MANUAL DE MANEJO DEL CONCRETO PREMEZCLADO EN OBRA

Del recibo al desencofrado, en vigas y columnas con alta congestión de refuerzo

Aplicación	Obras de edificación en concreto reforzado con concreto premezclado, con énfasis en vigas y columnas con alta congestión de refuerzo
Alcance	Pedido, recibo, transporte y bombeo, colocación y consolidación, ensayos de resistencia, encofrado y desencofrado, curado y manejo del clima
Concretos de los ejemplos	f'c = 21 MPa en vigas y losas y f'c = 28 MPa en columnas y muros; en cada obra se reemplazan por los de los planos
Productor	El que contrate cada obra; el manual no depende del proveedor
Norma base	NSR-10 Título C (C.3 a C.7, C.10 y C.11); NTC 396, 454, 550 y 673; ediciones por verificar en el ejemplar oficial
Revisión	0 · 8 de octubre de 2026

PREPARADO POR

Diádica Proyectos e Ingeniería S.A.S. — Consultoría especializada e Investigación · Laboratorio HSG

Autor: Ing. Oscar Darío Moreno Borja · Ingeniero Civil — Especialista en Ingeniería Sismorresistente — MSc (C) · M.P. 05202156500 ANT

oscar@diadicaing.com · www.diadicaing.com

Cómo citar este documento: Diádica Proyectos e Ingeniería S.A.S. — Laboratorio HSG (2026). *Manual de manejo del concreto premezclado en obra: del recibo al desencofrado*. Rev. 0. Barbosa (Antioquia).

Rev.	Fecha	Descripción	Preparó
0	8 de octubre de 2026	Emisión inicial	O. D. Moreno B.

Contenido

1. Objeto y uso del manual 6
2. Responsables y registros 6
3. Compatibilidad entre la mezcla y el refuerzo 7
3.1 Tamaño máximo nominal del agregado 7
3.2 Espacio para la aguja del vibrador 8
3.3 Consistencia y tolerancia 9
3.4 Concreto fluido de ficha comercial 9
3.5 Mortero de arranque 10
3.6 Datos del pedido 10
3.7 Documentos del productor y aprobación de la mezcla 11
4. Recibo del concreto en obra 12
4.1 Tiempos 14
4.2 Agua y aditivos en obra 14
4.3 Decisión en el recibo 14
5. Liberación de la formaleta y del refuerzo 15
5.1 Presión sobre la formaleta de columnas 16
5.2 Tuberías y ductos embebidos 17
5.3 Tolerancias de formaleta, refuerzo y contraflecha 18
6. Transporte en obra y bombeo 18
6.1 Métodos de transporte en obra 19
6.2 Planeación del bombeo 19
6.3 Cebado de la línea y descarte de la lechada 21
6.4 Muestreo y control en la descarga 21
6.5 Operación durante el bombeo 22
6.6 Transporte sin bomba 24
7. Colocación en columnas, vigas y nudos 24
7.1 Orden de los elementos 24
7.2 Columnas 25
7.3 Vigas 25
7.4 Nudos viga–columna 25
7.5 Preparación de las juntas de construcción 26
8. Consolidación 26
8.1 Vibración interna 27
8.2 Vibración externa mecánica 27
8.3 Martillo de caucho 28
9. Ensayos de resistencia a la compresión 29
9.1 Frecuencia 29
9.2 Elaboración y curado de los cilindros 30
9.3 Juego por muestra (propuesta) 31
9.4 Aceptación y no conformidad 31
10. Encofrado y desencofrado 32
10.1 Cuidados antes del vaciado 32
10.2 Retiro de formaletas verticales 32
10.3 Fondos de vigas y puntales 33
10.4 Manejo de la formaleta al retirarla 35
10.5 Inspección después de desencofrar 35
11. Curado y protección 35

11.1 Protección del concreto recién colocado 36
12. Clima: días de sol intenso y días de lluvia 36
12.1 Evaluación del riesgo en cada vaciado 37
12.2 Días de sol intenso 38
12.3 Días de lluvia 38
13. Trazabilidad, no conformidades y otros controles 39
13.1 Plano de vaciado y trazabilidad 39
13.2 No conformidades 40
13.3 Charla previa al vaciado 40
13.4 Manejo ambiental del concreto sobrante y del lavado 40
13.5 Madurez y ensayos no destructivos para decidir el desencofrado 41
14. Valores propuestos por Diádica que el ingeniero responsable debe confirmar 41
15. Bibliografía 42
Anexos: formatos de campo 46
Anexo A Liberación de vaciado 46
Anexo B Recibo de camión 47
Anexo C Registro de colocación y consolidación 48
Anexo D Autorización de desencofrado 49
Anexo E Inspección después de desencofrar 50
Anexo F Registro de bombeo (con base en la lista NRMCA, ASCC y ACPA) 51
Anexo G Plano de vaciado y trazabilidad 52
Anexo H Registro de no conformidad 53
Anexo I Inspección del refuerzo antes del vaciado 54
Anexo J Control de resistencias 55
Anexo K Registro de curado diario 56
Anexo L Clima y evaporación por vaciado 57
Anexo M Desapuntalamiento y reapuntalamiento por nivel 58
Anexo N Equipos y calibraciones 59
Anexo O Programación semanal de vaciados 60
Anexo P Registro fotográfico por vaciado 61

Lista de figuras

Figura 1. Colocación por capas en columna y ventana de vibrado en vigas....8
Figura 2. Colocación con bomba en un elemento con refuerzo denso....10
Figura 3. Bomba con pluma y camión mezclador....11
Figura 4. Ensayo de asentamiento....13
Figura 5. Equipo del ensayo de asentamiento....13
Figura 6. Formaletas de muro y de losa....16
Figura 7. Ruta del concreto bombeado y puntos de control....18
Figura 8. Bomba de remolque y autobomba con pluma....19
Figura 9. Camión mezclador alimentando la bomba....22
Figura 10. Manguera final guiada por el manguerero....24
Figura 11. Vibrador interno y regla vibratoria....27
Figura 12. Vibradores externos de formaleta....28
Figura 13. Montaje de vibradores externos....28
Figura 14. Vibradores externos en obra....28
Figura 15. Equipo para elaborar cilindros y viguetas....30
Figura 16. Elaboración, curado y ensayo de cilindros....31
Figura 17. Deformación excesiva de una losa recién vaciada....33
Figura 18. Secuencia de retiro de puntales....34
Figura 19. Variación de la resistencia con la edad....34
Figura 20. Métodos de curado....36
Figura 21. Tasa de evaporación según el viento y la temperatura....37

Lista de tablas

Tabla 1. Letras de origen de los requisitos..... 6
Tabla 2. Responsables y evidencias..... 6
Tabla 3. Tamaño máximo nominal del agregado y separación libre requerida..... 7
Tabla 4. Separación libre entre barras y cabeza de aguja que cabe..... 8
Tabla 5. Asentamientos propuestos para elementos congestionados..... 9
Tabla 6. Documentos del productor antes del primer pedido..... 11
Tabla 7. Resistencia promedio requerida f'cr según la desviación estándar de la planta..... 12
Tabla 8. Secuencia de recibo de cada camión..... 12
Tabla 9. Tiempos de descarga y colocación según la fuente..... 14
Tabla 10. Decisiones en el recibo..... 14
Tabla 11. Lista de liberación de la formaleta y del refuerzo..... 15
Tabla 12. Presión hidrostática sobre la formaleta de columnas..... 16
Tabla 13. Requisitos para tuberías y ductos embebidos (NSR-10 C.6.3)..... 17
Tabla 14. Métodos de transporte en obra..... 19
Tabla 15. Tamaño máximo del agregado frente al diámetro de la línea..... 20
Tabla 16. Velocidad de ascenso en columnas según el caudal de la bomba..... 20
Tabla 17. Controles durante el bombeo..... 22
Tabla 18. Preparación de las juntas de construcción..... 26
Tabla 19. Métodos de consolidación..... 26
Tabla 20. Montaje y operación de vibradores externos..... 27
Tabla 21. Frecuencia mínima de muestreo..... 29
Tabla 22. Elaboración y curado de cilindros..... 30
Tabla 23. Criterios de aceptación de resistencia y de núcleos..... 31
Tabla 24. Tipos de formaleta..... 32
Tabla 25. Clasificación de hormigueros y acciones..... 35
Tabla 26. Métodos de curado..... 35
Tabla 27. Tasa de evaporación en escenarios de ejemplo..... 37
Tabla 28. Medidas en días de sol intenso..... 38
Tabla 29. Medidas en días de lluvia..... 39
Tabla 30. Pasos para tratar una no conformidad..... 40
Tabla 31. Valores propuestos por Diádica que se confirman en cada obra..... 41



1. Objeto y uso del manual

Este manual fija cómo se maneja el concreto premezclado en obra, desde el pedido y el recibo del camión hasta el desencofrado, y cómo lo verifica la supervisión técnica. Está pensado para edificaciones donde las vigas y las columnas llevan mucho refuerzo y poco espacio libre entre barras, aunque sus controles sirven para cualquier elemento. Lo deben tener a mano el residente de obra, el maestro de la cuadrilla de vaciado, el laboratorista y el delegado del productor. Complementa los planos y las especificaciones; si hay diferencia, manda el documento contractual y, por encima de él, la norma.

En elementos con mucho refuerzo los defectos suelen venir del paso del concreto: la mezcla no entra entre las barras, la aguja del vibrador no alcanza a consolidarla o la formaleta cede con una mezcla más fluida de lo previsto. El manual empieza midiendo el espacio libre real (capítulo 3) y termina con los registros de lo que se hizo (anexos). En el medio están el recibo, la liberación de la formaleta, el transporte en obra y el bombeo, la colocación, la consolidación, los ensayos, el desencofrado, el curado y el manejo del clima, con días de sol intenso y días de lluvia.

Cada requisito lleva una letra de origen para que se sepa cuál es exigible y cuál es una decisión de la supervisión:

Tabla 1. *Letras de origen de los requisitos*

Letra	Significado
N	Requisito de la NSR-10 (Título C o su comentario). Es exigible.
T	Norma técnica o guía citada por la NSR-10 o por los productores (NTC, ASTM, ACI). Se verifica la edición vigente en el ejemplar oficial antes de exigirla por contrato.
F	Recomendación de un productor o de una guía técnica (Argos, Ultracem, Asocreto, 360 en Concreto). Sirve de referencia; no obliga.
D	Criterio de Diádica, propuesto para adoptar en cada obra. Se justifica donde aparece y se resume en el capítulo 14, para que el ingeniero responsable lo confirme o lo cambie antes del primer vaciado.

2. Responsables y registros

En el recibo el laboratorista hace los ensayos, y la decisión de aceptar o detener una mezcla la toman la supervisión y el constructor. La tabla muestra las demás responsabilidades.

Tabla 2. *Responsables y evidencias*

Quién	Responsabilidad	Evidencia
Supervisión técnica	Libera cada vaciado, verifica el recibo, decide en caso de no conformidad, autoriza el desencofrado junto con el diseñador y exige los registros.	Anexos A a P
Constructor (residente)	Procedimiento escrito de vaciado, de formaletería y de desencofrado y reapuntalamiento, definido antes de empezar (N: C.6.2.2.1). Personal, equipos y curado.	Procedimientos firmados

Quién	Responsabilidad	Evidencia
Productor del concreto	Diseño de mezcla, remisión completa, técnico de despacho, correcciones con aditivo y curva de retención del asentamiento.	Remisión y diseño de mezcla
Laboratorio	Muestreo y ensayos con técnicos calificados (N: C.5.6.1). Los informes se distribuyen de inmediato al propietario, al diseñador, al constructor y a la supervisión.	Informes de ensayo
Diseñador estructural	Umbrales de resistencia para retirar formaletas y apuntalamiento, dispensas a C.3.3.2, tratamiento de columnas con f'c mayor que el entrepiso (C.10.12) y juntas de construcción.	Comunicación escrita

3. Compatibilidad entre la mezcla y el refuerzo

El pedido de concreto se define con el espacio libre medido en la jaula armada. Para eso se hacen tres comprobaciones: el tamaño máximo del agregado, el paso de la aguja del vibrador y la consistencia de la mezcla.

3.1 Tamaño máximo nominal del agregado

El tamaño máximo nominal del agregado grueso no puede pasar de 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado ni de 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre barras, paquetes, tendones o ductos (N: C.3.3.2). En vigas y columnas congestionadas gobierna la segunda condición, medida en el punto más cerrado de la jaula, que casi siempre es un traslapo o un nudo (la separación libre también se aplica entre un empalme y las barras vecinas, N: C.7.6.4).

TMN ≤ 0,75 · s_libre s_libre ≥ TMN / 0,75 b_min ≥ 5 · TMN

Tabla 3. Tamaño máximo nominal del agregado y separación libre requerida

TMN (mm)	Separación libre mínima entre barras (mm)	Menor lado de encofrado (mm)	Designación
9,5	12,7	47,5	3/8"
12,7	16,9	63,5	1/2"
19,0	25,3	95,0	3/4"
25,4	33,9	127,0	1"

Ejemplo con barras de 25,4 mm (No. 8). La distancia libre mínima de diseño entre barras de una capa es la mayor entre db y 25 mm (N: C.7.6.1), es decir 25,4 mm, y el TMN permitido queda en 0,75 × 25,4 = 19,05 mm: el agregado de 3/4" pasa con apenas 0,05 mm de margen. En columnas, la distancia libre es la mayor entre 1,5 db y 40 mm (N: C.7.6.3): 38,1 mm gobierna a 40 mm, y el TMN permitido sube a 30 mm. Si el espacio medido en el punto más cerrado da un TMN menor que el de la mezcla contratada, hay dos salidas: pedir otro TMN, o conseguir por escrito del profesional facultado para diseñar la dispensa que prevé el mismo C.3.3.2 cuando la trabajabilidad y los métodos de compactación aseguran que no habrá hormigueros ni segregación; esa dispensa no la puede dar la supervisión.

3.2 Espacio para la aguja del vibrador

La separación libre entre barras se calcula con la sección interior de los estribos. Para n barras de diámetro db en una capa, con recubrimiento r y estribo de diámetro de:

$$s_{libre} = [\, b - 2\cdot(r + d_e) - n\cdot d_b \,] / (n - 1)$$

Con r = 40 mm, estribo de 9,5 mm y barras de 25,4 mm resulta lo siguiente. Los valores de r y d_e se cambian por los de los planos.

Tabla 4. Separación libre entre barras y cabeza de aguja que cabe

Ancho b (mm)	Barras n	s_libre (mm)	Cumple 25,4 mm	Cabeza de aguja que cabe (s − 10 mm)
250	4	16,5	No (no cabe en una capa)	—
250	3	37,4	Sí	Hasta 27 mm
300	4	33,1	Sí	Hasta 23 mm
300	3	62,4	Sí	Hasta 52 mm
400	4	66,5	Sí	Hasta 56 mm

Criterio Diádica (D). Para que la cabeza entre sin acuñarse y pueda moverse, la ventana libre debe ser al menos la cabeza más 10 mm. Con cabezas comerciales de 25, 35, 45 y 60 mm se piden ventanas de 35, 45, 55 y 70 mm. El margen de 10 mm es una propuesta que se valida con la prueba de aguja en seco del primer vaciado (capítulo 5). En una viga de 300 mm con cuatro barras por capa no hay paso para ninguna aguja de 25 mm o más; la vibración debe entrar por una ventana más ancha, agrupando las barras hacia los lados, o apoyarse en vibración externa. Esa decisión se toma con el diseñador antes de armar la jaula.

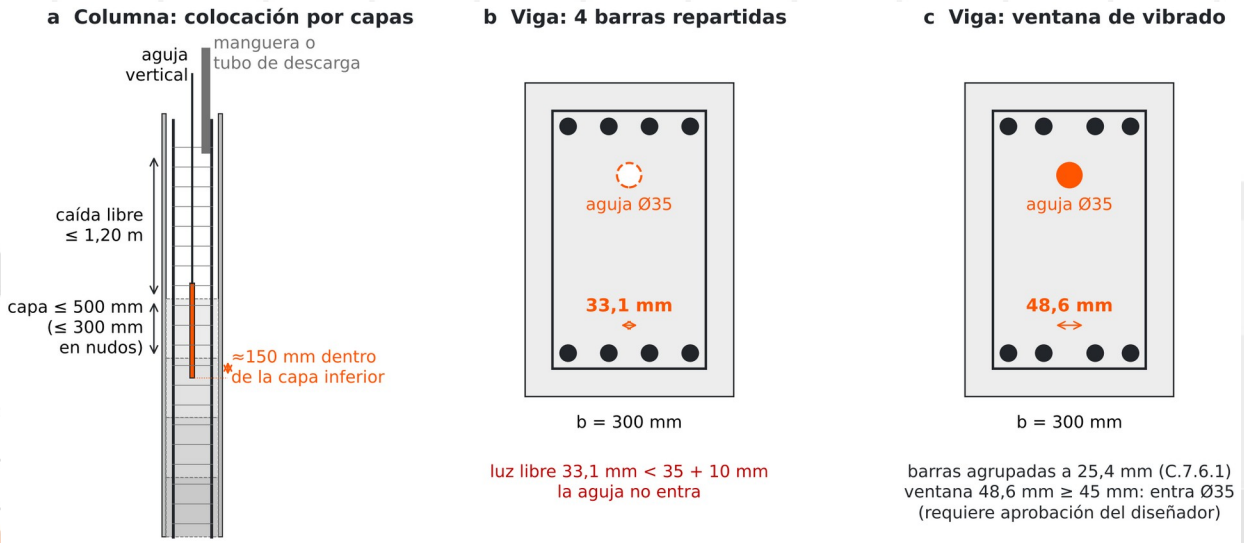


Figura 1. (a) Colocación por capas en columna: caída libre, espesor de capa y penetración de la aguja; (b) viga de 300 mm con cuatro barras No. 8 repartidas, donde la aguja de 35 mm no entra; (c) las mismas barras agrupadas en las esquinas, con ventana de 48,6 mm. Recubrimiento 40 mm y estribo de 9,5 mm. Esquema, no plano de obra. Fuente: elaboración propia, Diádica — Laboratorio HSG, con NSR-10 C.7.6.1 y los valores de 3.2 y 7.2.

