Wire Cloth Sieves for Testing Purposes (Norma sobre tamices de tela de alambre, utilizados para ensayos).
USCE	CRD-C 109	Field Test for Absorption by Aggregates (Ensayo de campo para determinar la absorción de agregados).
USCE	CRD-C 119	Test for Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregates (Ensayo para determinar las partículas planas y alargadas de agregados gruesos).
USCE	CRD-C 129	Test for Particles of Low Specific Gravity in Coarse Aggregate (Sink-Float Test) [Ensayo para determinar las partículas de peso específico bajo del agregado grueso (ensayo de hundimiento y flotación)].

ACERO PARA EL REFUERZO DE HORMIGON Y PARA HORMIGON PREENFORZADO

ASTM	A 82	Specification for Cold-Drawn Steel Wire for Concrete Reinforcement (Norma sobre alambre de acero estrado en frío para refuerzo de hormigón).
ASTM	A 184	Specification for Fabricated Deformed Steel Bar Mats for Concrete Reinforcement (Norma sobre parrillas prefabricadas de barras de acero deformadas para refuerzo de hormigón).
ASTM	A 185	Specification for Welded Steel Wire Fabric for Concrete Reinforcement (Norma sobre mallas de alambre de acero soldado para refuerzo de hormigón).
ASTM	A 416	Specification for Uncoated Seven-Wire Stress-Relieved Strand for Prestressed Concrete (Norma sobre torones normalizados sin revestimiento, de siete alambres, para hormigón preesforzado).
ASTM	A 421	Specification for Uncoated Stress-Relieved Wire for Prestressed Concrete (Norma sobre alambre normalizado sin revestimiento, para hormigón preesforzado).
ASTM	A 496	Specification for Deformed Steel Wire for Concrete Reinforcement (Norma sobre alambre de acero deformado para refuerzo de hormigón).
ASTM	A 497	Specification for Welded Deformed Steel Wire Fabric for Concrete Reinforcement (Norma sobre malla de alambre de acero, deformado y soldado, para refuerzo de hormigón).
ASTM	A 615	Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement (Norma sobre barras de acero de lingote, lisas y deformadas, para refuerzo de hormigón).
ASTM	A 616	Specification for Rail-Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement (Normas sobre barras lisas y deformadas de acero de rieles para refuerzo de hormigón).
ASTM	A 617	Specification for Axle-Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement (Norma sobre barras lisas y deformadas de acero de ejes para refuerzo de hormigón).
CRSI	—	Specification for Placing Reinforcement (Normas sobre colocación del refuerzo).

OTROS MATERIALES

AASHTO	M 73	Specification for Cotton Mats for Curing Concrete Pavements (Norma sobre tapetes de algodón destinadas al curado de pavimentos de hormigón).
--------	------	--

AASHTO	M 74	Specifications for Subgrade Paper (Normas sobre papel de subrasantes)
AASHTO	T 26	Test for Quality of Water to Be Used in Concrete (Ensayo de la calidad del agua que se vaya a utilizar en hormigón).
ASTM	A 36	Specification for Structural Steel (Norma sobre acero estructural).
ASTM	C 5	Specification for Quicklime for Structural Purposes (Norma sobre cal viva para propósitos estructurales)
ASTM	C 6	Specification for Normal Finishing Hydrated Lime (Norma sobre cal hidratada para acabado normal).
ASTM	C 141	Specification for Hydraulic Hydrated Lime for Structural Purposes (Norma sobre cal hidráulica hidratada para propósitos estructurales)
ASTM	C 156	Test for Water Retention by Concrete Curing Materials (Ensayo para determinar el agua que retienen los materiales de curado del hormigón).
ASTM	C 171	Specification for Sheet Materials for Curing Concrete (Norma sobre materiales de lámina que se vayan a utilizar en el curado del hormigón)
ASTM	C 206	Specification for Finishing Hydrated Lime (Norma sobre cal hidratada utilizada en acabados).
ASTM	C 207	Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes (Norma sobre cal hidratada utilizada en mampostería).
ASTM	C 226	Specification for Air-Entraining Additions for Use in the Manufacture of Air-Entraining Portland Cement (Norma sobre aditivos incorporadores de aire utilizados en la fabricación de cemento portland incorporador de aire).
ASTM	C 233	Method of Testing Air-Entraining Admixtures for Concrete (Método de ensayo de los aditivos incorporadores de aire para hormigón).
ASTM	C 260	Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete (Norma sobre aditivos incorporadores de aire utilizados en hormigón).
ASTM	C 309	Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete (Norma sobre compuestos líquidos formadores de membrana, para curado de hormigón).
ASTM	C 311	Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete (Muestreo y ensayo de cenizas volantes o de puzolanas naturales utilizadas como aditivo mineral en hormigón de cemento portland).
ASTM	C 618	Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete (Norma sobre cenizas volantes y puzolanas naturales crudas o calcinadas utilizadas como aditivo mineral en hormigón de cemento portland).

ASTM	D 98	Specification for Calcium Chloride (Norma sobre cloruro de calcio).
USCE	CRD- C 13	Test for Evaluation of Air-Entraining Admixtures for Concrete (Ensayo para la evaluación de aditivos incorporadores de aire para hormigón).
USCE	CRD-C 300	Specifications for Pigmented Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete (Norma sobre compuestos pigmentados, formadores de membrana, usados en el curado del hormigón).
USCE	CRD-C 400	Requirements for Water for Use in Mixing or Curing Concrete (Requisitos que debe cumplir el agua utilizada en el amasado o curado del hormigón).

EQUIPO

NRMCA	—	Truck Mixer and Agitator Standards of the Truck Mixer Manufacturers Bureau (Normas sobre hormigoneras y agitadoras de camión del Truck Mixer Manufacturers Bureau).
-------	---	---

CONSTRUCCION

AASHTO	—	Specifications for Concrete Pavement Construction (Normas sobre construcción de pavimentos de hormigón).
ACI	304	Recommended Practice for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete (Práctica recomendada para la medida, amasado, transporte y vaciado de hormigón).
ACI	305	Hot Weather Concreting (Hormigonado en clima cálido).
ACI	306	Cold Weather Concreting (Hormigonado en clima frío).
ACI	308	Recommended Practice for Curing Concrete (Práctica recomendada para el curado del hormigón).
ACI	309	Recommended Practice for Consolidation of Concrete (Práctica recomendada para la compactación del hormigón).
ACI	346	Specifications for Cast-in-Place Non-reinforced Concrete Pipe (Normas sobre tubos de hormigón simple fundidos en sitio).
ACI	347	Recommended Practice for Concrete Formwork (Práctica recomendada para encofrados destinados a construcciones de hormigón).
ACI	506	Recommended Practice for Shotcreting (Práctica recomendada para el hormigón proyectado).
USCE	CRD-C 53	Calculation of Amount of Ice Needed to Produce Mixed Concrete of a Specified Temperature (Cálculo de la cantidad necesaria de hielo para producir mezcla de hormigón a una temperatura especificada).