3.3 Consistencia y tolerancia

La resistencia especificada no determina el asentamiento. Para elementos con alta congestión se proponen los valores de la tabla, que son propuestas de Diádica y no exigencias de la NSR-10. En cada obra se ajustan con los planos y con la verificación del acceso de la aguja.

Tabla 5. *Asentamientos propuestos para elementos congestionados*

Elemento	Condición	Nominal (mm)	Rango con ±25 (mm)
Vigas y losas 21 MPa	Alta congestión y vibrado viable	175	150 – 200
Nudos y vigas 21 MPa	Congestión severa, vibrado viable	200	175 – 225
Columnas y muros 28 MPa	Alta congestión y vibrado viable	175	150 – 200
Zonas confinadas 28 MPa	Congestión severa	200, o alternativa de consolidación o de mezcla	175 – 225

La tolerancia general de la NTC 3318 para asentamientos nominales mayores de 100 mm es de ±40 mm (≤50 mm: ±15 mm; de 50 a 100 mm: ±25 mm), según la reproducción consultada, que debe contrastarse con el ejemplar oficial. Con ±40 mm, un nominal de 175 mm admitiría de 135 a 215 mm: el extremo bajo limita el flujo entre las barras y el alto aumenta el riesgo de segregación. Se propone entonces ±25 mm como tolerancia contractual particular, a acordar con el productor según su capacidad de control en planta. La fluidez se obtiene con aditivo plastificante o superplastificante dosificado en planta y no con agua añadida, y el productor entrega la curva de retención del asentamiento (valor a la salida, a la llegada y a los 30, 60 y 90 minutos) con la temperatura del ensayo.

La estabilidad se juzga mirando la mezcla después de retirar el cono: no debe aparecer mortero separado del agregado grueso, ni agregado grueso acumulado al centro, ni agua en el borde. Si aparece alguna de las tres, hay segregación o exudación aunque el asentamiento esté dentro del rango.

3.4 Concreto fluido de ficha comercial

Si se piden mezclas más fluidas que las de la tabla anterior, conviene conocer lo que declara una ficha comercial de concreto fluido (Ultracem, versión 2, vigencia 15 de octubre de 2016; solicitar la actualización): asentamiento 229 ± 25 mm (9 ± 1"), bombeable; manejabilidad en obra de 1,5 h ± 15 min; fraguado inicial de 8 ± 1 h y final de 9 ± 1 h; densidad 2300 a 2400 kg/m³; aire naturalmente atrapado máximo 2,0 %. Las condiciones de esa ficha son las de su producto: colocar máximo 45 minutos después de llegar a la obra, tomar el asentamiento dentro de los 15 minutos siguientes a la recepción y limitar la caída libre a 1,20 m. No se trasladan como regla general a otro productor.

Esto tiene dos consecuencias. La primera es que un fraguado inicial de ocho horas obliga a revisar los plazos de desencofrado (capítulo 10). La segunda es que no poder introducir la aguja no lleva automáticamente a un concreto autocompactante: primero se evalúa vibración externa o combinada con formaleta preparada. Si se elige un autocompactante, se definen flujo, capacidad de llenado,

paso entre barras y estabilidad, y no se le aplica por defecto el procedimiento del concreto convencional.

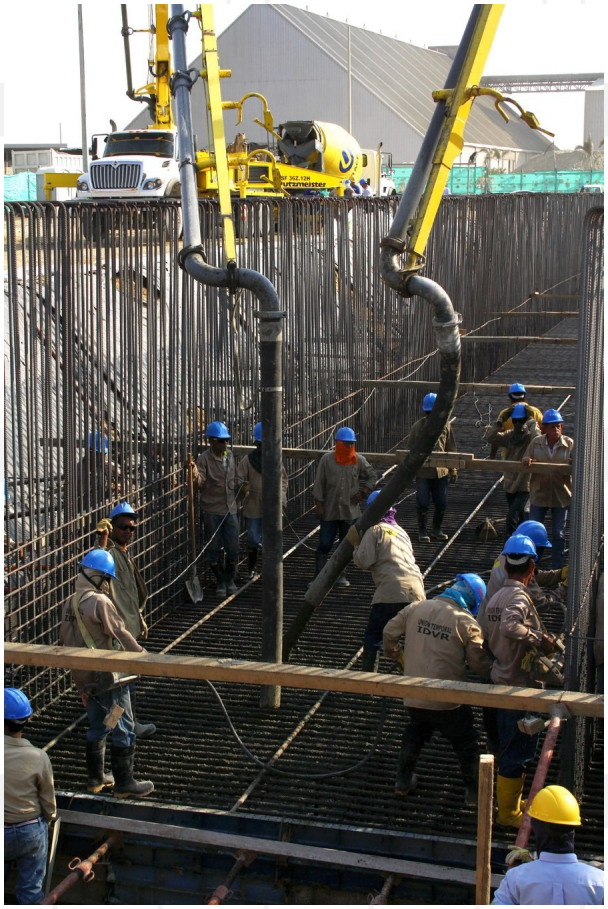


Figura 2. Colocación con bomba en un elemento con refuerzo denso. Fuente: Ultracem, ficha técnica Concreto Fluido, versión 2 (2016).

3.5 Mortero de arranque

El comentario de la NSR-10 a C.5.10 recuerda que la edición de 1971 pedía, donde la compactación era difícil o el refuerzo estaba congestionado, una capa inicial de mortero de por lo menos 25 mm con las mismas proporciones de cemento, arena y agua del concreto, y dice que la práctica conserva sus méritos y puede incorporarse a las especificaciones de la obra, con la responsabilidad y vigilancia del supervisor técnico. El mortero se coloca inmediatamente antes del concreto y en estado plástico, ni rígido ni fluido. **Criterio Diádica (D):** se adopta en el pie de las columnas y sobre las juntas de construcción de zonas congestionadas, y lo prepara el productor.

3.6 Datos del pedido

- Elemento, nivel y eje; resistencia y edad; volumen de cada vaciado y ritmo de entrega en m^3/h.
- Tamaño máximo nominal (capítulo 3.1), asentamiento nominal y tolerancia (3.3), curva de retención y tiempo de manejabilidad.
- Método de colocación (bomba o grúa con balde) y longitud de la línea. Las tuberías de aluminio o de aleaciones de aluminio no se admiten en bombeo, tremie o canales, salvo

tramos cortos como el de descarga del camión; el comentario de C.5.9 reporta pérdidas de resistencia de hasta 50 % por el hidrógeno que se genera (N).



Figura 3. *Bomba con pluma y camión mezclador en una edificación en altura.* *Fuente: Ultracem, ficha técnica Concreto Fluido, versión 2 (2016).*

- Aditivos autorizados y quién puede dosificarlos en obra. Intervalo de aceptación del asentamiento que se aplica en el punto de recibo.

3.7 Documentos del productor y aprobación de la mezcla

Antes del primer pedido de cada clase de concreto, el productor entrega la documentación que demuestra que su mezcla puede cumplir el criterio de aceptación del capítulo 9. La NSR-10 exige que la dosificación se establezca según C.5.3 (experiencia de obra o mezclas de prueba) o C.5.4, y que cumpla los requisitos de durabilidad del Capítulo C.4 (N: C.5.2.3). La mezcla debe producir una resistencia promedio bastante mayor que f'c, y esa sobrerresistencia depende de la variabilidad de la planta (N: comentario a C.5.3).

Tabla 6. *Documentos del productor antes del primer pedido*

Documento	Contenido exigido	Origen
Registro de ensayos de la planta	Menos de 12 meses de antigüedad, con materiales y control de calidad similares a los de la obra; 30 ensayos o más, o entre 15 y 29 con el factor de modificación de la tabla C.5.3.1.2	N: C.5.3.1
Desviación estándar s_s y resistencia promedio requerida f'cr	Calculadas con las ecuaciones de la tabla C.5.3.2.1, o con la tabla C.5.3.2.2 si no hay registro aceptable	N: C.5.3.2
Diseño de mezcla por clase	Materiales, relación a/mc, tamaño máximo nominal, aditivos y dosis, asentamiento nominal y categoría de exposición de los planos	N: C.5.3.3 y C.4
Ficha técnica vigente	Tiempos de fraguado, retención del asentamiento con la temperatura de ensayo y condiciones de colocación	D
Certificados de materiales	Cemento y agregados con sus normas de producto vigentes	D

Para f'c ≤ 35 MPa, f'cr es el mayor entre f'c + 1,34·s_s y f'c + 2,33·s_s − 3,5 (N: ecuaciones C.5-1 y C.5-2). La primera asegura una probabilidad de 1 en 100 de que el promedio de tres ensayos consecutivos quede por debajo de f'c; la segunda, la misma probabilidad de que un ensayo individual quede más de 3,5 MPa por debajo (N: comentario a C.5.3.2.1). Sin registro aceptable, f'cr = f'c + 8,3 MPa para 21 ≤ f'c ≤ 35 MPa (N: tabla C.5.3.2.2). Con 15 ensayos, s_s se multiplica por 1,16; con 20, por 1,08; con 25, por 1,03 (N: tabla C.5.3.1.2).

Tabla 7. Resistencia promedio requerida f'cr según la desviación estándar de la planta

f'c (MPa)	s_s = 2,5	s_s = 3,0	s_s = 3,5	s_s = 4,0	Sin registro (+8,3)
21	24,4	25,0	25,7	26,8	29,3
28	31,4	32,0	32,7	33,8	36,3

Criterio Diádica (D). La supervisión verifica que el f'cr declarado por el productor sea al menos el que resulta de su propia s_s con estas ecuaciones. Si el productor no tiene registro aceptable, la mezcla se diseña para f'c + 8,3 MPa. Ningún camión de la clase se despacha mientras ese documento no esté aprobado.

4. Recibo del concreto en obra

El recibo es el último momento en que una mezcla defectuosa se puede rechazar antes de colocarla. La secuencia es la misma para cada camión y la hace el laboratorista con el residente presente, bajo la autoridad de la supervisión.

Tabla 8. Secuencia de recibo de cada camión

Paso	Acción	Criterio	Origen
1	Comparar la remisión con el pedido: productor, número de remisión, fecha, camión, obra, clase de concreto, volumen, hora de carga y agua añadida.	Coincide con el pedido (clase, TMN, asentamiento)	T / D
2	Mirar la mezcla: homogeneidad, ausencia de segregación y de agua libre en la canaleta.	Aspecto uniforme	F
3	Confirmar que la formaleta está liberada y que los equipos están probados.	Anexo A firmado	D
4	Tomar la muestra en dos o más porciones espaciadas regularmente durante la descarga, en el tercio medio del viaje (entre 15 % y 85 % de la descarga). Nunca lo primero ni lo último que sale. Remezclar con pala.	NTC 454 (ASTM C172)	T / F
5	Medir el asentamiento dentro de los 15 minutos siguientes a la recepción.	NTC 396; máximo 2,5 min desde el llenado hasta retirar el cono	F / T
6	Contrastar con el intervalo aprobado (capítulo 3.3) y decidir (cuadro 4.3).	Anexo B	D

Paso	Acción	Criterio	Origen
7	Si se acepta, moldear los cilindros dentro de los 15 minutos siguientes a la toma de la muestra y registrar la temperatura del concreto y la hora.	Capítulo 8	F

La selección de los camiones que se muestrean no se hace por apariencia ni por comodidad: la elección debe ser al azar dentro del periodo de colocación, no se hace más de un ensayo por tanda y no se agrega agua después de tomar la muestra (N: comentario a C.5.6.2.2).

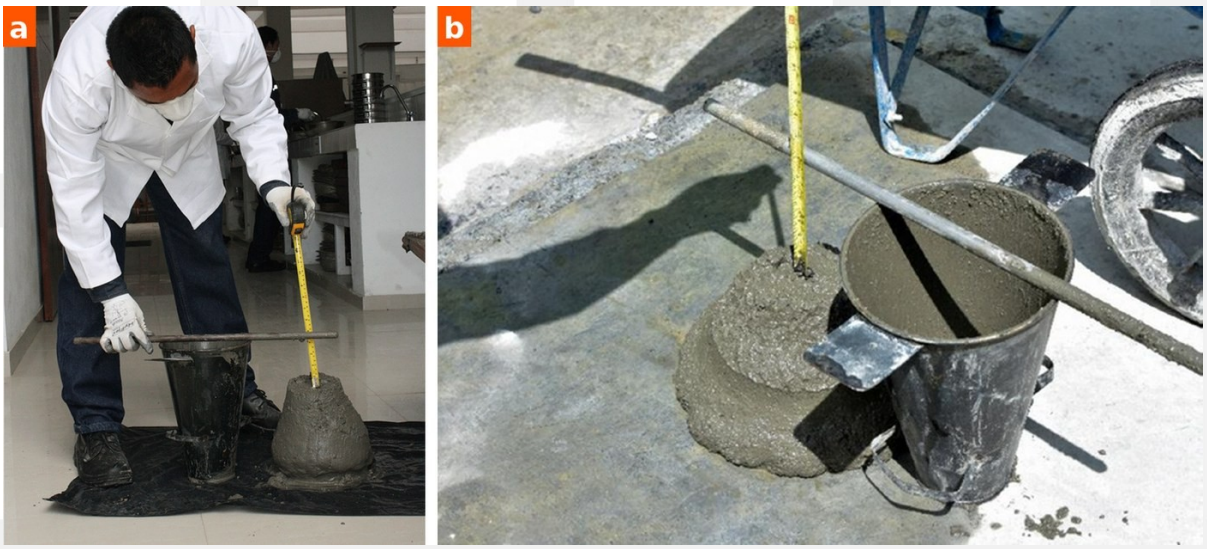


Figura 4. *(a) Ensayo de asentamiento según la NTC 396; (b) medición del asentamiento junto al cono. Fuente: (a) 360 en Concreto, «Ensayos al concreto: ¿qué y cómo?» (Redacción 360 en Concreto), crédito Archivo Asocreto; (b) Argos, Guía básica Preparación de concreto en obra, versión 2, p. 13.*

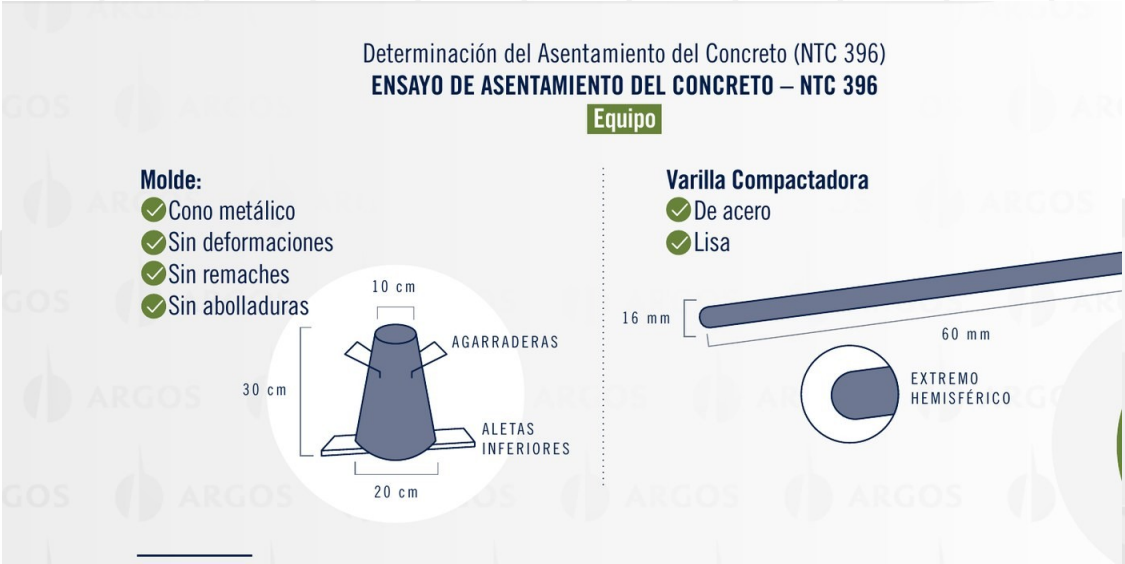


Figura 5. *Equipo del ensayo de asentamiento: cono metálico de 100 mm (boca), 200 mm (base) y 300 mm de altura, y varilla compactadora lisa de 16 mm con extremo hemisférico. Fuente: Argos, Guía básica Preparación de concreto en obra, versión 2, p. 12.*

4.1 Tiempos

Las fuentes consultadas no coinciden en un tiempo único, y no se debe generalizar ninguno como límite absoluto.