ENSAYOS DEL HORMIGON

ASTM	C 31	Method of Making and Curing Concrete Compression and Flexure Test Specimens in the Field (Método de hechura y curado en el campo de especímenes para ensayos a compresión y flexión).
ASTM	C 39	Test for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (Ensayo para determinar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de hormigón).
ASTM	C 42	Method of Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete (Método de obtención y ensayo de núcleos taladrados y de vigas aserradas de hormigón).
ASTM	C 78	Test for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading) [Ensayo para determinar la resistencia a flexión del hormigón (utilizando una viga simplemente apoyada con carga en los tercios de la luz)].
ASTM	C 85	Test for Cement Content of Hardened Portland-Cement Concrete (Ensayo para determinar el contenido de cemento del hormigón endurecido de cemento portland).
ASTM	C 116	Test for Compressive Strength of Concrete Using Portions of Beams Broken in Flexure (Modified Cube Method) [Ensayo para determinar la resistencia a compresión del hormigón utilizando porciones de vigas rotas a flexión (método del cubo modificado)].
ASTM	C 138	Test for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete [Ensayo para determinar el peso unitario, el rendimiento, y el contenido de aire (gravimétrico) del hormigón].
ASTM	C 143	Test for Slump of Portland-Cement Concrete (Ensayo para determinar el asentamiento del hormigón de cemento portland).
ASTM	C 157	Test for Length Change of Hardened Cement Mortar and Concrete (Ensayo para determinar el cambio de longitud del mortero de cemento y del hormigón endurecidos).
ASTM	C 172	Method of Sampling Fresh Concrete (Método para la toma de muestras de hormigón fresco).
ASTM	C 173	Test for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method (Ensayo para determinar el contenido de aire de hormigón recién amasado por el método volumétrico).
ASTM	C 174	Method of Measuring Length of Drilled Concrete Cores (Método para medir la longitud de los núcleos taladrados de hormigón).

ASTM	C 192	Method of Making and Curing Concrete Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory (Método de fabricación y curado en el laboratorio de especímenes para ensayos a compresión y flexión).
ASTM	C 215	Test for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Frequencies of Concrete Specimens (Ensayo para determinar las frecuencias fundamentales: transversal, longitudinal y de torsión de especímenes de hormigón).
ASTM	C 231	Test for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method (Ensayo para determinar el contenido de aire de hormigón recién amasado por el método de presión).
ASTM	C 232	Test for Bleeding of Concrete (Ensayo para determinar la exudación del hormigón).
ASTM	C 234	Test for Comparing Concretes on the Basis of the Bond Developed with Reinforcing Steel (Ensayo para comparar hormigones, con base en el desarrollo de adherencia con acero de refuerzo).
ASTM	C 293	Test for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading) [Ensayo para determinar la resistencia a flexión del hormigón (utilizando una viga simplemente apoyada con carga en el centro de la luz)].
ASTM	C 341	Test for Length Change of Drilled or Sawed Specimens of Cement Mortar and Concrete (Ensayo para determinar el cambio de longitud de especímenes taladrados o aserrados de mortero de cemento y de hormigón).
ASTM	C 342	Test for Potential Volume Change of Cement-Aggregate Combinations (Ensayo para determinar el cambio potencial de volumen de combinaciones cemento-agregado).
ASTM	C 360	Test for Ball Penetration in Fresh Portland Cement Concrete (Ensayo para determinar la penetración de la bola en hormigón fresco de cemento portland).
ASTM	C 495	Test for Compressive Strength of Lightweight Insulating Concrete (Ensayo para determinar la resistencia a compresión del hormigón aislante de peso liviano).
ASTM	C 457	Microscopical Determination of Air-Void Content and Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete (Determinación microscópica del contenido de vacíos de aire y de los parámetros de dicho sistema en hormigón fraguado).
ASTM	C 496	Test for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens (Ensayo para determinar la resistencia a tensión por el método indirecto de especímenes de cilindros de hormigón).

ASTM	C 513	Securing, Preparing, and Testing Specimens from Hardened Lightweight Insulating Concrete for Compressive Strength (Consecución, preparación y ensayo de especímenes de hormigón aislante fraguado de peso liviano, para determinar la resistencia a compresión).
ASTM	C 567	Test for Unit Weight of Structural Lightweight Concrete (Ensayo para determinar el peso unitario de hormigón estructural de peso liviano).
ASTM	C 666	Test for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing (Ensayo para determinar la resistencia del hormigón al congelamiento y descongelamiento rápidos)
ASTM	E 119	Fire Tests of Building Construction and Materials (Ensayos para determinar la resistencia al fuego de edificios y materiales de construcción).
NRMCA	47	Specifications and Test Methods for Ready-Mixed Concrete (Norma sobre métodos de ensayo para el hormigón premezclado)
USBR	2	Sampling Hardened Concrete (Muestreo de hormigón fraguado).
USRB	23	Test for Unit Weight of Fresh Concrete at Mixer and Computations of Yield, Cement Content, Water Content, Aggregate Content, Air Content of Fresh Concrete and Yield of Hardened Concrete (Ensayo para determinar el peso unitario de hormigón fresco en la hormigonera y cálculos sobre rendimiento, contenidos de cemento, agua, agregados y aire del hormigón fresco, y rendimiento del hormigón endurecido).
USCF	CRD-C 6	Test for Workability of Concrete (Remolding Test) [Ensayo para determinar la manejabilidad del hormigón (prueba de remodelo)]

HORMIGONES

ACI	301	Specifications for Structural Concrete for Buildings (Normas sobre hormigón estructural destinado a edificios).
ACI	316	Recommended Practice for Construction of Concrete Pavements and Concrete Bases (Práctica recomendada para la construcción de pavimentos de hormigón y de bases de hormigón).
ACI	318	Building Code Requirements for Reinforced Concrete (Requisitos de código de construcción para hormigón reforzado).
AREA	—	Manual of the American Railway Engineering Association (Manual de la American Railway Engineering Association).
ASTM	C 94	Specification for Ready-Mixed Concrete (Norma sobre hormigón premezclado).

ASTM	C 125	Definitions of Terms Relating to Concrete and Concrete Aggregates (Definiciones de términos relacionados con el hormigón y con los agregados de éste)
ASTM	C 270	Specification for Mortar for Unit Masonry (Norma sobre mortero de unidades de mampostería).
PCA	—	Specifications for Plain and Reinforced Concrete (Normas sobre hormigones simple y reforzado).
PCA	—	Architectural Concrete Specifications (Normas sobre hormigón decorativo)

UNIDADES DE HORMIGON PREFABRICADO

AASHTO	T 33	Methods of Testing Culvert Pipe, Sewer Pipe, and Drain Tile (Métodos de ensayo de tuberías de desagüe, tubos de alcantarillado y ductos de drenaje).
ASTM	C 14	Specification for Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe (Norma sobre tubos de hormigón usados en drenajes, desagües de aguas lluvias y alcantarillados).
ASTM	C 55	Specification for Concrete Building Brick (Norma sobre ladrillos de construcción en hormigón).
ASTM	C 76	Specification for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe (Norma sobre tubos de hormigón reforzado, usados en drenajes, desagües de aguas lluvias y alcantarillados).
ASTM	C 90	Specification for Hollow Load-Bearing Concrete Masonry Units (Norma sobre unidades huecas de mampostería de hormigón que van a soportar carga).
ASTM	C 118	Specification for Concrete Pipe for Irrigation or Drainage (Norma sobre tubos de hormigón, destinados a irrigación o drenaje).
ASTM	C 129	Specification for Non-Load-Bearing Concrete Masonry Units (Norma sobre unidades de mampostería de hormigón que no van a soportar carga)
ASTM	C 139	Specification for Concrete Masonry Units for Construction of Catch Basins and Manholes (Norma sobre unidades de mampostería de hormigón destinadas a la construcción de sumideros y pozos de inspección).
ASTM	C 140	Methods of Sampling and Testing Concrete Masonry Units (Métodos para el muestreo y ensayo de unidades de mampostería de hormigón).
ASTM	C 145	Specification for Solid Load-Bearing Concrete Masonry Units (Norma sobre unidades de mampostería de hormigón sólidas que van a soportar carga).

CAPITULO 23 — LISTA DE VERIFICACION PARA LA INSPECCION

En este capítulo se presenta, como referencia conveniente, una lista de los varios ítems que podría cubrir la inspección. La lista se presenta como referencia, no para uso diario. Para un trabajo particular, el inspector encontrará necesario tener a mano una lista similar que contenga sólo aquellos ítems aplicables a las especificaciones dadas, a la organización y a las condiciones del trabajo. Una información detallada referente a estos ítems figura en los capítulos anteriores.

Preliminar

Estudio de planos y especificaciones, y de códigos de construcción
División de deberes entre los representantes del ingeniero
Tolerancias permisibles de medida
Provisión para los registros e informes
Planta del contratista, calibraciones, equipo, organización y métodos

Dosificación

Ensayos de los agregados
Dosificación de la mezcla
Cálculos de la mezcla
Gradación de los agregados de la mezcla; dosificación; rendimiento; contenido de aire

Materiales

General (se aplica a todos los materiales)
Identificación, cantidades (usadas, a la mano); aceptabilidad; uniformidad; condiciones de almacenamiento; métodos de manejo; desperdicio; programación de los ensayos
Cemento
Muestreo para el ensayo de laboratorio
Protección contra la humedad
Agregados
Ensayos de aceptabilidad
Gradación; materia orgánica; sustancias perjudiciales; sanidad; resistencia a la abrasión; otros ensayos
Ensayos de control
Humedad; absorción; peso específico; pesos unitarios; vacíos
Almacenamiento
Agua
Aditivos
Acero de refuerzo
Tamaño; flexión; condición superficial
Accesorios
Aditamentos
Otros materiales

LISTA DE VERIFICACION

Antes del hormigonado

Alineamientos y niveles
Excavación; cimentaciones
Localización, dimensiones, forma; drenaje, preparación de superficies
Formaletas
Tipo especificado de formaleta
Localización
Alineación; provisión para el asentamiento
Estabilidad (soporte; apuntalamiento; amarres y espaciadores)
Aperturas de inspección
Preparación de superficies
Limpieza final
Refuerzo en su sitio
Tamaño (diámetro; longitud; dobleces; anclaje de los extremos)
Localización (número de barras; espaciamento libre mínimo; recubrimiento mínimo)
Traslapos
Estabilidad (alambrado; sillas y espaciadores)
Limpieza (sin óxido suelto; ni pintura, aceite, mortero seco, etc.)
Aditamentos (localización, estabilidad, limpieza)
Aperturas no mostradas en los planos
Calibración de los artefactos de dosificación
Condición de la hormigonera, velocidad de operación
Provisión para el vaciado continuo
Provisión para el curado
Provisión para la protección contra sol, lluvia, clima cálido o frío
Herramientas adecuadas y hombres necesarios para la compactación, acabado y curado

Hormigonado

Condiciones de trabajo
Clima, preparaciones completadas; intervalo especificado a partir del vaciado previo; iluminación para el trabajo nocturno; cubrimiento y protección
Dosificación
Cemento; agregados; agua; aditivos
Artefactos de verificación de la dosificación
Verificación del rendimiento de hormigón
Amasado
Tiempo mínimo; mezclas demoradas en la hormigonera; tiempo máximo; sobrecarga; número de revoluciones del tambor; agua utilizada; capacidad de amasado del tambor; cantidad de hormigón
Control de consistencia
Observación del hormigón durante el vaciado; ensayos; ajustes del agua o de los aditivos de la mezcla
Vigilancia del contenido de aire
Verificación de la temperatura del hormigón (en caso necesario)
Transporte
Sin segregación de materiales; ni secamiento ni endurecimiento excesivos; límites de tiempo

Vaciado

Hormigón uniforme y denso, operación continua, preparación de las superficies de contacto, lecho del mortero; caída vertical, que no dé contra las formaletas de refuerzo; pequeño o ningún flujo después de depositarse; profundidad de las capas, ganancia de agua; bolsas de roca, remoción de amarres y espaciadores temporales, disposición de las mezclas rechazadas; vaciado del hormigón bajo agua

Compactación

Compactación completa y uniforme, sin trabajo excesivo

Juntas de contracción**Localización**

Formación o tallado

Pasadores o amarres (si los hay) en su lugar y alineados

Juntas de construcción y articulaciones

Localización; preparación de la superficie

Pasadores o amarres (si los hay) en su lugar y alineados

Juntas de expansión y aislamiento

Material de relleno de la junta, localización; alineamiento, estabilidad; libertad de interferencia con movimientos subsecuentes

Acabado de superficies hechas sin formaletas

Capa poco profunda de mortero; ganancia de agua; sin trabajo excesivo; primer alisamiento, alineamiento de la superficie; alisamiento duro final, grietas de contracción plástica; lluvia

Acabado de superficies hechas con formaletas

Condición de las superficies después de la remoción de las formaletas (hormigueros, peladuras, agujeros de amarres, líneas melladas de las formaletas), reparación de defectos, tratamiento de superficies; sin secamiento de la superficie

Programación de los ensayos**Después del hormigonado****Protección contra daños**

Impacto; sobrecarga; melladura de superficies

Tiempo de remoción de las formaletas**Curado**

Superficies continuamente húmedas, momento de empezar el curado; duración del período de curado; véase también el hormigonado en clima cálido y frío

Juntas

Limpieza y sellamiento

Momento apropiado y alineación de las juntas aserradas

Ensayos del hormigón**Ensayos de consistencia**

Ensayos para determinar el contenido de aire

Ensayos para determinar el peso unitario del hormigón fresco

Análisis de la dosificación del hormigón fresco

Ensayos de resistencias

Hechura de los especímenes; curado de especímenes (condiciones estándares, condiciones de campo); ensayos de campo; envío de especímenes al laboratorio