Tabla 9. *Tiempos de descarga y colocación según la fuente*

Fuente	Tiempo	Aplica a
Argos, cartilla V2	Máximo 60 min entre el mezclado y la colocación; menos de 30 min en clima cálido	Referencia general (F)
Ultracem, ficha concreto fluido	Colocar máximo 45 min después de llegar a la obra; ensayo de asentamiento dentro de 15 min	Ese producto (F)
NTC 3318 / ASTM C94	Descarga completa dentro de 1,5 h desde que el agua entra en contacto con el cemento; el comprador puede dispensar el límite si el concreto conserva asentamiento para colocarse sin agua adicional	Concreto premezclado (T: citada por ASCC, PS-32)
NSR-10 C.5.10.3 y C.5.10.4	No colocar concreto parcialmente endurecido, ni remezclado después del fraguado inicial sin aprobación del diseñador	Todo concreto (N)

Criterio Diádica (D). Manda la ficha del producto pedido y la curva de retención que entregue el productor. A falta de ambas, el límite es de 90 minutos, que corresponde a la hora y media de ASTM C94 (NTC 3318) contada desde que el agua entra en contacto con el cemento; el comprador puede dispensarlo si el concreto conserva asentamiento suficiente para colocarse sin agregar agua (ASCC, PS-32). En climas cálidos o con concreto caliente se exige al productor la curva con la temperatura real de la obra.

4.2 Agua y aditivos en obra

La NSR-10 no permite usar concreto al que se le haya añadido agua después de preparado, ni mezclado después del fraguado inicial, salvo aprobación del diseñador (N: C.5.10.4). El comentario aclara que la práctica de la NTC 3318 de agregar agua para alcanzar el asentamiento especificado sigue siendo válida mientras no se violen los límites de tiempo de mezclado ni la relación a/mc. La guía del productor de Ultracem advierte que cualquier adición de agua, aditivo o cemento en obra altera el diseño de la planta. Una guía de la NRMCA sobre ASTM C94 resume la adición de agua así: antes de descargar una cantidad significativa (alrededor de 0,2 m^3), registrada en la remisión, aprobada por el representante del comprador, sin pasar el asentamiento ni la relación a/mc máximos, y con 30 revoluciones del tambor a velocidad de mezclado.

Criterio Diádica (D). En vigas y columnas congestionadas no se agrega agua en obra. Si el asentamiento está bajo, la corrección es con aditivo, dosificado por el técnico del productor, con autorización escrita de la supervisión, remezcla según el procedimiento del productor y nuevo ensayo sobre otra porción. El exceso de agua baja la resistencia de forma drástica (Argos) y en estos elementos deja sin resistencia justo donde el refuerzo es más denso.

4.3 Decisión en el recibo

Tabla 10. *Decisiones en el recibo*

Resultado	Acción

Cumplir el asentamiento no demuestra resistencia ni aceptación integral de la mezcla. La aceptación de la resistencia sigue su propio criterio (capítulo 9).

5. Liberación de la formaleta y del refuerzo

Ningún camión sale de la planta mientras la supervisión no haya firmado la lista del Anexo A. La lista junta lo que la norma exige antes de colocar el concreto (N: C.5.7.1 y C.6.1) con las comprobaciones propias de una jaula congestionada. La verificación se hace con la formaleta cerrada y con la aguja que se va a usar.

Tabla 11. *Lista de liberación de la formaleta y del refuerzo*

Verificación	Criterio	Origen
Formaleta limpia	Sin aserrín, clavos, puntas, pedazos de madera ni escombros	N / F
Desmoldante	Aplicado y sin charcos	N: C.5.7.1(c)
Hermeticidad	Sin fuga de mortero; juntas selladas	N: C.6.1.2
Estabilidad	Arriostrada y amarrada para conservar posición y forma; plomos y verticalidad medidos; viento fuerte suspende los trabajos	N: C.6.1.3 / F
Refuerzo	Libre de óxido suelto, mugre y recubrimientos perjudiciales; recubrimientos con separadores; estribos en su posición	N: C.5.7.1(e)
Agua libre	Retirada del lugar de colocación antes de depositar	N: C.5.7.1(f)
Ventanas de limpieza	En el pie de columnas y fondos de vigas; cerradas antes del vaciado	D
Ventanas de vibrado	Ubicadas según 3.2 y marcadas en el plano de vaciado	D
Prueba de aguja en seco	La aguja que se usará baja hasta el fondo de la zona más cerrada sin forzarse	D
Equipos	Agujas probadas, una de reserva por cada dos en servicio; vibradores externos fijados; bomba y mangueras revisadas; iluminación	D
Personal	Un vibradorista asignado por zona y un vigía de formaleta	D
Laboratorio	Presente con moldes, cono y varilla	D
Procedimiento	Orden de elementos, punto de inicio, juntas previstas y ritmo firmados por el residente	N: C.5.10.5



Figura 6. *(a) Formaleta metálica para muros; (b) refuerzo e instalaciones sobre formaleta de losa.* ***Fuente:*** *360 en Concreto, «Tres aspectos importantes para la remoción de las formaletas en una edificación» (O. J. Silva, Asocreto): (a) © Wall-Ties & Forms; (b) cortesía formasdealuminio.*

5.1 Presión sobre la formaleta de columnas

La formaleta se diseña teniendo en cuenta la velocidad y el método de colocación, y las cargas de construcción, incluidas las de impacto (N: C.6.1.5). Las ecuaciones de presión de ACI 347 que usan los diseñadores de formaletería suponen concreto con asentamiento hasta 175 mm (7") y vibración interna hasta 1,2 m (4 ft) de profundidad, según una publicación técnica que reproduce las de ACI 347-04. Las mezclas de la tabla 3.3 llegan a 175 mm y 200 mm nominales, con un extremo superior de 200 a 225 mm, de modo que salen del supuesto de esas ecuaciones. **Criterio Diádica (D):** se pide al diseñador de la formaletería que verifique las columnas con la presión hidrostática completa, $p = \gamma \cdot h$, con $\gamma = 24$ kN/m³ (2400 kg/m³ × 9,81 redondeado al alza; la ficha del concreto fluido declara 2300 a 2400 kg/m³).

Tabla 12. *Presión hidrostática sobre la formaleta de columnas*

Altura de llenado h (m)	p = 24·h (kPa)	Resultante por metro de ancho, 0,5·p·h (kN/m)	Origen
2,0	48	48	D
2,5	60	75	D
3,0	72	108	D
3,5	84	147	D
4,0	96	192	D

Si se usan vibradores externos fijados a la formaleta, el diseño de la formaleta debe contemplar la fijación, la rigidez y la hermeticidad que ese sistema exige.

Calculadora de formaletas de Diádica. Para hacer o revisar este cálculo, Diádica publicó una calculadora de uso gratuito en www.diadicaing.com/formaletas. Trabaja formaletas de columnas y de vigas, en madera o metálicas, y calcula la presión lateral del concreto con las ecuaciones de ACI 347: con las dimensiones del elemento, la altura de llenado y los datos del material entrega los resultados de cálculo de la columna y de la viga, curvas de sensibilidad, un reporte de cálculo en PDF y planos F-01 y F-02 en A3, con la identificación del proyecto, del diseñador y del ingeniero de obra en el rótulo. Como esas ecuaciones suponen asentamientos hasta 175 mm, la

calculadora pasa sola a la presión hidrostática γ·h cuando el asentamiento supera ese valor, y también con concreto autocompactante, vibración externa, bombeo desde la base, profundidad de vibrado mayor de 1,2 m o cemento expansivo; en el bloque «Concreto» un recuadro indica la regla en uso y la razón del cambio. Por ejemplo, en una columna de 2,60 m da 46,5 kPa con asentamiento de 150 o 175 mm (ACI 347) y 62,4 kPa con 180 o 225 mm (24 × 2,60), el mismo criterio de la tabla anterior. Los valores marcados TENT en la aplicación son supuestos típicos y se reemplazan por los del proveedor de la formaleta antes de usar el resultado. La pueden usar el diseñador de la formaletería, el ingeniero calculista o el residente para el chequeo, y la supervisión técnica para revisar el diseño que se le entregue. La calculadora es una herramienta de referencia: no reemplaza el diseño firmado ni la responsabilidad del constructor o del proveedor sobre la formaleta (N: C.6.1).

5.2 Tuberías y ductos embebidos

En columnas y vigas congestionadas las instalaciones eléctricas e hidráulicas compiten por el mismo espacio que la aguja del vibrador. La revisión se hace con la jaula armada y las tuberías instaladas, antes de cerrar la formaleta.

Tabla 13. *Requisitos para tuberías y ductos embebidos (NSR-10 C.6.3)*

Requisito	Verificación en obra	Origen
Ductos, tuberías e insertos que pasan por losas, muros o vigas no deben debilitar significativamente la resistencia	Pasos indicados en los planos o aprobados por el diseñador	N: C.6.3.3
En columnas, tuberías y conexiones no ocupan más del 4 % del área de la sección	Columna de 0,40 × 0,40 m: máximo 6400 mm² (por ejemplo, un tubo de Ø 90 mm ocupa 6362 mm²)	N: C.6.3.4
En losas, muros o vigas (salvo planos aprobados): dimensión exterior ≤ 1/3 del espesor; separación ≥ 3 diámetros centro a centro	Losa de 120 mm: tubos de Ø ≤ 40 mm, separados ≥ 3 Ø	N: C.6.3.5
En losas macizas, las tuberías van entre las capas de refuerzo superior e inferior	Revisión visual antes del vaciado	N: C.6.3.9
Recubrimiento de tuberías y conexiones ≥ 40 mm en superficies expuestas a la intemperie o al suelo, y ≥ 20 mm en las demás	Medir con flexómetro en los puntos más altos	N: C.6.3.10
Refuerzo perpendicular a la tubería con área ≥ 0,002 de la sección de concreto	Verificar en planos de detalle	N: C.6.3.11
Las tuberías no requieren cortar, doblar ni desplazar el refuerzo	Ninguna barra ni estribo movido para pasar un tubo	N: C.6.3.12
Ningún fluido distinto de agua ≤ 32 °C y ≤ 0,35 MPa antes de que el concreto alcance su resistencia de diseño	Pruebas de presión de redes coordinadas con la edad del concreto	N: C.6.3.8

Criterio Diádica (D). Si un ducto queda dentro de la ventana de vibrado definida en 3.2, se reubica el ducto, no la ventana. Los tubos que atraviesan nudos viga–columna se consultan siempre con el diseñador.

5.3 Tolerancias de formaleta, refuerzo y contraflecha

Salvo que el diseñador especifique otra cosa, el refuerzo se coloca con estas tolerancias en la altura útil d y en el recubrimiento (N: C.7.5.2.1): para d ≤ 200 mm, ±10 mm en d y −10 mm en el recubrimiento; para d > 200 mm, ±13 mm y −13 mm. La distancia libre al fondo de la formaleta admite solo −6 mm. Los estribos de vigas se apoyan en el fondo del encofrado con soportes activos, para que el tránsito de obra no los desplace (N: comentario a C.7.5.1).

Para la verticalidad de columnas y muros, ACI 117 admite 0,3 % de la altura sobre la cimentación o el nivel inferior de apoyo, sin pasar de ±25 mm (1 pulgada), en alturas hasta 25 m (T: ACI 117-10, 4.1.1, según la cita consultada; verificar la edición vigente). En una columna de 2,60 m eso da 7,8 mm. Las tolerancias de dimensiones de sección y nivel de fondos las fijan las especificaciones del proyecto; si no las fijan, el constructor propone las de ACI 117 y la supervisión las aprueba antes del primer vaciado.

Contraflecha. Si los planos indican contraflecha en vigas o losas, se mide en el fondo de la formaleta antes de colocar el refuerzo y se registra en el Anexo A. Si no la indican, no se improvisa en obra.

6. Transporte en obra y bombeo

Entre la canaleta del camión y la formaleta el concreto todavía puede cambiar. Se separa si cae o se arrastra, pierde manejabilidad si espera y, en la bomba, se mezcla con la lechada de cebado si nadie la separa. La NSR-10 exige que el concreto se transporte desde la mezcladora hasta el sitio final con métodos que eviten la segregación o la pérdida de material, y que el equipo abastezca sin interrupciones que hagan perder la plasticidad entre capas sucesivas (N: C.5.9.1 y C.5.9.2). El comentario aclara que esas exigencias valen para bombas, cintas, carretillas, cubos de grúa y tubos tremie, y que no se deben usar tuberías de aluminio salvo tramos cortos (N: comentario a C.5.9). La figura siguiente muestra la ruta del concreto bombeado y los puntos que controla la supervisión.

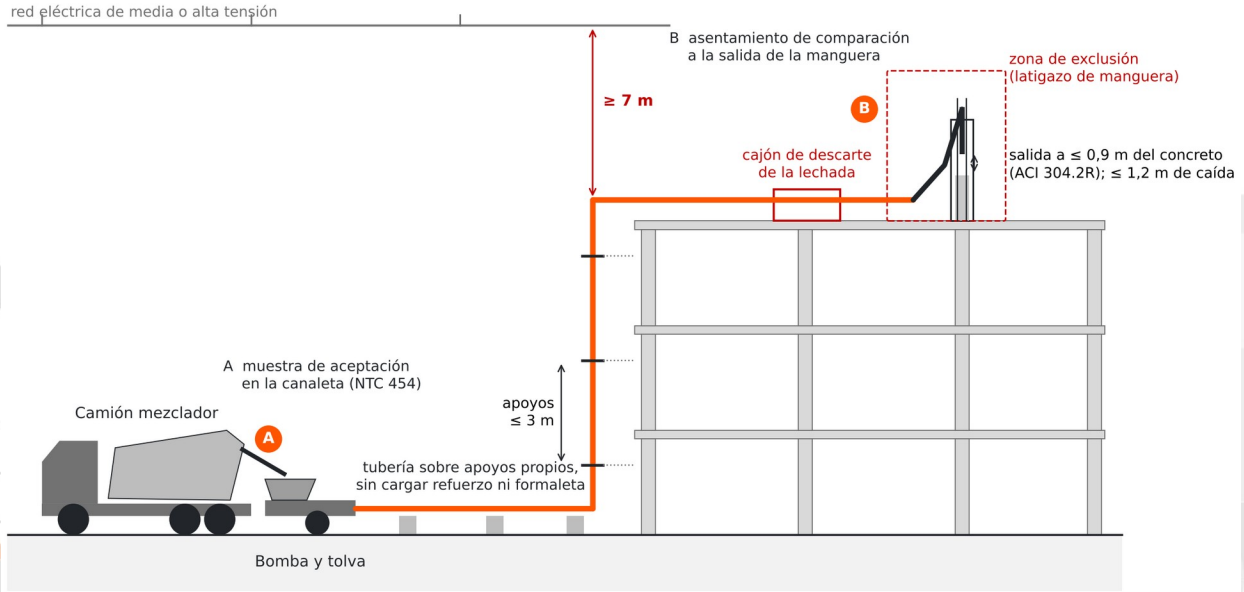


Figura 7. Ruta del concreto bombeado y puntos de control: A, muestra de aceptación en la canaleta; B, asentamiento de comparación a la salida de la manguera; cajón de descarte de la lechada; apoyos de la tubería vertical; zona de exclusión; distancia a redes eléctricas. Esquema, no plano de obra. Fuente: elaboración propia, Diádica — Laboratorio HSG, con los criterios de 6.2 a 6.6 y sus fuentes.

6.1 Métodos de transporte en obra

El método se escoge antes del pedido (3.6), según el elemento, la altura, la distancia y el ritmo que la cuadrilla puede vibrar. Los valores de la tabla son los que publican las fuentes citadas; los de un equipo concreto los da su proveedor.