Pruebas o ensayos del hormigón endurecido**Núcleos**

Martillo de impacto; sonda

Adherencia

Otros ensayos**Registros e informes**

Registros: materiales; cálculos de la mezcla; dosificación y amasado; vaciado y curado; especial

Informes: diarios; de resumen

Diario

Fotografías

TRABAJO ESPECIAL**Hormigonado en clima frío**

Temperaturas y tiempos limitantes

Aire exterior; encerramiento; materiales; hormigón

Materiales de calefacción, superficies en contacto, encerramientos; protección contra el monóxido de carbono, la carbonatación y el secamiento

Recipiente hermético o formaletas aisladas

Remoción de formaletas; protección contra un enfriamiento demasiado rápido

Hormigonado en clima cálido

Materiales de enfriamiento, premojamiento de los agregados y las superficies de contacto; protección del hormigón

Combinaciones limitantes de viento, humedad relativa y temperatura ambiente

Relleno bajo las placas de base

Preparación de la base; mezcla apropiada; llenamiento completo de los vacíos

Lechada a presión

Agujeros (profundidad, espaciamento, carencia de obstrucciones)

Materiales (aceptabilidad, cantidades usadas)

Inyección (secuencia, presión, tiempo, completividad de la penetración, falta de daño a la estructura)

Hormigón proyectado

Materiales (aceptabilidad, cantidad); condición del equipo; mezcla preliminar; presión (agua, aire); preparación de superficies; aplicación (espesor, ausencia de escurrimiento, juntas de construcción); acabado superficial; curado; ensayos

Pisos de dos capas

Preparación de la superficie de la capa de base; materiales; dosificación y consistencia; emparejamiento uniforme; cilindraje o apisonamiento; primer pulimento; alisado final; curado

Terrazo

Espesor de las capas; uniformidad; curado; fajas divisorias

Estuco

Mortero; preparación de la superficie de respaldo; adherencia a la superficie de respaldo; acabado final; curado de cada capa

Mampostería

Unidades

Ensayos de laboratorio para determinar la resistencia y la absorción

Inspección de campo para determinar el tamaño, forma y sanidad
Construcción

Contenido de humedad de las unidades; terminación del lecho en mortero; alineamiento; cumplimiento con el código de construcción (mortero, espesor mínimo de la pared, apoyo lateral, capas de adherencia, apoyos para las vigas, aperturas en las paredes)

Piedra vaciada

Ensayos de laboratorio para determinar la resistencia y la absorción
Inspección de campo para determinar la sanidad y la uniformidad (coincidente con la muestra)

Hormigón decorativo

Localización y unión limpia de moldes; revestimiento de la superficie para evitar efectos de adherencia o de manchadura; curado
Refuerzo próximo a la superficie; localización de apoyos y materiales
Vibración para minimizar los hormigueros
Color y textura; modelo
Protección contra manchas de goteo
Reparación de la superficie; relleno de huecos

Hormigón coloreado

Pigmentos; case de los colores; mezcla total e íntima del color con el cemento; aplicación uniforme y pulimento, curado

Pintura

Limpieza de la superficie; neutralización de la superficie (si es necesario); aplicación uniforme, pinturas de curado de cemento portland

Hormigón liviano

Agregados de peso liviano (aceptabilidad, prehumedecimiento, prevención de la segregación)
Hormigón celular (aditivos, programación de operaciones, procesos de amasado, agentes espumantes)
Ensayo para determinar el peso unitario

Hormigón en masa

Programación y ratas de vaciado; de cómo evitar temperaturas altas o no uniformes; adherencia de coladas; prevención de rotura de agregados

Hormigón de agregados precolocados

Graduación y colocación del agregado grueso; contaminación anterior a la inyección; contenido de vacíos; composición y consistencia de la lechada; secuencia y presiones de la inyección; completitud del llenado de los vacíos; condición del equipo

Hormigón con aire incorporado

Medidas precisas del agente incorporador de aire; ensayos sobre contenido de aire del hormigón; regulación del contenido de aire; ajuste de la mezcla para compensar el contenido de aire; evitación de mezcla o vibración excesivas; evitación de la consistencia húmeda; acabado

Construcción prefabricada para volteo

Superficie de la plataforma de fundición; juntas en las hojas para romper la adherencia; programación y uniformidad de elementos líquidos rompedores de adherencia; alineación de bordes de formaletas; compactación del hormigón en las esquinas inferiores; conexiones con las columnas; provisión para expansión, cuando se especifica; resistencia del hormigón en el momento del izamiento; puntos de levantamiento; evitación de hálamiento, sacudimiento o vibración excesivos

Construcción bajo agua

Evitación del agua de flujo; temperaturas; colocación continua; operación de "tremie" o balde; minimización del lavado; protección del agua corriente durante varios días

Hormigón al vacío

Espesor final de losas; tiempo y duración de la aplicación del vacío; uniformidad del procesamiento, condición de los tapetes

Hormigón preesforzado

Resistencia del hormigón en el momento del preesforzamiento; forro del refuerzo, cuando se especifica; colocación precisa del refuerzo; evitación de obstrucción o fricción excesivas; medida de la tensión por medio de presión en el gato o de alargamiento del acero, o de ambos; aplicación completa de la inyección de lechada, cuando se especifica

APENDICE

ACI 311.4R-80

Guía para la Inspección del Hormigón*

Informe del Comité ACI—311

BERTORLD E. WEINBERG
Presidente

CLAUDE E. JAYCOX
Secretario

JOSEPH F. ARTUSO
JORGE GARCIA BERNARDINI
LUKE COSME
EDWARD J. CURTIN
DONALD E. DIXON
R. FARSKY
ROBERT L. HENRY
FRANK W. JOYCE

OSWIN KEIFER, Jr.
RALPH O. LANE
DOMINIC C. LaVALLA
CHARLES A. McVEAN
DIXON O'BRIEN, Jr.
HERMAN G. PROTZE III
LEWIS H. TUTHILL
ROGER E. WILSON

Esta guía establece procedimientos relativos a la construcción de hormigón que les sirvan de pauta a propietarios, arquitectos e ingenieros en el planeamiento de su programa de inspección. Se hace énfasis en la necesidad de inspección adecuada como requisito para obtener un hormigón de alta calidad y grata apariencia, al menor costo.

Palabras claves: agregados; hormigones con aire incorporado, hormigón decorativo; tuberías vaciadas en sitio; piedra vaciada, cementos; construcción en clima frío; construcción de hormigón; acabado del hormigón (hormigón fresco), gráficas de control; transporte; curado; excavación; falla, encofrados (construcción); cimentaciones; construcción en clima cálido; **Inspección;** hormigones livianos; mampostería; hormigón masivo; **dosificación de la mezcla;** mezclado, hormigón de agregado precolocado, inyección a presión; hormigón preesforzado, revestimientos protectores; **control de calidad;** hormigón reforzado, aceros de refuerzo, hormigones proyectados, **normas;** diseño estructural; terrazo, **ensayos;** construcción prefabricada; hormigón tratado al vacío.