Tabla 14. *Métodos de transporte en obra*

Método	Alcance publicado	Controles	Origen
Autobomba con pluma	Brazos de 17 a 63 m; se ancla y el brazo se ubica por control remoto	Terreno firme bajo los estabilizadores; distancia a redes eléctricas; manguera final guiada por una sola persona	F: 360 en Concreto (E. Claros, Argos)
Bomba estacionaria con tubería	30 a 80 m³/h; horizontal típica 40 a 300 m; vertical hasta 100 m en condiciones normales; tubos metálicos de unos 3 m	Tiempo de armado de la tubería; apoyos propios; coordinación de la llegada de camiones	F: 360 en Concreto (E. Claros, Argos)
Grúa con balde	Según la grúa	Baldes y ganchos certificados; nada improvisado	F: 360 en Concreto
Carretilla	Hasta 50 m entre producción y frente de colocación	Llanta neumática; rampas y caminos firmes; remezclado manual al llegar; apariencia uniforme	F: Argos, cartilla V2
Canaleta del camión	Alcance de la canaleta	Caída libre ≤ 1,20 m; descarga cerca de la posición final	F / N: C.5.10.1

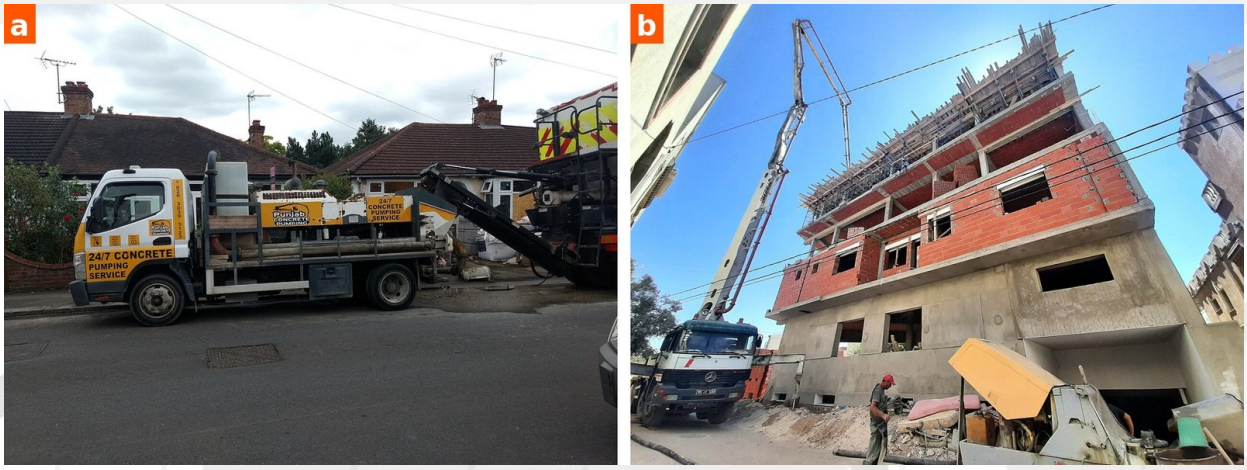


Figura 8. *(a) Bomba de remolque con tubería, para colocación con línea; (b) autobomba con pluma en una edificación de varios pisos. Fuente: (a) Philafrenzy, «Concrete pumping north London (2)», Wikimedia Commons, licencia CC BY-SA 4.0; (b) Habib M'henni, «Coulage de béton pour dalle, Tunisie», Wikimedia Commons, licencia CC BY-SA 4.0. Rótulos añadidos.*

6.2 Planeación del bombeo

La lista de verificación para bombear concreto premezclado que publicaron la NRMCA, la ASCC y la ACPA se usa como base de la reunión previa al primer vaciado bombeado. La supervisión exige que el constructor, el productor y el operador de la bomba la llenen juntos (Anexo F), y que el productor haga una visita técnica previa para revisar las condiciones de entrega y confirmar que la mezcla es bombeable (F: 360 en Concreto). Los puntos de la lista son:

- Contactos del constructor, del productor, del contratista de bombeo, del despacho de planta y de la obra.
- Datos de la bomba: modelo, diámetro y longitud de tubería y de manguera, reducciones, apoyo de los estabilizadores, paradas de emergencia y alarma.
- Condiciones del sitio: hora de armado y de llegada del concreto, volumen, ritmo en m³/h, tiempo por camión, redes eléctricas, señalero y control de tránsito.
- Mezcla: resistencia, tamaño máximo del agregado (no mayor que 1/3 del diámetro interior menor de la tubería), aditivos, rango de asentamiento en el punto de descarga y en el punto de colocación, ajustes permitidos en obra y persona autorizada para pedirlos.
- Ensayos: frecuencia y lugar de toma de muestras (descarga del camión, punto de colocación o junto a la bomba), y sitio de lavado.

Tamaño del agregado frente al diámetro. La regla de 1/3 del diámetro interior menor (NRMCA; F&R, citando ACI 304.2R) incluye la manguera final, que en columnas suele ser la más delgada:

Tabla 15. Tamaño máximo del agregado frente al diámetro de la línea

Diámetro interior (pulg.)	Diámetro (mm)	TMN máximo D/3 (mm)	Agregado de 3/4" (19 mm)
2"	50	16,7	No pasa
3"	75	25,0	Pasa
4"	100	33,3	Pasa
5"	125	41,7	Pasa

Ritmo de la bomba y velocidad de ascenso en columnas. La velocidad de ascenso en una columna es R = Q / A, con Q el caudal de la bomba y A el área de la sección. Con los caudales usuales, una bomba que alimenta una sola columna la llena en menos de un minuto; eso deja sin tiempo al vibradorista y lleva la formaleta a la presión hidrostática completa (5.1).

Tabla 16. Velocidad de ascenso en columnas según el caudal de la bomba

Caudal Q (m³/h)	Columna (m)	Ascenso R = Q/A (m/h)	Tiempo para una capa de 0,5 m (s)
20	0,30 × 0,30	222	8,1
20	0,40 × 0,40	125	14,4
30	0,40 × 0,40	187	9,6
30	0,50 × 0,50	120	15,0
60	0,40 × 0,40	375	4,8

Criterio Diádica (D). Las columnas se vacían por rondas: el operador descarga una capa de hasta 500 mm (300 mm en nudos) en cada columna del frente, en orden, y no vuelve a una columna hasta que su capa anterior está vibrada. El ritmo de la bomba se ajusta al de la cuadrilla de vibrado. Una columna de 0,40 × 0,40 m y 3,0 m de altura recibe 0,48 m³, que a 30 m³/h entran en 58 segundos.

6.3 Cebado de la línea y descarte de la lechada

Antes de bombear se lubrica la tubería con lechada de mortero, de agua y cemento o con mezclas con polímeros (F: 360 en Concreto). Esa lechada no es el concreto de diseño y no entra a la estructura. El Departamento de Edificaciones de Nueva York documentó en diciembre de 2019 fisuración severa en varias columnas de un edificio en altura: la investigación encontró que la lechada de cebado de la autobomba se había colocado en los elementos estructurales en vez de descartarse en cajones, y que la inspección deficiente y los cajones de descarte demasiado pequeños contribuyeron a la decisión (Boletín técnico 2021-003). El mismo boletín pide inspección continua en el punto de descarga, permite un ensayo de asentamiento allí para verificar la consistencia, y sugiere teñir la lechada con colorante para ver cuándo sale de la línea.

Criterio Diádica (D). En cada arranque y después de cada limpieza o destaponamiento de la línea:

1. La lechada y el primer concreto que salga mezclado con ella se descargan en un cajón o recipiente fuera de la formaleta, dimensionado con el volumen de lechada que declare el operador.
2. Un delegado de la supervisión está en la salida de la manguera y autoriza el primer concreto que entra al elemento, cuando la mezcla sale uniforme y con el color del concreto. Si el operador tiñe la lechada, mejor.
3. Nunca se cebará la línea dentro de una columna, de un nudo o de una viga.

Como referencia, el volumen de concreto que queda dentro de la línea es $V = (\pi/4)\cdot D^2\cdot L$: con tubería de 100 mm son 0,24 m³ en 30 m y 0,39 m³ en 50 m; con 125 mm, 0,37 y 0,61 m³. Ese es el volumen que se pierde si hay que purgar la línea por una interrupción larga (6.5).

6.4 Muestreo y control en la descarga

La lista de la NRMCA separa el asentamiento en el punto de descarga del camión y en el punto de colocación, y pide fijar de antemano dónde se toman las muestras. En la práctica norteamericana la muestra de control de calidad se toma en la canaleta del camión, y los ensayos en la manguera pueden dar valores distintos porque la línea cambia la mezcla; una guía técnica reporta pérdidas de aire de 0,5 a 1,0 % como habituales al bombear (F&R, citando ACI 304.2R). En edificación el concreto suele ir sin aire incluido, y entonces la variable que importa es el asentamiento a la salida.

Criterio Diádica (D). La muestra de aceptación (asentamiento y cilindros) se sigue tomando en la descarga del camión según la NTC 454 (capítulo 4; punto A del esquema de este capítulo). En el primer vaciado bombeado de cada clase de concreto se mide además el asentamiento a la salida de la manguera (punto B) sobre el mismo camión, para conocer la pérdida real en la línea. Si con esa pérdida el concreto llega al elemento por debajo del rango de la tabla 3.3, el ajuste se hace en planta, con aditivo y en el diseño de mezcla, no con agua en la tolva.



Figura 9. *(a) Camión mezclador alimentando la tolva de la bomba; (b) camión mezclador y autobomba en posición de trabajo. Fuente: (a) Mattes, «Befüllung einer Betonpumpe», Wikimedia Commons, dominio público; (b) Globetrotter19, «MAN mixer and concrete pump truck, 2020 Budaörs», Wikimedia Commons, licencia CC BY-SA 3.0. Rótulos añadidos.*

6.5 Operación durante el bombeo

Tabla 17. *Controles durante el bombeo*

Tema	Requisito	Origen
Tolva	Llena al menos hasta el eje del agitador; nadie se sube a ella ni mete las manos. Una persona distinta de la que guía la manguera vigila el nivel para que no entre aire	F: 360 en Concreto; SafeWork SA
Arranque	La bomba arranca despacio después del cebado o de un destaponamiento	F: SafeWork SA
Agua	No se agrega agua en la tolva ni en la línea para facilitar el bombeo	N: C.5.10.4 / D
Continuidad	Intervalo entre camiones coordinado con el ritmo de 6.2. El concreto se mantiene plástico para que no fragüe en la línea	N: C.5.9.2 / F
Interrupción	Si la espera supera el tiempo de manejabilidad que queda según la ficha del producto (4.1), se purga la línea y el concreto purgado no entra a la estructura	D
Al parar	Se dobla la manguera para que no caiga concreto ni entre aire	F: SafeWork SA
Manguera final	Llega al punto sin estirarse; en autobomba cuelga casi vertical y la guía solo el manguerero; nunca se dobla con el equipo en marcha; no se le ponen accesorios metálicos en el extremo libre	F: SafeWork SA; 360 en Concreto
Salida	A no más de 0,9 m (3 pies) sobre el concreto (ACI 304.2R); en columnas la manguera entra por la boca o por la ventana hasta cumplir la caída libre de 1,20 m	F / D

Tema	Requisito	Origen
Manguerero	Trabaja sobre una superficie de al menos 450 mm de ancho, no sobre muros de bloque ni bordes sin protección	F: SafeWork SA
Zona de exclusión	Sin personal ajeno cerca de la manguera ni de la tubería en operación	F: SafeWork SA; 360 en Concreto
Tubería	Revisión de conexiones y sujeciones antes de bombear; tubería vertical apoyada al menos cada 3 m; nadie camina sobre ella; apoyos propios, sin cargar refuerzo ni formaleta	F: 360 en Concreto / D
Parada	Todos los involucrados saben cómo detener la bomba antes de encenderla; comunicación acordada entre operador y manguerero	F: 360 en Concreto
Limpieza	Con agua y no con aire. Si se usa aire: extremo asegurado, zona de exclusión, sin reducciones ni manguera, y canastilla para el tapón	F: SafeWork SA
Clima	Evitar el bombeo bajo lluvia y con vientos de más de 75 km/h	F: 360 en Concreto
Redes eléctricas	Al menos 7 m a redes de media y alta tensión y 5 m a baja tensión	F: 360 en Concreto
Camiones	Terreno firme en ruta y parqueo; distancia a zanjas igual o mayor que su profundidad; paso peatonal señalizado; un guía para las maniobras; sitio de lavado de llantas	F: 360 en Concreto

El latigazo de la manguera ocurre cuando aire atrapado en la línea se comprime y se libera. Las causas registradas son el arranque o el reinicio después de mover la bomba, el nivel de la tolva por debajo de la válvula, bombear más rápido de lo que llega el concreto, seguir bombeando con la línea vacía, destaponar la línea, una manguera en mal estado y la caída libre del concreto después de apagar la bomba (SafeWork SA). Las medidas de la tabla que atacan esas causas (vigía de tolva, arranque lento y zona de exclusión) se aplican en todos los vaciados bombeados.

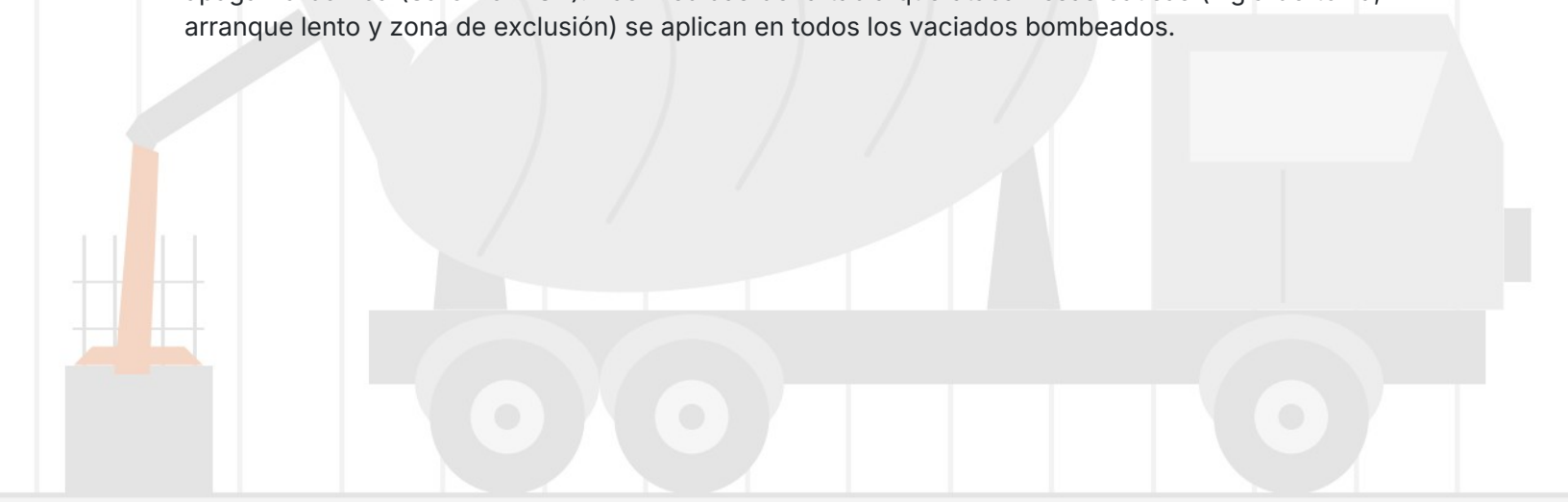




Figura 10. *Colocación con autobomba: el manguerero guía la manguera final, que cuelga casi vertical sobre el elemento.*
Fuente: BPU/Christian Klafsky, «Betoneinbau mit Pumpe», Wikimedia Commons, licencia CC BY-SA 4.0.

6.6 Transporte sin bomba

Con carretilla, el concreto se traslada con cuidado desde el camión hasta el sitio de vaciado, sin superar 50 m de distancia, con recorridos planeados por rampas y caminos provisionales seguros para que sufra los menores golpes y vibraciones. Al llegar se puede hacer un pequeño remezclado manual dentro del recipiente para reducir una posible segregación, y la apariencia del concreto en las carretillas debe ser siempre la misma (F: Argos, cartilla V2). Con grúa se usan baldes y ganchos certificados, sin adaptar elementos ajenos (F: 360 en Concreto). En los dos casos se descarga lo más cerca posible de la posición final (N: C.5.10.1) y se respetan los tiempos de 4.1.

7. Colocación en columnas, vigas y nudos

El concreto se deposita lo más cerca posible de su ubicación final para evitar la segregación por manipulación o desplazamiento (N: C.5.10.1), a una velocidad que mantenga el estado plástico y le permita fluir entre las barras (N: C.5.10.2), y se compacta con medios adecuados hasta que rodee por completo el refuerzo, los embebidos y las esquinas (N: C.5.10.8).

7.1 Orden de los elementos

Las vigas, vigas principales o losas apoyadas sobre columnas o muros no se construyen hasta que el concreto del apoyo vertical haya endurecido al punto de dejar de ser plástico (N: C.6.4.6). La espera evita fisuras en la interfaz por exudación y asentamiento del concreto plástico de la columna. Las vigas, vigas principales y la losa se construyen monolíticamente, salvo que los planos indiquen otra cosa (N: C.6.4.7).

Resistencia de columna y de entrepiso. Si el f'c de la columna supera 1,4 veces el del entrepiso en columnas interiores o de borde, o 1,2 veces en columnas esquineras, la transmisión de carga a través del entrepiso debe resolverse según C.10.12.1 o C.10.12.2 (N). Con los valores de los ejemplos, 28/21 = 1,33: queda por debajo de 1,4, pero por encima de 1,2. Las columnas esquineras de la obra, si la relación se confirma en los planos, requieren que el diseñador defina cuál de las dos soluciones aplica, y esa solución cambia el vaciado del nudo. Se verifica en los planos antes del primer vaciado.

7.2 Columnas

1. Mortero de arranque en el pie (3.5).
2. Descarga con manguera o tubo flexible introducido por la ventana o por encima del refuerzo, de modo que la caída libre quede en 1,20 m o menos (Ultracem; Argos indica entre 0,90 y 1,20 m). La tubería sube con el nivel del concreto.
3. Capas de hasta 500 mm (F: KB Engineering); en nudos y zonas de paso reducido la capa se limita a 300 mm (D, a validar en el primer vaciado, ver capítulo 14).
4. Vibrado de cada capa con la aguja vertical, penetrando unos 150 mm (6") en la capa inferior, entre 5 y 15 segundos por punto y retiro lento y continuo (F: Argos; KB Engineering).
5. Llenado hasta el nivel de proyecto y espera hasta que el concreto de la columna deje de ser plástico antes de colocar las vigas y la losa (7.1).

7.3 Vigas

- Colocación con frente inclinado, avanzando de forma continua desde un extremo, siempre contra concreto ya colocado, para no dejar juntas frías. Una vez iniciada, la colocación es una operación continua hasta terminar el panel o sección definidos por sus juntas predeterminadas (N: C.5.10.5).
- La superficie superior de las capas colocadas entre encofrados verticales debe quedar nivelada (N: C.5.10.6).
- Si el volumen obliga a una junta de construcción, se ubica en el tercio central del vano (N: C.6.4.4); en vigas principales, a una distancia de por lo menos dos veces el ancho de la viga que las intersecta (N: C.6.4.5); y se acuerda antes con el diseñador, incluida la transferencia de cortante (N: C.6.4.3).
- Se descarga cerca de la posición final y no se usa el vibrador para trasladar el concreto de un lado a otro de la viga.

7.4 Nudos viga–columna

El nudo concentra las barras de la viga que lo cruza, las de la columna, los estribos o espirales y los traslapos, y es la zona más difícil de consolidar. Se trata como un vaciado aparte, con la siguiente secuencia:

1. Prueba de aguja en seco con todo el acero colocado y la formaleta cerrada, para confirmar los puntos de entrada.
2. Llenado en capas pequeñas con concreto en el rango de la tabla 3.3 para congestión severa (200 mm nominal), con la aguja entrando por las ventanas de vibrado.
3. Vibración externa, si se previó, sobre la formaleta del nudo con el concreto ya dentro.
4. Revibrado de la parte superior mientras la aguja penetre por su propio peso y el concreto vuelva a fluir. Pasado ese punto, no se vuelve a vibrar (D, a partir de la práctica de revibrado

que describe ACI 309R, citada en el comentario de C.5.10). El revibrado cierra vacíos bajo las barras horizontales y fisuras por asentamiento.

5. Registro del nudo en el Anexo C: quién vibró, con qué aguja, por dónde entró y cuánto tiempo.

7.5 Preparación de las juntas de construcción

Las juntas se ubican según 7.3 y se preparan así antes de la siguiente etapa: la superficie se limpia y queda libre de lechada (N: C.6.4.1), e inmediatamente antes de colocar el concreto nuevo se moja toda la junta y se retira el agua apozada (N: C.6.4.2). El comentario de la NSR-10 explica que el mortero de cemento puro en juntas verticales se eliminó del reglamento porque rara vez es práctico y puede ser perjudicial donde la congestión del refuerzo impide el acceso, y que a menudo es más apropiado un chorro de agua. Cuando el diseño exige transferencia de cortante por fricción, la superficie se deja intencionalmente rugosa según C.11.6.9 (N: C.6.4.3).

Tabla 18. *Preparación de las juntas de construcción*

Momento	Acción	Origen
Concreto aún verde (pocas horas)	Retirar la lechada superficial con chorro de agua y cepillo hasta dejar el agregado expuesto, sin soltarlo	N: comentario a C.6.4.2 / D
Concreto endurecido	Picar o escarificar hasta concreto sano; retirar polvo y partículas sueltas	D
Antes del vaciado	Mojar la junta y retirar el agua apozada; en zonas congestionadas, colocar el mortero de arranque de 3.5	N: C.6.4.2 / D
Pie de columnas	Limpieza por las ventanas inferiores; retirar alambres, aserrín y lechada acumulada	N: C.5.7.1 / D

8. Consolidación

La consolidación reduce el aire atrapado y los vacíos que se forman durante el mezclado, el transporte y el vaciado, que restan resistencia, exponen el concreto a agentes externos y afectan el acabado (Argos). Se selecciona el método según la mezcla, la geometría, el refuerzo y el acceso.

Tabla 19. *Métodos de consolidación*

Método	Dispositivo	Uso y límite
Interno	Aguja de inmersión	Preferente donde la aguja cubre toda la sección. Se usa vertical, nunca inclinada ni acostada.
Externo mecánico	Vibrador eléctrico o neumático fijado a la formaleta	Complemento o alternativa validada en zonas por donde no entra la aguja. Requiere formaleta diseñada para ello.
Superficial	Regla vibratoria	Para losas; alcanza unos 15 cm de profundidad. No cubre zonas profundas congestionadas.
Golpeteo manual	Martillo de caucho	Auxiliar mientras el concreto está fresco; no equivale al sistema externo mecánico ni prueba consolidación interior.



Figura 11. *(a) Vibrador interno de aguja, operado en vertical (aplicación en pavimento); (b) regla vibratoria en la descarga del camión mezclador. Fuente: Argos, Guía básica Preparación de concreto en obra, versión 2, p. 16.*

8.1 Vibración interna

- El diámetro de la cabeza se escoge con el cálculo de 3.2. El espaciamiento entre inserciones no pasa de 1,5 veces el radio de acción del equipo, dato del fabricante (F); las zonas vibradas deben traslaparse.
- Cada inserción dura entre 5 y 15 segundos, según la manejabilidad, y se retira lentamente (F: Argos; KB Engineering).
- Se termina un punto cuando dejan de salir burbujas grandes y la superficie adquiere un brillo de pasta (D, juicio del vibradorista confirmado por el vigía).
- La aguja no se deja apoyada sobre el refuerzo ni se enreda en él, y no se usa para empujar concreto. Si se atrapa, se detiene el motor antes de sacarla.
- Cada vibradorista tiene su zona asignada y una aguja de reserva está disponible (capítulo 5).

8.2 Vibración externa mecánica

Los equipos externos transmiten la energía por la formaleta. Los hay eléctricos (algunos con convertidor) y neumáticos (con compresor de presión y caudal especificados), con abrazaderas rápidas o bases compatibles. Se escoge con el fabricante la fuerza, la frecuencia, la alimentación y el montaje según la formaleta y el elemento, no por potencia, y no se supone que un punto cubra toda la sección. La formaleta debe admitir el sistema: rigidez, hermeticidad, conexiones y soportes, y no se usan fijaciones improvisadas ni se deja el vibrador apoyado. El catálogo de OLI indica operar los vibradores solo cuando el concreto ya está dentro de la formaleta, para evitar resonancias o vibración fuera de control; por eso no se encienden paneles vacíos. Un exceso de vibración segrega el concreto y deforma la formaleta.

Tabla 20. *Montaje y operación de vibradores externos*

Paso	Acción	Control
1	Evaluación	Identificar formaleta, sección, mezcla y zonas de refuerzo; seleccionar equipo y distribución con el fabricante.
2	Montaje	Soportes y abrazaderas compatibles en puntos definidos; revisar fijaciones y alimentación.

Paso	Acción	Control
3	Colocación	Activar siguiendo el avance de las capas; algunos sistemas permiten mover equipos entre soportes.
4	Vigilancia	Controlar respuesta, fugas, movimientos y fijaciones; detener y revisar ante anomalías.
5	Registro	Equipos, posiciones, secuencia, incidencias y responsable (Anexo C).

Las figuras siguientes sirven de referencia para reconocer los equipos y su montaje en obra. No son una selección aprobada para una obra en particular: el equipo, su fuerza, su frecuencia y la separación entre unidades se definen con el fabricante y con el diseñador de la formaleta, según 8.2 y 5.1.



Figura 12. *Vibradores externos de formaleta: (a) eléctrico de alta frecuencia; (b) neumático, alimentado con aire comprimido; (c) eléctrico con soporte de fijación rápida. Fuente: (a) y (b) Mooser, «External vibrators for concrete compaction», mooser.net; (c) Wacker Neuson, serie AR, imagen publicada por TexPro Equipment (equiprotx.com).*



Figura 13. *Montaje: (a) vibrador neumático sobre abrazadera para formaleta de marco metálico; (b) vibrador eléctrico sobre soporte para formaleta de panel; (c) vibrador montado en una formaleta de marco metálico en obra. Fuente: (a) y (b) Mooser, «Mounting clamps for formwork vibrators», mooser.net; (c) Wacker Neuson, serie AR, imagen publicada por TexPro Equipment (equiprotx.com).*



Figura 14. *En obra: (a) vibrador eléctrico fijado al marco de una formaleta de muro; (b) vibradores sobre formaleta de marco metálico; (c) vibradores fijados a una formaleta de madera. Fuente: (a) VIBCO, galería «External concrete form vibrators», vibco.com; (b) Mooser, «External vibrators for concrete compaction», mooser.net; (c) Mooser, «Mounting clamps for formwork vibrators», mooser.net.*

8.3 Martillo de caucho

Los golpes suaves pueden ayudar a liberar burbujas junto a la formaleta durante la colocación. Se permite como auxiliar mientras el concreto permanece fresco y la formaleta lo tolera, y no sustituye

la consolidación principal salvo instrucción específica con validación técnica. No se prescribe un número de golpes por metro porque ninguna fuente consultada lo respalda, y la intervención no se deja para después de llenar el elemento. El boletín N.° 8 de CONFORM (Nuform, 2015) usa el martillo de caucho en muros con refuerzo mínimo y, cuando hay refuerzo horizontal, pide una acción más enérgica con un vibrador mecánico apoyado en la cara exterior. Ese caso es de un sistema de formaleta particular y no se extrapola a un elemento sísmico congestionado.

9. Ensayos de resistencia a la compresión

Los ensayos se hacen con técnicos calificados (N: C.5.6.1) y los informes llegan de inmediato a quienes toman decisiones. El muestreo cumple la NTC 454, los cilindros se elaboran y curan según la NTC 550 y se ensayan según la NTC 673 (N: C.5.6.3).

9.1 Frecuencia

Tabla 21. *Frecuencia mínima de muestreo*

Criterio	NSR-10	ACI 318 (comentario NSR-10)	Observación
Cada día y por clase de concreto	1	1	Como mínimo
Por volumen colocado	40 m³	110 m³	La NSR-10 es más exigente
Por superficie de losa o muro (una cara)	200 m²	460 m²	La NSR-10 es más exigente
Por tandas de mezclado	50	No aplica	Para concreto hecho en obra

Si con esos criterios resultan menos de cinco ensayos para una clase, se hacen en al menos cinco tandas escogidas al azar, o en cada tanda si hay menos de cinco (N: C.5.6.2.2). Si el total de una clase es menor de 10 m³, la supervisión técnica puede aprobar evidencia de resistencia satisfactoria en lugar de ensayos (N: C.5.6.2.3). Un ensayo de resistencia es el promedio de al menos dos cilindros de 150 × 300 mm o de tres de 100 × 200 mm de la misma muestra, ensayados a 28 días o a la edad especificada (N: C.5.6.2.4). El tamaño de los cilindros se acuerda entre el propietario, el diseñador y el laboratorio antes de empezar (N: comentario a C.5.6.3.2).

Criterio Diádica (D). Los criterios de aceptación de C.5.6.3.3 promedian tres ensayos consecutivos. Con un ensayo por cada 40 m³, los pisos de columnas de una edificación típica aportarían menos de un ensayo por vaciado y el promedio de tres no se podría evaluar hasta varios pisos después. Se propone un juego por cada camión mientras la clase no acumule cinco resultados (C.5.6.2.2), y después uno por cada 10 m³, que es cuatro veces la frecuencia mínima. El valor de 10 m³ se confirma en el capítulo 14.

9.2 Elaboración y curado de los cilindros

Tabla 22. Elaboración y curado de cilindros

Etapa	Criterio	Origen
Capas y compactación	3 capas en 150 × 300 mm y 2 capas en 100 × 200 mm; 25 golpes por capa, distribuidos; la varilla penetra 25 mm en la capa inferior en cilindros de 300 mm y 12 mm en cilindros de 200 mm	F: Argos (NTC 550)
Varilla	Ø16 mm en la cartilla de Argos; para cilindros de 100 × 200 mm la NTC 550 / ASTM C31 especifica varilla de menor diámetro (verificar en el ejemplar oficial)	F / T
Golpes en el molde	De 10 a 15 golpes suaves con martillo de caucho (400 a 800 g) después de cada capa	F: Argos
Tiempo	Moldeo dentro de los 15 minutos siguientes a la toma de la muestra	F: 360 en Concreto
Identificación	No escribir sobre el molde; marcar con pintura, crayola o marcador permanente después de desmoldar	F: Argos
Reposo inicial	Lugar cubierto, sin golpes ni vibración, protegidos de la evaporación con lámina no absorbente; temperatura entre 16 °C y 27 °C	F
Desmolde	24 h ± 8 h	F: Argos
Curado estándar	Agua saturada con cal (3 g/L) a 23 °C ± 2 °C hasta el ensayo	F / T
Curado en obra	Junto al elemento que representan, con las mismas condiciones de protección y curado, no mejores	N: C.5.6.4 y comentario
Ensayo	NTC 673	N: C.5.6.3.2



Figura 15. Equipo para elaborar cilindros y viguetas: moldes, cucharón, martillo de caucho de 400 a 800 g y varilla compactadora. Fuente: Argos, Guía básica Preparación de concreto en obra, versión 2, p. 13.



Figura 16. *(a) Elaboración de cilindros de concreto fresco; (b) curado estándar de cilindros en tanque de agua; (c) ensayo de compresión de un cilindro endurecido. Fuente: (a) y (c) 360 en Concreto, «Ensayos al concreto: ¿qué y cómo?» (Redacción 360 en Concreto), crédito Archivo Asocreto; (b) Argos, Guía básica Preparación de concreto en obra, versión 2, p. 14.*

9.3 Juego por muestra (propuesta)

Criterio Diádica (D). Por cada muestra: dos cilindros de 150 × 300 mm a 7 días (control temprano), dos a 28 días (aceptación) y dos de reserva. Además, dos cilindros curados en obra para la edad prevista de retiro de laterales y dos para la edad prevista de retiro de fondos de vigas, que se ajustan al programa de desencofrado (capítulo 10). Si el laboratorio usa cilindros de 100 × 200 mm, el ensayo requiere tres cilindros por edad.

9.4 Aceptación y no conformidad

El nivel de resistencia de una clase de concreto es satisfactorio cuando se cumplen las dos condiciones de C.5.6.3.3 (N): (a) cada promedio aritmético de tres ensayos consecutivos es igual o superior a f'c; y (b) ningún ensayo individual queda por debajo de f'c en más de 3,5 MPa cuando f'c ≤ 35 MPa (o más de 0,10 f'c si f'c > 35 MPa). Ocasionalmente un ensayo cae fuera aunque el concreto sea satisfactorio (cerca de uno en cien); el comentario pide tolerancia para esa variación estadística.

Tabla 23. *Criterios de aceptación de resistencia y de núcleos*

f'c (MPa)	Promedio de 3 ensayos consecutivos ≥ (MPa)	Individual mínimo f'c − 3,5 (MPa)	Núcleos: promedio de 3 ≥ 0,85 f'c (MPa)	Núcleos: ninguno < 0,75 f'c (MPa)
21	21,0	17,5	17,85	15,75
28	28,0	24,5	23,80	21,00

El seguimiento de los ensayos se lleva en el Anexo J y en la hoja de cálculo que lo acompaña (Control_Resistencias_Concreto_NSR10.xlsx), que calcula el promedio de tres ensayos consecutivos y marca los resultados que no cumplen (a) o (b).

- Si no se cumple alguno de los dos requisitos, se toman medidas para elevar el promedio de los siguientes ensayos; si no se cumple el (b), se aplica C.5.6.5 (N: C.5.6.3.4).
- Cuando un ensayo de cilindros de laboratorio queda por debajo del límite individual, o los cilindros curados en obra indican deficiencia de protección y curado, se toman medidas para asegurar que no se comprometen la capacidad de carga ni la durabilidad (N: C.5.6.5.1).