* Este informe reemplaza al titulado "Recommended Practice for Concrete Inspection (ACI 311-75)" que ha sido retirado.

Copyright © 1980, American Concrete Institute.

Esta guía trata sólo de la parte organizativa y conductora de la inspección del hormigón. Se preparó para guiar a los propietarios, arquitectos e ingenieros en el desarrollo de programas y organizaciones efectivos de inspección y en la selección de procedimientos para llevar a cabo una inspección adecuada, por encargo o en nombre del propietario, para la aceptación de trabajos de hormigón y para aquellos aspectos de garantía de calidad que son su preocupación directa. La guía no cubre la materia, igualmente importante, del control de calidad, que es la inspección y ensayos que el contratista puede necesitar para lograr un producto de la calidad especificada. Tampoco cubre aquellos proyectos en que la inspección de calificación se lleva a cabo por parte del contratista, bien sea, porque así lo exigen los reglamentos aplicables (por ejemplo, tanques para reactores nucleares), o, bien, porque el propietario desea este procedimiento. En ese caso, se aplican muchos de los procedimientos técnicos expuestos aquí. Sin embargo, las relaciones de procedimiento diferirán de las que se muestran a continuación.

Las recomendaciones se basan en prácticas que la experiencia ha probado ser prácticas y efectivas en la reducción de fallas, la prevención de errores y la mejora de la adherencia a las especificaciones. La inspección adecuada de la construcción de hormigón permite el uso de procedimientos y especificaciones avanzadas de diseño y frecuentemente acelerará la construcción y reducirá el costo del trabajo. Más aún, se espera que reduzca los costos de mantenimiento. Todas las relaciones contractuales y técnicas están por fuera del alcance de esta guía; en consecuencia, deberán quedar definidas en los documentos del contrato.

Así como la inspección que se efectúa en nombre del propietario, como parte del esfuerzo de garantía de calidad, beneficia a aquél, de la misma manera el esfuerzo de inspección realizada por el contratista, como parte de su programa de control de calidad, beneficia a éste. Normalmente, la resistencia promedio requerida es más baja cuando el trabajo se inspecciona en forma apropiada; por consiguiente, se requiere menos cemento para la misma resistencia de diseño. Cuando un contratista proporciona hormigón sobre la base de contenido de cemento especificado, los esfuerzos de inspección para mantener el contenido de aire uniforme beneficia al contratista, porque el rendimiento es bajo cuando el contenido de aire también lo es. En trabajo prefabricado, la inspección para cumplir con las tolerancias dimensionales resulta posteriormente en menos gastos, al acomodar las unidades prefabricadas en el edificio. Entónces, de nuevo, la reducción en los errores de variación en el asentamiento o contenido del aire del hormigón liviano debida a la inspección es ventajosa para el contratista, al proporcionar una operación de colocación más libre de problemas, especialmente en lo que se refiere al acabado. La inspección tiende a impedir los errores costosos y revela, a menudo, la oportunidad de efectuar cambios, que ahorran dinero, a medida que el trabajo progresa.

REQUISITOS GENERALES

Para la protección del propietario y del público, la responsabilidad de la inspección deberá radicar en el arquitecto o ingeniero como función continua de su responsabilidad de diseño. El arquitecto o ingeniero asumirán dicha responsabilidad directamente o a través de sus empleados, o la delegarán a una agencia de inspección seleccionada por él mismo. En aquellos casos en que el propietario proporciona su propio servicio de ingeniería, el mismo propietario deberá seleccionar la agencia de inspección. Los honorarios de inspección constituyen un ítem separado y distinto y tienen que ser pagados por el propietario directamente al arquitecto o ingeniero, o a la agencia de inspección. Puesto que la responsabilidad final de la inspección queda en el arquitecto o ingeniero, uno de estos deberá mantener estrecha vigilancia sobre quién esté llevando a cabo los detalles de la inspección para él. En ningún momento resulta aconsejable que la inspección de calificación o los ensayos hagan parte de las funciones del contratista de la construcción, excepto cuando así lo requieran la ley o los reglamentos aplicables, o cuando el propietario considere que sus intereses quedan mejor servidos por un tal arreglo. Más aún, por tratarse de un servicio profesional, la selección de los servicios de inspección deberá basarse en méritos.

PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS

Se ha encontrado a través de los años y de una gran variedad de proyectos, que los siguientes factores y procedimientos son valiosos y aumentan la probabilidad de lograr el objetivo de los diseños y especificaciones. Como consecuencia, se obtiene una obra terminada que servirá en forma adecuada el propósito para la cual se construyó, con costo mínimo de mantenimiento. Se encontrarán más detalles en el *Manual ACI de Inspección del Hormigón*, que deberá usarse como guía para todo el personal involucrado en la inspección, junto con algunas otras normas del ACI.

1. El propósito de la inspección es garantizar que se siguen buenas prácticas al construir el proyecto, de acuerdo con los planos y especificaciones, y no establecer estas prácticas. Para cualquier cambio que se considere necesario en los planos o especificaciones es de rigor consultar al arquitecto o ingeniero, de manera que el diseñador tenga oportunidad de tomar las decisiones finales en todos los cambios que afecten sus diseños. La inspección no libera al contratista de su responsabilidad de hacer el trabajo en forma apropiada, de acuerdo con los documentos del contrato; por otra parte, mientras sea evitable, la inspección no ha de interferir con la ejecución del trabajo por parte del contratista, de acuerdo con los documentos del contrato. El personal de inspección deberá cooperar con el contratista pero abstenerse de manejar la obra por él, puesto que no es parte de la función de inspección y puede resultar en reclamos indeseables, en caso de problemas posteriores.

2. Puesto que el arquitecto o ingeniero tienen la responsabilidad final de la inspección en esta guía, el propietario tiene que procurarles los medios inherentes a esta responsabilidad. El arquitecto o ingeniero deberán planear la inspección de acuerdo con el carácter, magnitud e importancia de la obra, y dar al propietario un estimativo del costo aproximado de ella.

3. La inspección apropiada actúa en forma continua durante el vaciado del hormigón y su terminación, e incluye las labores anteriores al comienzo del hormigonado, como son: establecimientos de un encofrado apropiado y colocación del refuerzo, etc., lo mismo que la protección apropiada y el curado del hormigón terminado. En proyectos grandes, o cuando se deseen hormigón, resistencia, densidad o textura especiales, es necesario proporcionar inspección continua de las operaciones de dosificación y amasado.

4. El arquitecto o ingeniero deberán cuidar que el trabajo sea hecho por inspectores calificados y conscientes, puesto que ello es vital para que la inspección sea efectiva. Cuando no se cuenta con tal personal, o cuando haya requisitos especiales en los diseños y especificaciones, será necesario llevar a cabo un entrenamiento previo, para calificar a los inspectores.