- Si se confirma la posibilidad de baja resistencia y los cálculos indican reducción significativa de la capacidad, se extraen tres núcleos por cada ensayo bajo (N: C.5.6.5.2), se conservan húmedos en bolsas herméticas y se ensayan entre 48 horas y 7 días después de extraídos (N: C.5.6.5.3). La zona se considera estructuralmente adecuada si el promedio de los tres es por lo menos 85 % de f'c y ninguno baja de 75 % (N: C.5.6.5.4). Los ensayos no destructivos (esclerómetro, velocidad de pulso ultrasónico, penetración de sonda, arrancamiento) sirven para comparar zonas dentro de la misma obra, no para medir resistencia de forma cuantitativa (N: comentario a C.5.6.5). Si los núcleos no cumplen y la seguridad sigue en duda, la autoridad competente puede ordenar pruebas de carga (N: C.5.6.5.5).
- Cilindros curados en obra: si a la edad de ensayo quedan por debajo del 85 % de los cilindros compañeros curados en laboratorio, se mejoran la protección y el curado. La limitación no aplica si los curados en obra superan f'c en más de 3,5 MPa (N: C.5.6.4.4).

10. Encofrado y desencofrado

La formaleta da forma al concreto y soporta, sin deformaciones apreciables, los esfuerzos del concreto que contiene; el tipo se escoge según la tipología de la estructura y del proyecto (360 en Concreto). El diseño y la construcción de los encofrados exigen criterio y planificación; el Capítulo C.6 de la NSR-10 fija solo los requisitos mínimos de desempeño, y ACI 347 se cita como guía detallada.

La presión del concreto sobre la formaleta y el criterio de presión hidrostática completa para columnas están en 5.1. El cálculo de la formaleta de columnas y vigas se puede hacer con la calculadora gratuita de Diádica en www.diadicaing.com/formaletas, que entrega el reporte de cálculo y los planos de la formaleta.

Tabla 24. *Tipos de formaleta*

Tipo	Uso y observaciones	Fuente
Madera y aglomerados resistentes a la humedad	Fabricación sencilla y fácil reparación; pocos usos, adecuada para proyectos medianos o pequeños y acabados particulares	360 en Concreto
Metálica o de aluminio	Ventajas en acabado, velocidad de colocación y costo cuando los usos son muchos	360 en Concreto
Fibra de vidrio	Casetones y formas particulares	360 en Concreto

10.1 Cuidados antes del vaciado

Limpiar y engrasar la formaleta, eliminar puntas y clavos; verificar plomos y verticalidad; asegurar la fijación para que no se mueva; verificar la estabilidad durante el vaciado; suspender los trabajos con viento fuerte; y evitar desencofrar prematuramente (360 en Concreto). Estos puntos están en la lista del Anexo A.

10.2 Retiro de formaletas verticales

Con los apuntalamientos en su sitio, los encofrados laterales de vigas, columnas, muros y otras cimbras verticales semejantes se pueden retirar, en general, después de 12 horas de tiempo de curado acumulado, siempre que no tengan otras cargas que la presión del concreto plástico (N:

comentario a C.6.2). El tiempo de curado acumulado es la suma de periodos, no necesariamente consecutivos, con temperatura del aire superior a 10 °C. Las 12 horas suponen cementos normales y condiciones ordinarias; cementos especiales o condiciones inusuales exigen ajustar el límite. El artículo de Asocreto en 360 en Concreto las limita a concretos normales, no retardados ni autocompactantes y bien curados. El concreto expuesto por el desencofrado debe tener resistencia suficiente para no dañarse (N: C.6.2.1).

Criterio Diádica (D). Las mezclas de alta manejabilidad llevan superplastificantes y, a menudo, retardantes, y la ficha del concreto fluido declara fraguado final de 9 ± 1 h: 12 horas después de la colocación apenas pasan unas horas del fraguado final. Por eso, con esas mezclas los laterales no se retiran antes de 24 horas y sin confirmar el fraguado final y la resistencia con cilindros curados en obra. El umbral numérico de resistencia lo fija el diseñador (capítulo 14); la NSR-10 solo exige que el concreto no se dañe.

10.3 Fondos de vigas y puntales

No se fija un plazo único en días. La NSR-10 exige que el constructor defina, antes de iniciar la construcción, el procedimiento y la programación para retirar los apuntalamientos e instalar los reapuntalamientos, y que calcule las cargas transferidas a la estructura durante el proceso (N: C.6.2.2.1). Solo se apoyan cargas de construcción o se desencofra cualquier porción cuando la estructura en su estado de avance, junto con las cimbras y apuntalamientos que aún existan, tiene resistencia para soportar de forma segura su peso y las cargas colocadas; la demostración se basa en un análisis estructural con las cargas propuestas, la resistencia del sistema de encofrado y la resistencia del concreto, apoyada en ensayos de cilindros curados en obra o en otros procedimientos aprobados (N: C.6.2.2.1(b)–(c)). Las cargas de construcción pueden ser tan altas como las cargas vivas de diseño y no pueden exceder la suma de cargas muertas y vivas de diseño, salvo que un análisis demuestre resistencia suficiente (N: C.6.2.2.2 y comentario). En elementos preesforzados, las cimbras no se retiran hasta aplicar el preesfuerzo suficiente (N: C.6.2.2.3).



Figura 17. Deformaciones excesivas en una losa recientemente vaciada. Fuente: 360 en Concreto, «La importancia de analizar, diseñar y planificar el desencofrado del concreto» (Redacción 360 en Concreto).

Secuencia de retiro. El artículo de 360 en Concreto sobre el desencofrado explica la secuencia con un pórtico de dos columnas apuntalado con siete puntales: retirar desde un extremo hacia el centro genera esfuerzos que cambian de sentido y fisuras. La secuencia correcta empieza por los puntales del centro de la luz libre, donde la deformación es mayor; continúa con los adyacentes de cada lado,

y así sucesivamente, de modo que los esfuerzos viajen siempre en la misma dirección. **Criterio Diádica (D):** en voladizos el retiro empieza en el extremo libre y avanza hacia el apoyo; la secuencia se confirma con el diseñador.

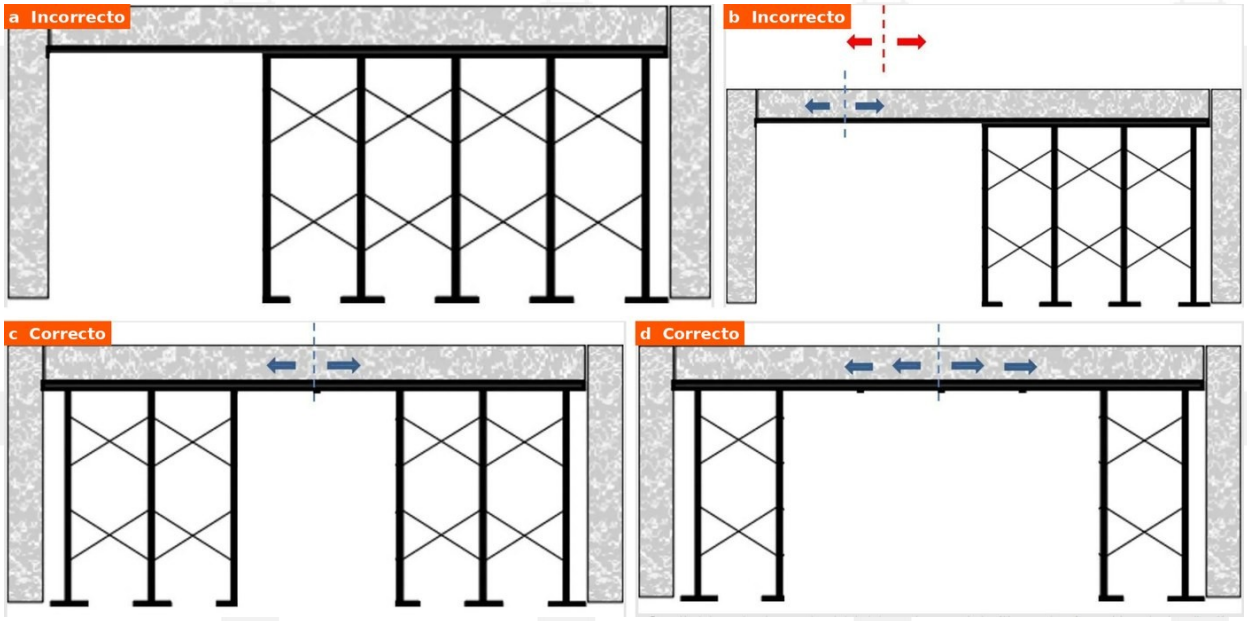


Figura 18. *Retiro de puntales en un pórtico de dos columnas: (a) retiro desde un extremo y (b) retiro de los adyacentes, que invierte el sentido de los esfuerzos; (c) retiro desde el centro de la luz y (d) retiro de los adyacentes a cada lado, con los esfuerzos en un solo sentido. Fuente: 360 en Concreto, «La importancia de analizar, diseñar y planificar el desencofrado del concreto» (Redacción 360 en Concreto), figuras 5, 7, 8 y 9; rótulos añadidos.*

Retiro paulatino de aligeramientos a temprana edad (Asocreto): es una práctica que se acepta si el armado de la formaleta independiza vigas y aligeramientos, el concreto es convencional y no acelerado, el tercer día una pareja de cilindros alcanza por lo menos 45 % de f'c, la relación entre carga de obra y carga total es menor de 0,45, y se mantiene curado húmedo por lo menos 7 días. **Criterio Diádica (D):** no se aplica a vigas ni a columnas de la obra, y a las losas solo con procedimiento escrito del diseñador.

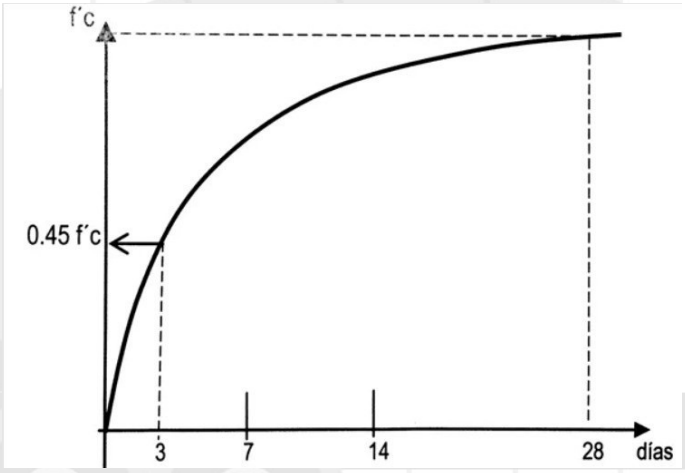


Figura 19. *Variación de la resistencia con la edad del concreto; referencia de 0,45 f'c a los 3 días. Fuente: 360 en Concreto, «Tres aspectos importantes para la remoción de las formaletas en una edificación» (O. J. Silva, Asocreto), crédito Archivo Asocreto.*

10.4 Manejo de la formaleta al retirarla

- El retiro de cada elemento se hace con cuidado, tanto para la formaleta como para la estructura. El mayor riesgo de una formaleta es el pandeo de los elementos verticales; hay que evitar golpes y torceduras que limiten su capacidad futura (360 en Concreto).
- Los tacos o puntales no se lanzan de un nivel a otro ni se usan como palanca; al sacarlos de la posición vertical no se golpean con martillo. La platina de apoyo queda sobre tablones instalados en el piso, no sobre ladrillos ni bloques, así sean de concreto.
- Se registra cada autorización de desencofrado en el Anexo D antes de empezar.

10.5 Inspección después de desencofrar

La inspección ocurre antes de cubrir o reparar. Los hormigueros se clasifican por su profundidad y por el elemento en que aparecen:

Tabla 25. *Clasificación de hormigueros y acciones*

Hallazgo	Acción	Quién decide
Superficial, no llega al refuerzo	Reparar con mortero según procedimiento aprobado y curar	Supervisión
Profundo o con refuerzo expuesto en viga o columna	Detener, no resanar. Registrar con fotografía y plano; evaluar con ensayos no destructivos (esclerómetro, ultrasonido) comparando con zonas sanas, y con núcleos si el diseñador lo pide	Diseñador
Vacíos en nudos	Detener. Evaluación estructural y diseño de la reparación (inyección o reemplazo)	Diseñador

11. Curado y protección

El concreto se mantiene por encima de 10 °C y en condiciones de humedad por lo menos durante los primeros 7 días después de la colocación; el de alta resistencia inicial, al menos los 3 primeros días (N: C.5.11.1 y C.5.11.2). El curado empieza inmediatamente después de terminar las operaciones de acabado y se recomienda continuo, sin interrupción (F: Argos). Un curado deficiente reduce la resistencia, la durabilidad superficial y aumenta la fisuración. Los métodos más comunes son:

Tabla 26. *Métodos de curado*

Método	Observaciones
Agua	Superficie siempre saturada para evitar ciclos de mojado y secado; la diferencia de temperatura entre el agua y el concreto no debe exceder 7 °C para evitar choque térmico.
Cubiertas húmedas	Telas, costales, heno, paja o arena húmedos en espesor de 25 mm; permanecen húmedos durante todo el periodo.
Cubiertas que retienen humedad	Polietileno blanco, negro o transparente, sellado con cinta, pegante o bloques; puede manchar.

Método	Observaciones
Membranas de curado	No requieren control permanente; el riesgo es la dosificación despareja, y se verifica con el volumen usado por área.
Toldos o pantallas, y niebla con aspersores	Interrumpen el viento y dan sombra; la niebla se usa durante la colocación.



Figura 20. *(a) Curado con agua por inundación; (b) cubiertas húmedas; (c) aplicación de membrana de curado. Fuente: Argos, Guía básica Preparación de concreto en obra, versión 2, pp. 17 y 18.*

Criterio Diádica (D). En columnas, que se desencofran antes que los fondos de las vigas, el curado continúa envolviendo el fuste con tela húmeda y polietileno, o con membrana, desde el retiro de la formaleta hasta completar 7 días contados desde la colocación. Los fondos de las vigas permanecen con su formaleta y se humedecen las caras visibles. Cada día se anota el método y el responsable en el Anexo C.

11.1 Protección del concreto recién colocado

Entre el acabado y la edad en que el diseñador autoriza cargas, la losa y las vigas no reciben tránsito de carretillas, acopios de bloque, refuerzo ni formaleta, ni apoyos de equipos. Las cargas de construcción sobre la estructura sin cimbra no pueden exceder la suma de cargas muertas y vivas de diseño, salvo que un análisis demuestre resistencia suficiente (N: C.6.2.2.2), y en edades tempranas la estructura puede deflectarse lo suficiente para dañarse aunque resista (N: comentario a C.6.2.2). El concreto se protege además de la lluvia, del lavado por escorrentía y de golpes y vibraciones que lo puedan dañar o afectar su adherencia al refuerzo (F: Argos, cartilla V2).

Criterio Diádica (D). Durante las primeras 24 horas, solo se camina sobre la losa por tablones o pasarelas para el curado. Los acopios sobre losas recién vaciadas requieren autorización escrita del residente con la edad y el peso previstos, y se registran en el Anexo C.

12. Clima: días de sol intenso y días de lluvia

En muchas obras del país se alternan días de sol fuerte, con aire seco y algo de viento al mediodía, y temporadas de lluvia. Los dos extremos afectan el concreto de forma distinta. El sol y el viento evaporan el agua de la superficie antes de que el concreto fragüe, y producen fisuras por retracción plástica en las losas. La lluvia, en cambio, puede lavar la pasta de la superficie fresca o aumentar el agua de la mezcla si cae antes del fraguado. La NSR-10 pide atención especial en clima cálido a los materiales, la producción, el manejo, la colocación, la protección y el curado, para evitar temperaturas excesivas o evaporación del agua (N: C.5.13), y mantener el concreto por encima de 10 °C y en condiciones de humedad al menos 7 días (N: C.5.11.1).

12.1 Evaluación del riesgo en cada vaciado

La tasa de evaporación de la superficie se estima con la ecuación de Uno, que reproduce el nomograma de ACI 305 (Uno, 1998; Kestrel):

$$E = 5\cdot[(Tc + 18)^{2,5} - r\cdot(Ta + 18)^{2,5}]\cdot(V + 4)\cdot10^{-6} \quad [kg/m^2/h]$$

con Tc la temperatura de la superficie del concreto (°C), Ta la del aire (°C), r la humedad relativa en fracción y V la velocidad del viento (km/h). Según la guía consultada, por debajo de 0,5 kg/m²/h no se espera fisuración, entre 0,5 y 1,0 puede ocurrir y por encima de 1,0 se espera, y las precauciones se vuelven casi obligatorias.

Tabla 27. Tasa de evaporación en escenarios de ejemplo

Escenario (valores de ejemplo)	Tc (°C)	Ta (°C)	HR (%)	Viento (km/h)	E (kg/m²/h)
Mañana nublada	24	20	80	5	0,19
Día nublado con lluvia	23	21	95	5	0,08
Mediodía soleado	32	28	55	10	0,68
Sol fuerte y concreto caliente	35	30	40	15	1,34
Mediodía soleado con viento	34	29	45	20	1,52

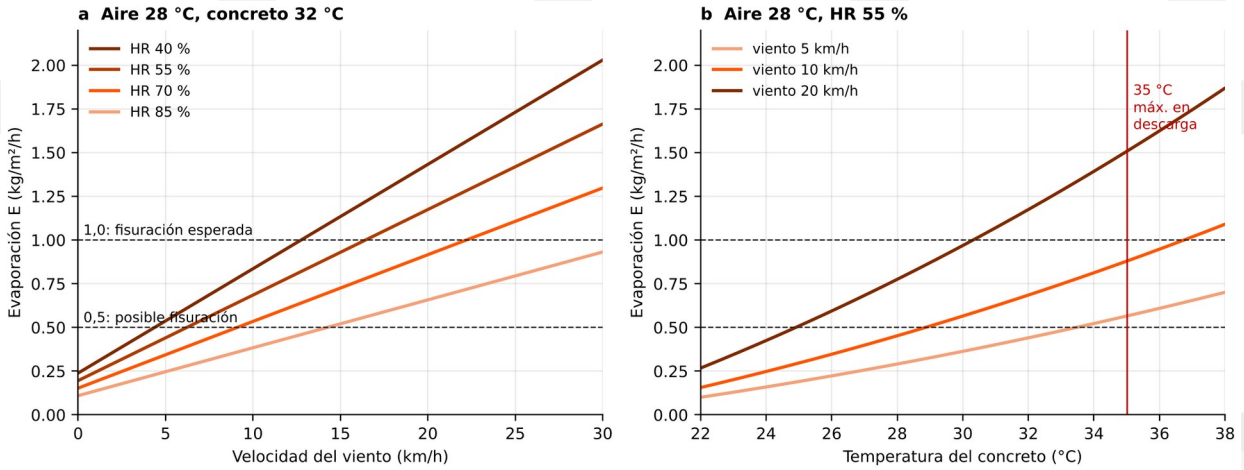


Figura 21. Tasa de evaporación según la ecuación de Uno: (a) en función del viento para varias humedades relativas; (b) en función de la temperatura del concreto para tres velocidades de viento. Líneas de referencia en 0,5 y 1,0 kg/m²/h. Fuente: elaboración propia, Diádica — Laboratorio HSG con la ecuación de Uno (1998).

Criterio Diádica (D). El laboratorista mide en cada vaciado de losa la temperatura del aire y del concreto, la humedad relativa y el viento con un termohigrómetro y un anemómetro de mano, al inicio y cada dos horas, y calcula E. Con E ≥ 0,5 kg/m²/h se aplican las medidas de 12.2; con E ≥ 1,0 se aplican todas y la supervisión puede suspender el vaciado de losas hasta que bajen las condiciones. En la curva se ve el peso del viento: con aire a 28 °C y humedad de 55 %, pasar de 5 a 20 km/h duplica con creces la evaporación.

12.2 Días de sol intenso

Tabla 28. Medidas en días de sol intenso

Etapa	Medida	Origen
Programación	Vaciar las losas en las primeras horas de la mañana o en la tarde, evitando el mediodía; camiones que descarguen apenas lleguen y personal suficiente para colocar, acabar y curar rápido	F: NRMCA CIP 12
Temperatura del concreto	Máximo 35 °C en la descarga; por encima, la mezcla debe calificarse con experiencia o ensayos previos aprobados por el ingeniero	T: ACI 301-20 y ACI 305.1-14
Mezcla	Retardante o aditivos según el diseño aprobado (3.7); no agregar agua en obra (4.2)	F: NRMCA CIP 12 / D
Antes de colocar	Humedecer formaleta, refuerzo y superficies de apoyo sin dejar charcos	F: NRMCA CIP 12; Argos
Durante la colocación	Pantallas o polisombra contra el sol y el viento; nebulización fina por encima de la superficie sin encharcarla; retardante de evaporación solo antes del fraguado	F: NRMCA CIP 12 y CIP 11
Acabado	Empezar el acabado final cuando desaparezca el brillo del agua superficial, y el curado apenas termine el acabado	F: NRMCA CIP 12
Curado	Tela o costal húmedo cubierto con polietileno, o membrana de curado blanca; continuo por 7 días (N: C.5.11.1)	N / F: NRMCA CIP 11 y 12
Polietileno	Blanco o reflectivo cuando el aire pasa de 30 °C; en contacto con la superficie, traslapado, sellado con cinta y lastrado contra el viento	F: NRMCA CIP 11
Curado con agua	Superficie siempre saturada, sin ciclos de mojado y secado; diferencia de temperatura entre el agua y el concreto ≤ 7 °C (Argos; NRMCA admite 11 °C)	F / D
Cilindros	A la sombra y protegidos de la evaporación, entre 16 y 27 °C durante el curado inicial	F: NRMCA CIP 12; 360 en Concreto

El retardante de evaporación sirve para proteger la superficie fresca antes del fraguado y no reemplaza el curado final (F: NRMCA CIP 11). La membrana de curado se aplica cuando ya no hay agua de exudación ni brillo en la superficie, y la pigmentada en blanco permite ver la cobertura y refleja el calor (F: NRMCA CIP 11). Para la diferencia de temperatura del agua de curado se adopta 7 °C, el valor más estricto entre las dos fuentes.

12.3 Días de lluvia

El agua de lluvia que cae sobre el concreto antes del fraguado cambia la relación agua–cemento de la superficie y baja su resistencia. Una lluvia débil queda en la superficie sin cambiar la consistencia, pero una fuerte lava la superficie, arrastra arena y cemento y puede dejar el agregado y el acero a la

vista. Después del fraguado final el concreto ya no se daña con la lluvia, y una lluvia ligera incluso contribuye al curado (F: hcm Hormigones, 2018).

Tabla 29. *Medidas en días de lluvia*

Etapa	Medida	Origen
Antes del vaciado	Revisar el pronóstico; tener en obra polietileno o lonas suficientes para cubrir el área de la jornada, con soportes; definir los puntos de suspensión en las juntas previstas (7.3)	D
Inicio	No iniciar el vaciado de losas con lluvia fuerte o pronóstico de aguacero en las horas siguientes; columnas y vigas se cubren en la boca	F: hcm Hormigones / D
Durante el vaciado	Con lluvia débil, continuar cubriendo cada tramo terminado; con lluvia fuerte, suspender, cubrir y formar la junta en el sitio previsto	F: hcm Hormigones / D
Cubierta	Lonas sobre soportes, sin apoyarse en el concreto fresco: si lo tocan, alargan el fraguado y marcan el acabado	F: hcm Hormigones
Agua acumulada	Retirar el agua apozada en formaletas y juntas antes de reanudar (N: C.5.7.1(f) y C.6.4.2); no espolvorear cemento seco sobre la superficie mojada ni acabar con agua	N / D
Superficie lavada	Retirar la capa superficial afectada; si el lavado llegó al refuerzo, se trata como no conformidad (capítulo 13)	F: hcm Hormigones / D
Curado	Con lluvia probable no se aplica membrana, que requiere superficie sin agua; se usa tela húmeda con polietileno. La lluvia sobre concreto ya fraguado cuenta como curado solo si mantiene la superficie húmeda en forma continua	F: NRMCA CIP 11 / D
Drenaje	Evitar que la escorrentía de la obra cargada de lodo corra sobre la losa recién vaciada	D
Cilindros	Moldeados bajo techo y protegidos de la lluvia durante el reposo inicial	D

Criterio Diádica (D). En temporada de lluvias se aumenta el registro: hora de inicio y fin de cada aguacero, zonas cubiertas y estado de la superficie al descubrir, anotados en el Anexo C.

13. Trazabilidad, no conformidades y otros controles

Este capítulo reúne la trazabilidad de cada elemento, el manejo de las no conformidades y tres controles de apoyo: la charla previa, el manejo ambiental y los métodos para estimar la resistencia en obra.

13.1 Plano de vaciado y trazabilidad

Para cada vaciado se prepara un plano de planta y un listado de elementos donde queda registrado, para cada elemento, el número de remisión del camión, la hora de colocación y el juego de cilindros que lo representa (Anexo G). El registro detallado de tandas, dosificación, localización en la estructura y horas que la NSR-10 pide al concreto mezclado en obra (N: C.5.8.3(e)) se adopta aquí

para el premezclado como criterio de la supervisión. Si un ensayo de resistencia resulta bajo, el plano dice exactamente dónde extraer los núcleos de C.5.6.5.

13.2 No conformidades

Una no conformidad es cualquier desviación de este manual, de los planos o de la norma que afecte la calidad del concreto o de la estructura: un camión rechazado, una formaleta que cede, un hormiguero profundo, un cilindro bajo, un desencofrado sin autorización. Cada una se abre, se trata y se cierra en el Anexo H.

Tabla 30. *Pasos para tratar una no conformidad*

Paso	Acción	Responsable y plazo
1	Registrar el hallazgo con fecha, elemento, descripción, fotografía y referencia al requisito incumplido	Quien lo detecte, el mismo día
2	Contener: detener la actividad o aislar el elemento	Residente, de inmediato
3	Analizar la causa	Constructor con la supervisión
4	Definir el tratamiento: aceptar, reparar o demoler; los casos estructurales los decide el diseñador	Supervisión y diseñador
5	Ejecutar y verificar	Constructor; verifica la supervisión
6	Cerrar con firma y evidencia	Supervisión

13.3 Charla previa al vaciado

Criterio Diádica (D). Antes de cada vaciado, el residente reúne durante unos diez minutos a la cuadrilla, al operador de la bomba, al laboratorista y al delegado de la supervisión. Repasan el orden de elementos y las rondas en columnas (6.2), las ventanas de vibrado y la aguja de reserva, el descarte de la lechada (6.3), la zona de exclusión, el pronóstico del clima y la medida prevista (capítulo 12), y quién decide en el recibo. La asistencia se firma en el Anexo A.

13.4 Manejo ambiental del concreto sobrante y del lavado

El lavado de canaletas, tolvas y tuberías se hace en un sitio definido de la obra, que además dispone de un sitio de lavado de llantas (F: 360 en Concreto; NRMCA, ASCC y ACPA). **Criterio Diádica (D):** el agua de lavado no se vierte a redes de alcantarillado ni a cuerpos de agua. El concreto sobrante, la lechada descartada y los residuos endurecidos son residuos de construcción y demolición. La Resolución 0472 de 2017 del Ministerio de Ambiente, modificada por la Resolución 1257 de 2021, define como gran generador a la obra con licencia de construcción y área construida de 2000 m² o más, que debe formular y presentar a la autoridad ambiental un programa de manejo ambiental de RCD 30 días antes de iniciar, reportarlo cada trimestre y cumplir una meta de aprovechamiento en peso (N: Res. 1257 de 2021, arts. 1, 13, 15 y 19). La supervisión verifica que el constructor tenga ese programa si la obra entra en la categoría.

13.5 Madurez y ensayos no destructivos para decidir el desencofrado

Además de los cilindros curados en obra, la resistencia del concreto durante la construcción puede evaluarse con otros procedimientos aprobados por la autoridad competente: cilindros moldeados en el sitio (ASTM C873, para losas de 125 a 300 mm), resistencia a la penetración (ASTM C803M), resistencia a la extracción (ASTM C900) y el método de madurez (ASTM C1074). Los tres últimos requieren datos suficientes con los materiales de la obra para correlacionar las mediciones con la resistencia de cilindros o núcleos (N: comentario a C.6.2.2). **Criterio Diádica (D):** si el constructor quiere usar madurez, presenta primero la curva de calibración de la mezcla del productor; mientras tanto, mandan los cilindros curados en obra.

14. Valores propuestos por Diádica que el ingeniero responsable debe confirmar

Los valores siguientes no vienen de la NSR-10. Cada uno tiene su justificación y la decisión recae en el ingeniero responsable de cada obra, de acuerdo con el diseñador y el productor cuando corresponda. Hasta que se confirmen, el manual los aplica tal como están escritos.

Tabla 31. *Valores propuestos por Diádica que se confirman en cada obra*

N.°	Valor	Justificación	Qué falta para decidir
1	Asentamiento nominal 175 / 200 mm, tolerancia ±25 mm	La tolerancia de ±40 mm de la NTC 3318 para >100 mm da 135–215 mm para un nominal de 175; ±25 reduce el extremo bajo y el alto	Planos con detalle de nudos; capacidad de control del productor
2	Ventana libre = cabeza de aguja + 10 mm	Evita que la cabeza se acuñe y permite el movimiento	Prueba de aguja en seco en el primer vaciado
3	Capa ≤ 500 mm; ≤ 300 mm en nudos	500 mm es el valor de la guía técnica; en nudos el paso reducido limita el alcance de la aguja	Observación del radio de acción real en el primer vaciado
4	Un juego por camión hasta 5 resultados; después uno por cada 10 m³	Permite evaluar el promedio de tres ensayos consecutivos de C.5.6.3.3 dentro del mismo piso	Costo del laboratorio y acuerdo con el propietario
5	Laterales no antes de 24 h con mezclas de alta manejabilidad; umbral de resistencia	Fraguado final de 9 ± 1 h en la ficha del concreto fluido; la NSR-10 no da un umbral numérico	Valor que fije el diseñador
6	Techo de 90 min de descarga a falta de ficha o curva de retención	Corresponde a 1,5 h de la NTC 3318	Ficha del productor y curva de retención
7	Presión hidrostática completa en columnas	Asentamiento sobre 175 mm sale del supuesto de las ecuaciones de ACI 347	Cálculo del diseñador de la formaletería (calculadora en www.diadicaing.com/formaletas)
8	Una aguja de reserva por cada dos en servicio	Una falla durante el vaciado obliga a una junta fría en elemento congestionado	Inventario de equipos del constructor

N.°	Valor	Justificación	Qué falta para decidir
9	Rondas de capas ≤ 500 mm entre columnas al bombear	Con 30 m³/h una columna de 0,40 × 0,40 m sube 187 m/h; una capa de 0,5 m entra en 9,6 s	Rendimiento real de la cuadrilla de vibrado en el primer vaciado
10	Asentamiento de comparación a la salida de la manguera en el primer vaciado bombeado	Mide la pérdida real en la línea para fijar el nominal en planta	Resultado del primer vaciado
11	Cajón de descarte y autorización del primer concreto en la salida	Caso documentado de columnas fisuradas por lechada colocada en la estructura (NYC, 2019)	Volumen de lechada que declare el operador
12	Medición de evaporación en cada vaciado de losa; medidas desde 0,5 kg/m²/h y posible suspensión desde 1,0	Umbrales de la guía que reproduce el nomograma de ACI 305; la curva muestra el peso del viento	Equipos de medición del laboratorio
13	Diferencia de temperatura agua–concreto en curado ≤ 7 °C	El más estricto entre Argos (7 °C) y NRMCA (11 °C)	Ninguno
14	Sin membrana de curado con lluvia probable; tela húmeda y polietileno	La membrana exige superficie sin agua (NRMCA CIP 11)	Ficha de la membrana que se use
15	Tránsito solo por tablones en las primeras 24 h y acopios con autorización	C.6.2.2.2 y deflexiones a edad temprana	Edad y cargas que fije el diseñador

15. Bibliografía

Las referencias se agrupan por tipo. Las normas NTC, ACI y ASTM se citan con la edición que reproducen el Título C de la NSR-10 o las fuentes consultadas; antes de exigirlas por contrato se verifica la edición vigente en el ejemplar oficial. La reproducción de la NTC 3318:2021 usada para las tolerancias del asentamiento no está alojada en ICONTEC. Las cifras de ACI 117, ACI 304.2R, ACI 305 y ACI 347 se tomaron de las publicaciones técnicas que las citan, indicadas en cada caso, porque los textos completos de esas normas no estaban disponibles.

Normas y reglamentos

[1] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, y Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Título C, Concreto estructural: capítulos C.3, C.4, C.5, C.6, C.7, C.10 y C.11, con sus comentarios. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

[2] ICONTEC. NTC 396, Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. Bogotá.

[3] ICONTEC. NTC 454, Concreto fresco. Toma de muestras. Bogotá.

[4] ICONTEC. NTC 550, Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. Bogotá.

[5] ICONTEC. NTC 673, Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Bogotá.

[6] ICONTEC. NTC 890, Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por medio de su resistencia a la penetración. Bogotá. (Citada en la ficha de Ultracem.)

[7] ICONTEC. NTC 3658, Obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas. Bogotá. (Citada en NSR-10 C.5.6.5.)

[8] ICONTEC (2021). NTC 3318, Producción de concreto. Bogotá. (Consultada en reproducción no oficial.)

[9] American Concrete Institute (2020). ACI 301-20, Specifications for Concrete Construction. Farmington Hills, MI. (Límite de temperatura citado en ACI, Frequently Asked Questions, faqid=15.)

[10] American Concrete Institute (2014). ACI 305.1-14, Specification for Hot Weather Concreting. Farmington Hills, MI.

[11] American Concrete Institute (2010). ACI 117-10, Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials. Farmington Hills, MI. (Sección 4.1.1 citada en Eng-Tips, hilo «ACI 117 tolerances».)

[12] American Concrete Institute. ACI 304.2R, Guide to Placing Concrete by Pumping Methods. Farmington Hills, MI. (Citada por F&R.)