5. Tiene gran importancia que se reúnan el arquitecto o ingeniero con el contratista y el personal de inspección justamente antes de comenzar la construcción. En tal reunión se puede dar respuesta a las inquietudes y revisar los procedimientos, de manera que todos sepan por adelantado qué se espera obtener y cómo se va a llevar a cabo el trabajo. Muy importante entre los ítems por revisar es el procedimiento que debe seguir el inspector cuando encuentre que no se cumplen los requisitos del contrato. Este entendimiento previo minimizará las discusiones futuras y le dará al inspector estatus y conocimiento del respaldo que puede esperar y, al mismo tiempo, confianza en que lo recibirá.

6. La siguiente constituye una lista parcial de las funciones de inspección que es preciso tener en cuenta:

- (a) Inspección y verificación de facilidades de dosificación y amasado.
- (b) Comprobación de la dosificación de mezclas de hormigón.
- (c) Inspección de la planta de dosificación.
- (d) Inspección, ensayo y verificación de materiales.
- (e) Inspección de formaletas, acero de refuerzo, entibados, arriostramientos, ítems embebidos, juntas, etc.
- (f) Inspección del equipo de manejo y vaciado del hormigón, por ejemplo, baldes, ductos, canecas, tolvas, vibradoras, bombas, etc.
- (g) Inspección del manejo, vaciado, consolidación, acabado, curado, protección y reparación o emparchamiento del hormigón.
- (h) Inspección en la planta de ítems prefabricados, incluyendo trabajo de preesforzamiento, en cuanto a resistencia, dimensiones y propiedades especiales.
- (i) Inspección de desencofrado, remoción de formaletas y apuntalamiento.
- (j) Preparación y ensayo de los especímenes para determinar la resistencia del hormigón.
- (k) Informes diarios sobre todos estos ítems.

7. El número necesario de inspectores para llevar a cabo un programa tal variará de un trabajo a otro (dependiendo del tamaño, importancia, organización del contratista, etc.) y su determinación corresponde al arquitecto o ingeniero para cada caso particular.

Los ítems a los que se debe prestar atención bajo estas funciones de inspección se encontrarán en el Apéndice A*.

El Manual ACI de Inspección del Hormigón también tiene que ver con el tema de la inspección.

8. A menos que se establezca otra cosa en las especificaciones, el hormigón inspeccionado de acuerdo con las provisiones de esta guía, deberá cumplir la condición de que el promedio de todos los conjuntos de tres ensayos consecutivos de resistencia iguale o exceda el valor requerido f_c' y que ningún resultado individual (promedio de dos cilindros) de ensayo de resistencia, esté más de 35 kg/cm² por debajo del f_c' requerido (de acuerdo con la norma ACI 318-77, sección 4.8.2.3) †

FACTORES DE CONVERSION DEL SISTEMA CORRIENTE DE LOS ESTADOS UNIDOS AL SISTEMA SI (METRICO)*

Para convertir de	a	multiplique por
Longitud		
pulgada	milimetro (mm)	25.4 E1
pie	metro (m)	0.3048 E1
yarda	metro (m)	0.9144 E1
mill (estatutaria)	kilómetro (km)	1.609
Area		
pulgada cuadrada	centimetro cuadrado (cm ²)	6.451
pie cuadrado	metro cuadrado (m ²)	0.0929
yarda cuadrada	metro cuadrado (m ²)	0.8361
Volumen (capacidad)		
onza	centimetro cúbico (cm ³)	29.57
galón	metro cúbico (m ³) †	0.003785
pulgada cúbica	centimetro cúbico (cm ³)	16.4
pie cúbico	metro cubico (m ³)	0.02832
yarda cubica	metro cúbico (m ³) †	0.7646
Fuerza		
kilogramo fuerza	newton (N)	9.807
kilolibra fuerza	newton (N)	4448
libra fuerza	newton (N)	4.448
Presión o esfuerzo (fuerza por unidad de área)		
kilogramo fuerza/metro cuadrado	pascal (Pa)	9.807
kilolibra fuerza/pulgada cuadrada (ksi)	megapascal (MPa)	6.895
newton/metro cuadrado (N/m ²)	pascal (Pa)	1.000 E1
libra fuerza/pie cuadrado	pascal (Pa)	47.88
libra fuerza/pulgada cuadrada (psi)	kilopascal (kPa)	6.895
Momento flector o torsor		
libra fuerza-pulgada	newton-metro (Nm)	0.1130
libra fuerza-pie	newton-metro (Nm)	1.356
kilogramo fuerza-metro	newton-metro (Nm)	9.807

* El Apéndice A no se duplica aquí. La misma información se da en el Capítulo 23 de este manual.—El editor.

† Puesto que el Código de Construcción del ACI está sometido a revisión periódica, el lector deberá verificar los requisitos vigentes y cumplir con ellos.

Para convertir de

a multiplique por

Masa		
onza masa (avoirdupois)	gramo (g)	28.34
libra masa (avoirdupois)	kilogramo (kg)	0.4536
tonelada (métrica)	megagramo (Mg)	1.000E
tonelada (coita 2000 lbm)	megagramo (Mg)	0.9072

Masa por unidad de volumen		
libra masa/pie cúbico	kilogramo/metro cúbico (kg/m ³)	16.02
libra masa/yarda cúbica	kilogramo/metro cúbico (kg/m ³)	0.5933
libra masa/galón	kilogramo/metro cúbico (kg/m ³)	119.8

Temperatura §		
grados Fahrenheit (°F)	grados Celsius (°C)	$t_c = (t_f - 32)/1.8$
grados Celsius (°C)	grados Fahrenheit (°F)	$t_f = 1.8t_c + 32$

*Esta lista seleccionada da factores prácticos de conversión de las unidades que se encuentran en tecnología del hormigón. La fuente de referencia informativa sobre las unidades SI y los factores de conversión más exactos es la norma "Standard for Metric Practice", ASIM E 380. Los símbolos de las unidades métricas van entre paréntesis.

† E indica que el factor dado es exacto.

‡ Un litro (decímetro cúbico) es igual a 0.001 m³ o 1000 cm³.

§ Estas ecuaciones sirven para convertir toda lectura de temperatura de un sistema al otro, e incluyen las correcciones necesarias de escala. Para convertir una diferencia de temperatura de grados Fahrenheit a Celsius basta dividir por 1.8, es decir, un cambio de 70 a 88 grados Fahrenheit representa un cambio de 18°F o 18/1.8 = 10°C.

INDICE

A

Absorción
 —Agregado grueso, 409
 —Agregado fino, 410
 —Ensayos, 65
 Acabado, 185, 257
 —Hormigón decorativo, 283
 —Superficies formadas, 189
 —Superficies no formadas, 185
 Acabado de agregado expuesto, 285
 Acelerantes, 201
 Aceptación, 256
 —Hormigón decorativo, 289
 Acero de refuerzo, 74, 243, 443
 Aditivos, 72
 —Dosificación, 127
 —Manejo y almacenamiento, 83
 Agregados
 —Dosificación, 100
 —Ensayos, 55, 61, 63, 64, 65, 69, 385, 410
 —Ensayos de granulometría, 61
 —Humedad y absorción, 65
 —Manejo y almacenamiento, 78
 —Muestreo, 57
 —Peso específico, 68
 —Propiedades indeseables, 71
 Agregado fino, 104
 Agregado grueso, 104
 Agua, 72
 —Dosificación, 126
 Agujeros, reparación, 209
 Aire incorporado, 92
 Amasado
 —Central, 129
 —Hormigón decorativo, 282
 Anclajes, 371
 Aperturas, 160
 Apoyo de la formaleta, 194
 Apoyos, 356
 Arena, ensayos, 64

B

Básculas, 125
 Base estabilizada, 239
 Bases de maquinaria, inyección, 376

C

Calor de hidratación, 90
 Cemento compensador de contracción, 343
 Cementos, 53, 439
 —Dosificación, 97
 —Manejo y almacenamiento, 77
 —Muestreo y ensayo, 55
 Cimentaciones, 146, 238
 Clima cálido, pavimentación, 264
 Compuestos para el curado, 75
 Conservación de registros, 418
 Consistencia, 114
 —Ensayos, 387
 Consolidación, 181
 —A mano, 182
 —Hormigón decorativo, 283
 —Vibración, 182
 Construcción, 375, 445
 Construcción bajo agua, 304
 Construcción de juntas, 234
 Construcción de losas izadas, 299
 Construcción en dos capas, 231
 Construcción prefabricada de voltear, 296
 Contenido de agregado grueso, 397
 Contenido de aire, 387, 388, 389
 Contenido de humedad por secamiento, 411
 Contracción de fraguado, hormigón, 93
 Control de temperatura, hormigón masivo, 339
 Control de calidad, 15

Curado, 197
 —Acelerado, 200, 394
 —Compuestos, 75
 —Con láminas impermeables, 200
 —Con membrana, 198
 —Con vapor, 358
 —De especímenes de prueba, 391
 —De hormigón decorativo, 287
 —De losas sobre el terreno, 232
 —De pavimentos, 255
 —De reparaciones, 215
 —En clima cálido, 203
 —En clima frío, 161
 —Húmedo, 197
 —Protección, 91

CH

Chorro de arena, 284

D

Daños, 196, 265
 Defectos superficiales, 290
 Deflexión, 366
 Demostración de acabados, 275
 Desencofrado, 193
 Destensionamiento, 367, 368
 Desviación estándar, 44
 Diseño, 273
 Distribución normal, 24, 41
 Dosificación, 119, 438
 —Aditivos, 127
 —Agua, 126
 —Cantidades, 112, 114
 —Hormigón decorativo, 281
 —Hormigón premezclado, 133
 —Tolerancias, 120
 Dosificación de la mezcla, 96, 291
 —Condiciones de exposición, 105
 —Control, 112
 —Especificación, 96
 —Hormigón decorativo, 281
 —Relación agua-cemento, 98
 —Resistencia a las heladas, 105
 —Resistencia especificada, 97
 Dosificación volumétrica, 128

E

Elementos embebidos, 160
 Encofrado, 292, 295, 297, 300
 Ensayo de asentamiento, 141, 387
 Ensayo de carga, 402
 Ensayos de consistencia, 141, 387
 Ensayo de penetración de bola, 141, 143, 387
 Ensayo de resistencia a la flexión, 392
 Ensayos, 141, 346, 381
 —Agregados, 61, 385, 410
 —Arena, 64, 408
 —Asentamiento, 387
 —Cementos, 55
 —Consistencia, 387
 —Contenido de aire, 387
 —Estructuras terminadas, 401
 —Granulometría de los agregados, 61
 —Hormigón, 385, 446
 —Humedad y absorción, 65
 —Informes, 358
 —Lavado, 397
 —Materiales finos, 63
 —Penetración de bola, 387
 —Peso específico, 68
 —Peso unitario, 70, 398
 —Relación de vacíos, 69
 —Resistencia, 390
 —Uniformidad, 396
 Ensayos de resistencia, 390
 —Gráficas de control, 31
 Ensayos no destructivos, 402
 Ensayos no destructivos, 402
 Equipo, 445
 —De bombeo, 306
 —De dosificación, 126
 —De pesaje, 121
 —De transporte, 167
 —Para hormigón masivo, 338
 Especificaciones, 3
 —Dosificación de la mezcla, 96
 —Hormigón decorativo, 270
 Especímenes
 —Cilíndricos, 391
 —Curado, 391, 393
 —Curado acelerado, 394
 —Para ensayos a flexión, 392
 Espumas (hormigón celular), 328
 Estadística, 18
 —Conceptos, 16, 22

—Herramientas, 25
 —Procedimientos, 18
 Estructuras en servicio, reparación, 211
 Estructuras terminadas, pruebas, 401
 Estructuras verticales, 291
 Estuco, 383
 Excavación, 146
 Expansión
 —De agregados, 71
 —Del hormigón, 93

F

Formaletas, 148
 —Hormigón decorativo, 277
 —Hormigón prefabricado, 355
 —Pavimentos, 240
 —Texturas, 278
 Formaletas ascendentes, 149
 Formulario de verificación, 162
 Frotación con sacos, 208
 Fundaciones, 146
 —Pavimentos, 238
 Garantía de calidad, 15
 —Conceptos estadísticos, 16
 Gráficas de control, 28, 30, 31, 32, 33
 —Materiales del hormigón, 48
 Gráficas de control de calidad, 414
 Gráficas de control de distribución de frecuencias, 28
 Grietas, hormigón decorativo, 290

G

H

Hinchamiento, hormigón, 93
 Hinchamiento de agregados, 71
 Hormigón, 84, 448
 —Acabado, 185
 —Amasado, 129
 —Composición de la pasta, 87
 —Contracción de fraguado y expansión, 93

—Curado y protección, 91
 —Dosificación de la mezcla, 96
 —Ensayos, 385
 —Fraguado, 88
 —Hidratación, 90
 —Losas, 226
 —Pavimentos, 244
 —Producción, 415
 —Resina epóxica, 218
 —Resistencia a las heladas, 91
 —Sedimentación, 86
 —Tiquete de entrega, 417
 Hormigón aislante de peso liviano, 327, 395
 Hormigón al vacío, 305
 Hormigón con agregado precolocado, 302
 Hormigón de alta densidad, 332
 Hormigón decorativo, 269
 —Aceptación, 289
 —Curado, 287
 —Formaletas, 277
 —Materiales, 280
 —Reparaciones, 211, 288
 Hormigón endurecido, núcleos, 401
 Hormigón estructural
 —De agregado liviano, 321
 —Masivo, 340
 —Reparaciones, 211
 Hormigón expuesto, reparaciones, 206
 Hormigón liviano de relleno, 326
 Hormigón masivo, 336
 —Presas, 336
 Hormigón para bombeo, 306
 Hormigón preesforzado, 351, 443
 Hormigón preesforzado vaciado en sitio, 370
 Hormigón prefabricado preesforzado, 362
 Hormigón prefabricado, 351, 353
 —Curado, 358, 359
 Hormigón premezclado, 132
 Hormigón proyectado, 311
 Hormigón recién mezclado, 387
 Hormigón rociado neumáticamente, 311
 Hormigón "tremie", 304
 Hormigonado, 165
 Hormigoneras, 396
 Hormigueros, 290
 Humedad, ensayos, 65

I

Impurezas orgánicas, 408
 Incorporación de aire, dosificación, 101
 Informe de inspección preliminar a la dosificación, 414
 Informe de las hormigoneras de camión, 416
 Informes, 413
 Insertos, 356
 Inspección
 —Amasado, 414
 —Colocación, 139
 —Definición, 1
 —Especificaciones, 3
 —Final, 162
 —Lista de verificación, 450
 —Medidas y tolerancias, 12
 —Organizaciones, 4
 —Plantas, 357
 —Plantas de amasado, 135, 414
 —Planta de dosificación, 414
 —Preliminar, 145
 —Procedimientos, 277
 —Responsabilidades, 5
 Inspector
 —Autoridad, 10
 —Calificaciones, 8
 —Deberes, 7
 —Educación y certificación, 9
 Inyección, 302, 303, 372
 —A presión, 375
 —Bases de maquinaria, 376
 —En el campo, 381
 —Metálica catalizada, 379
 —Platinas de apoyo, 376
 Inyecciones
 —De relleno, 222
 —Formadoras de gas, 377
 —Inencogibles, 381, 382

J

Juntas, 160, 161, 257
 —De construcción, 161, 190, 192, 262
 —De contracción, 160, 161, 258, 261
 —De expansión, 160, 259
 —Sellamiento, 263

Juntas longitudinales
 —De construcción, 262
 —De contracción, 261
 Juntas no planeadas de construcción, 192
 Juntas planeadas de construcción, 190
 Juntas transversales de construcción, 260

K

Kelly, ensayo de bola, 141, 143

L

Láminas impermeables, 200
 Lista de verificación, 450
 Losas, 226
 —Estructurales, 234
 —De superficie endurecida, 231
 —Refuerzo, 226
 Losas sobre terreno, 227
 —Curado, 232

LL

Lluvia, 265

M

Manejabilidad, 114
 Manejo y almacenamiento 77, 78, 82, 365
 —Aditivos, 83
 —Agregados, 78
 —Cemento, 77, 78
 —Materiales puzolánicos, 82
 —Tendones, 365
 Máquetas, 273
 Martellinamiento, 284
 Material cementoso, 102
 Materiales, hormigón decorativo, 280

Materiales de hormigón, gráficas de control, 48, 49, 50, 51
 Materiales finos, 406
 —Ensayos, 63
 Materiales para juntas, 75
 Materiales puzolánicos, manejo y almacenamiento, 82
 Método a presión, contenido de aire, 387
 Método gravimétrico, contenido de aire, 389
 Método volumétrico, contenido de aire, 389
 Mezcla de ensayo, 346
 Miembros prefabricados, 288
 Mortero, 383
 —Resina epóxica, 218
 Mortero húmedo de paquete, 377
 Muestra de referencia de diseño, 273
 Muestras, 273
 —Transporte y manipulación, 404
 Muestreo
 —Agregados, 57, 405, 406
 —Aleatorio, 33, 37, 39
 —Cemento, 55
 —Métodos, 385

N

Nivelación, 238
 Números aleatorios, 33

O

Organizaciones, inspección, 4

P

Paquete de mortero húmedo, 377
 Partículas desmenuzables, 407
 Pasadores, 259
 Pasta
 —Cantidad, 102
 —Dosificación de la mezcla, 102
 —Resistencia a las heladas, 105

Pavimentación, 246
 Pavimentadoras, 248
 Pavimentos
 —Cimentación, 238
 —Formaletas, 240
 —Hormigón, 244
 —Refuerzo, 243
 Peso específico
 —Agregado grueso, 409
 —Agregados, 68
 —Agregado fino, 410
 —Ensayos, 68
 Peso unitario, 390
 —Ensayos, 70
 —Hormigón estructural liviano, 400
 —Mortero libre de aire, 398
 Plantas, 354, 357
 —Hormigón prefabricado, 354
 Plantas de amasado, inspección, 135
 Platinas de apoyo, inyección, 376
 Porcentaje de sólidos, 108
 Postensionamiento, 351
 Presas, 336
 Pretensionamiento, 351
 Prevención de la adherencia, 299
 Protección, 196
 —Hormigón decorativo, 289
 Pulimento, 284
 Puzolanas, 341

R

Reapuntalamiento, 194
 Refuerzo, 293, 355
 —Acero, 74
 —Colocación, 154
 —Hormigón decorativo, 280
 —Losas, 226
 —Pavimentos, 243
 Registros, 358, 413
 Relación agua-cemento especificada, 98
 Relleno de grietas, 222
 Remoción de formaletas, 193
 Remoción de manchas, 210
 Rendimiento, 116
 Reparación de manchas, 206
 Reparaciones
 —Agujeros, 209
 —Curado, 215

- Estructurales, 216
- Estructuras en servicio, 211
- Hormigón decorativo, 211, 288
- Hormigón estructural, 211
- Hormigón expuesto, 206
- Hormigón proyectado, 312
- Materiales, 216
- Relleno por inyección, 222
- Superficies a la vista, 206

Requisitos de la mezcla, losas, 226

Resina epóxica

- Hormigón, 218
- Reparaciones, 216, 218
- Seguridad, 218

Resistencia a la compresión, 395

- Distribución normal, 25
- Pruebas, 390

Resistencia a la tensión indirecta, 394

Resistencia a las heladas, 91, 105

- Agregados, 106
- Incorporación de aire, 106
- Pasta, 105

Resistencia del hormigón, cálculo, 44, 46

Resistencia especificada, 98

Revestimiento de formaletas, 279

S

Sedimentación, hormigón, 86

Seguridad, 319, 369, 373

- Resina epóxica, 218

Selladores de formaleta, 279

Sellamiento de juntas, 263

Silos, 126

Sistema polimérico, 382

Sistemas cementosos, 380

Sub-base, 238

Subrasante, 238

Superficies a la vista hechas con formaleta, 206

Superficies no formadas, 185

T

Tableros de puente, 237, 265

Temperatura, hormigón, recién amasado, 390

Tendones, 364, 365, 366, 367, 369

- Adheridos de pretensionamiento, 364
- De postensionamiento, 369

Terrones de arcilla, 407

Textura, 253

Tiempo cálido, 264

Tolerancias, medición, 120

Tolvas de pesaje, 121

Trabajabilidad, 114

Tránsito premajuro, 265

Transporte, 166

- Hormigón decorativo, 282

Tratamiento de la superficie

- Hormigón decorativo, 283

Tubos vaciados en sitio, 295

U

Unidades prefabricadas, 449

Uniformidad

- Ensayos, 396
- Hormigón decorativo, 276

V

Vaciado, 173, 294, 297, 317

- Hormigón decorativo, 283
- Hormigón bombeado, 309

Vacios, ensayos, 69

Vacios internos, 355

Vibración, 182

Vibradores, 183, 184

Volumen de partículas, 107, 108