[13] American Concrete Institute. ACI 347R, Guide to Formwork for Concrete; ecuaciones de presión de ACI 347-04. Farmington Hills, MI. (Citadas por KB Engineering.)

[14] American Concrete Institute. ACI 309R, Guide for Consolidation of Concrete; ACI 304R, Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete; ACI 305R, Guide to Hot Weather Concreting; ACI 308R, Guide to Curing Concrete. Farmington Hills, MI. (Citadas en los comentarios de la NSR-10 y en NRMCA CIP 11 y 12.)

[15] ASTM International. ASTM C94/C94M, Standard Specification for Ready-Mixed Concrete; ASTM C31/C31M, Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field; ASTM C172, Sampling Freshly Mixed Concrete; ASTM C309, Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete; ASTM C171, Sheet Materials for Curing Concrete; ASTM C1074, Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. West Conshohocken, PA.

[16] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017). Resolución 0472 de 2017, por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición (RCD). normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minambienteds_0472_2017.htm

[17] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021). Resolución 1257 de 2021, por la cual se modifica la Resolución 0472 de 2017. normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minambienteds_1257_2021.htm

Guías técnicas de asociaciones y autoridades

[18] NRMCA (2000). CIP 11, Curing In-Place Concrete. Concrete in Practice. Silver Spring, MD: National Ready Mixed Concrete Association.

[19] NRMCA (2000). CIP 12, Hot Weather Concreting. Concrete in Practice. Silver Spring, MD: National Ready Mixed Concrete Association.

[20] NRMCA. CIP 26, Jobsite Addition of Water. Concrete in Practice. Silver Spring, MD: National Ready Mixed Concrete Association.

[21] NRMCA, ASCC y ACPA (2020). Checklist for Pumping Ready Mixed Concrete. nrmca.org/wp-content/uploads/2021/06/3Checklist_for_Pumping_Ready_Mixed_Concrete.pdf

[22] ASCC. Position Statement #32: Concrete discharge time requirements (cita los requisitos de ASTM C94). ascconline.org/Portals/ASCC/Files/Position%20Statements/PS-32_ConcreteDischargeWebSC.pdf

[23] NYC Department of Buildings (2021). Technical Bulletin 2021-003: Clarify the role of the Special Inspector during concrete placement. nyc.gov/assets/buildings/bldgs_bulletins/bb_2021-003.pdf

[24] SafeWork SA. Hose whip on concrete pumps. safework.sa.gov.au/industry/construction/hose-whip-on-concrete-pumps

[25] American Concrete Institute. Frequently Asked Questions: maximum concrete temperature in hot weather. concrete.org/frequentlyaskedquestions.aspx?faqid=15

Productores de concreto y equipos

[26] Cementos Argos, Asesoría Técnica. Guía básica: Preparación de concreto en obra, versión 2. colombia.argos.co/fichas_tecnicas/cartilla-preparacion-concreto-obra.pdf

[27] Ultracem (2016). Concreto Fluido, ficha técnica versión 2, vigencia 15-10-2016. ultracem.co/wp-content/uploads/2019/04/Concreto-Fluido-V2.pdf

[28] OLI. Concrete Consolidation Division general catalogue: vibrators for concrete compaction. olivibra.com/wp-content/uploads/2022/07/Cat_ConcreteCons_CCC_EN_0122_REV13-2-1.pdf

[29] Nuform Building Technologies (2015). Construction Bulletin No. 8: Consolidation of concrete in CONFORM. nuformdirect.com/wp-content/uploads/Construction-Bulletin-08-Consolidation-of-Concrete.pdf

[30] Mooser. External vibrators for concrete compaction. mooser.net/en/products/external-vibrators-for-concrete-compaction

[31] Mooser. Mounting clamps for formwork vibrators. mooser.net/en/products/external-vibrators-for-concrete-compaction/mounting-clamps-for-formwork-vibrators

[32] VIBCO. External concrete form vibrators (galería). vibco.com/industries/concrete-vibrators/external-concrete-form-vibrators

[33] Wacker Neuson. External vibrator AR series (imágenes publicadas por TexPro Equipment). equiprotx.com/product/wacker-neuson-external-vibrator-ar-series-ar26-ar52-ar54-ar75/

Artículos técnicos

[34] Zambrano, K. Encofrados, cimbras o formaletas: las múltiples formas del concreto. 360 en Concreto (Argos). 360enconcreto.com/blog/detalle/encofrados-cimbras-formaletas/

[35] Redacción 360 en Concreto. Ensayos al concreto: ¿qué y cómo? 360 en Concreto (Argos). 360enconcreto.com/blog/detalle/ensayos-al-concreto/

[36] Redacción 360 en Concreto. La importancia de analizar, diseñar y planificar el desencofrado del concreto. 360 en Concreto (Argos). 360enconcreto.com/blog/detalle/la-importancia-de-analizar-disenar-y-planificar-el-desencofrado-del-concreto/

[37] Silva, O. J. (Asocreto). Tres aspectos importantes para la remoción de las formaletas en una edificación. 360 en Concreto (Argos). 360enconcreto.com/blog/detalle/remocion-formaletas-en-una-edificacion-1-1/

[38] Claros, E. (Argos). Equipos para bombeo de concreto. 360 en Concreto. 360enconcreto.com/blog/detalle/equipos-para-bombeo-de-concreto/

[39] Redacción 360 en Concreto. Seguridad industrial: manejo de concreto en obra. 360 en Concreto (Argos). 360enconcreto.com/blog/detalle/seguridad-industrial-manejo-de-concreto-en-obra/

[40] KB Engineering. Avoid too much pressure when placing concrete. For Construction Pros. forconstructionpros.com/concrete/equipment-products/article/10289332/avoid-too-much-pressure-in-concrete

[41] KB Engineering. How to use an internal concrete vibrator. For Construction Pros. forconstructionpros.com/concrete/equipment-products/article/10726176/how-to-use-an-internal-concrete-vibrator

[42] F&R. Pumping concrete successfully. fandr.com/pumping-concrete-successfully/

[43] Uno, P. J. (1998). Plastic shrinkage cracking and evaporation formulae. ACI Materials Journal, 95(4), 365–375.

[44] Kestrel Instruments. How to prevent plastic shrinkage cracks (ecuación de evaporación y umbrales). kestrelmeters.com/blog/how-to-prevent-plastic-shrinkage-cracks

[45] hcm Hormigones (2018). Lluvia y hormigón... ¿trabajamos o no? hcmhormigones.es/lluvia-y-hormigon-trabajamos-o-no/

[46] Eng-Tips Forums. ACI 117 tolerances (cita de ACI 117-10, sección 4.1.1). eng-tips.com/threads/aci-117-tolerances.378571

[47] Documento de trabajo: resumen consolidado de recibo, vibración y equipos, versión 3, 8 de octubre de 2026.

Herramientas de cálculo

[48] Diádica Proyectos e Ingeniería S.A.S. (2026). Calculadora de formaletas para columnas y vigas, de uso gratuito; presión lateral según ACI 347. www.diadicaing.com/formaletas

Fotografías de Wikimedia Commons

[49] Mattes (2007). Befüllung einer Betonpumpe. Dominio público. commons.wikimedia.org/wiki/File:Befüllung_einer_Betonpumpe.JPG

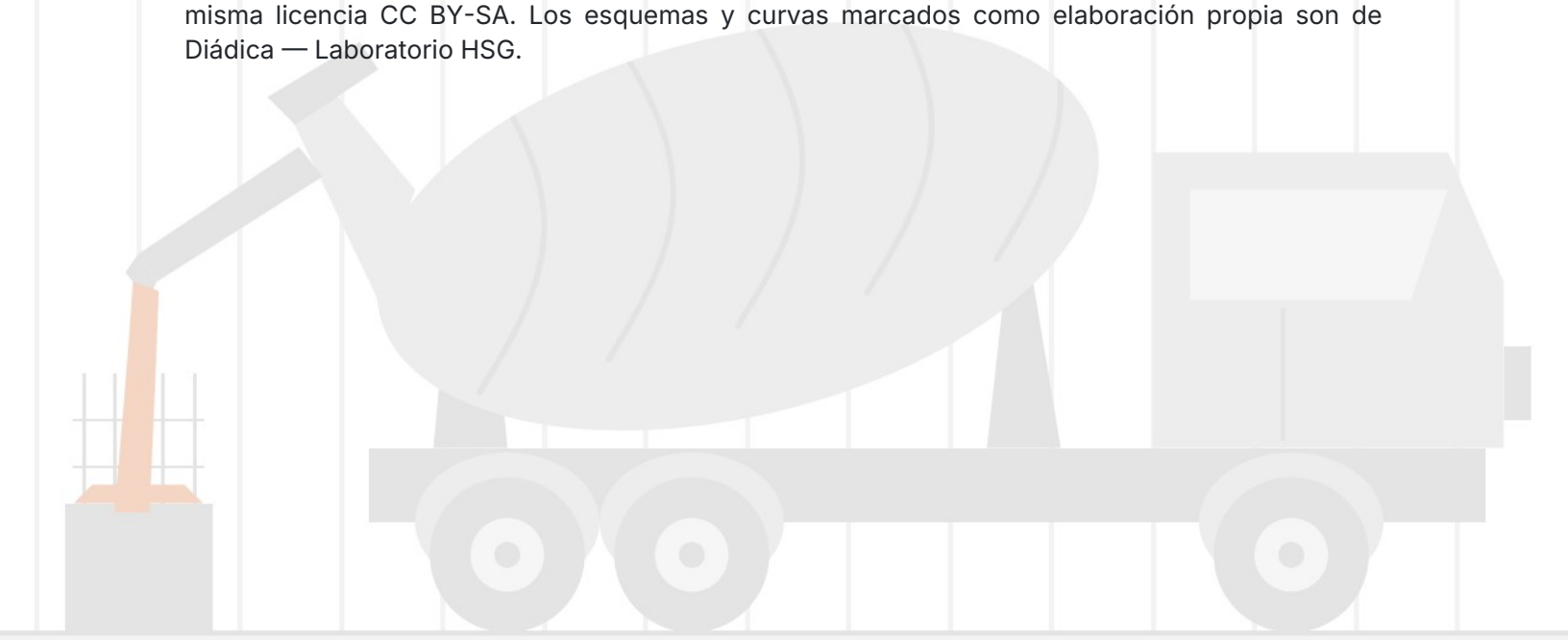
[50] Globetrotter19 (2020). MAN mixer and concrete pump truck, 2020 Budaörs. CC BY-SA 3.0. commons.wikimedia.org/wiki/File:MAN_mixer_and_concrete_pump_truck,_2020_Budaörs.jpg

[51] Philafrenzy (2017). Concrete pumping north London (2). CC BY-SA 4.0. commons.wikimedia.org/wiki/File:Concrete_pumping_north_London_(2).jpg

[52] M'henni, H. (2019). Coulage de béton pour dalle, Tunisie. CC BY-SA 4.0. commons.wikimedia.org/wiki/File:Coulage_de_béton_pour_dalle,_Tunisie.jpg

[53] BPU/Christian Klafsky (2011). Betoneinbau mit Pumpe. CC BY-SA 4.0. commons.wikimedia.org/wiki/File:Betoneinbau_mit_Pumpe.jpg

Las fotografías y figuras de terceros se reproducen como referencia técnica para el personal de la obra, con su fuente al pie de cada figura. No son material propio de Diádica; para distribuir el manual fuera de la obra se pide autorización a sus titulares. Las fotografías de Wikimedia Commons se usan según la licencia indicada; las que llevan rótulos añadidos son adaptaciones y se comparten bajo la misma licencia CC BY-SA. Los esquemas y curvas marcados como elaboración propia son de Diádica — Laboratorio HSG.



Anexos: formatos de campo

Cada formato se imprime por vaciado. Los campos son una propuesta operativa de Diádica; no son una lista normativa de ningún productor.

Anexo A Liberación de vaciado

Verificación (capítulo 5)	Cumple	No cumple	Observación y responsable
Planos y especificaciones vigentes; clase de concreto y TMN según 3.1			
Formaleta limpia, desmoldante, hermética y arriostrada			
Plomos, verticalidad y recubrimientos con separadores			
Refuerzo limpio; estribos y traslapos según planos			
Ventanas de limpieza cerradas; ventanas de vibrado marcadas			
Tuberías y ductos embebidos según C.6.3 (5.2); ninguna barra desplazada			
Tolerancias de recubrimiento y verticalidad; contraflecha medida si aplica (5.3)			
Juntas de construcción limpias, sin lechada, mojadas y sin agua apozada (7.5)			
Documentos de la mezcla aprobados (3.7)			
Pronóstico del clima, cubiertas disponibles y medición de evaporación prevista (cap. 12)			
Charla previa realizada; asistentes (13.3)			
Prueba de aguja en seco realizada			
Agujas probadas (una de reserva por cada dos); vibradores externos fijados			
Bomba o grúa, mangueras y caída libre ≤ 1,20 m			
Personal por zona; vigía de formaleta; laboratorio presente			
Procedimiento de vaciado y juntas previstas firmados			
Autorizado por: constructor / supervisión (nombre, firma, hora)			

Anexo B Recibo de camión

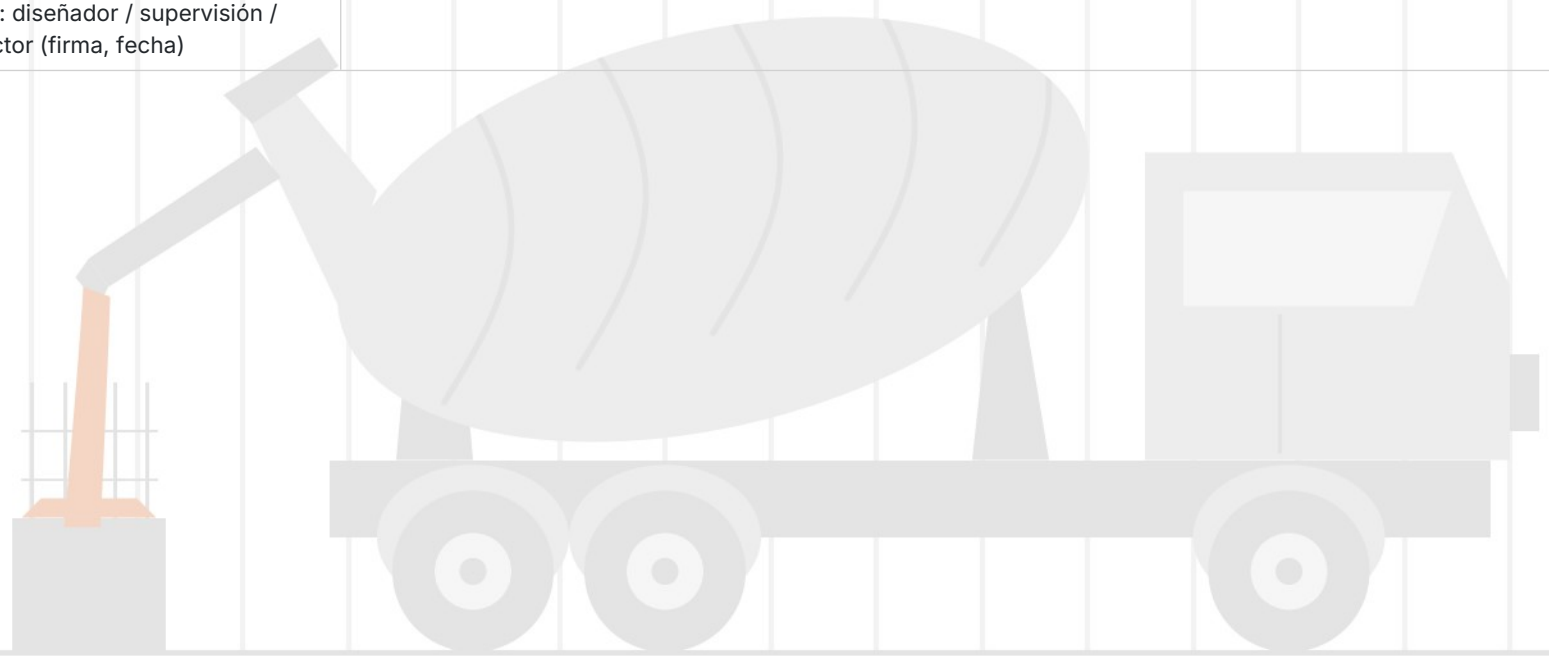
Remisión N.°	Hora de carga	Hora de llegada	Asent. 1 (mm)	Asent. 2 (mm)	Temp. (°C) y aspecto	Decisión y firma

Anexo C Registro de colocación y consolidación

Elemento y eje	Capa N.°	Aguja o equipo externo	Puntos y tiempo	Hora inicio–fin	Incidencias; curado (método y responsable)

Anexo D Autorización de desencofrado

Campo	Registro
Elemento, nivel y fecha de vaciado	
Edad y tiempo de curado acumulado (T > 10 °C)	
Fraguado final del concreto (ficha o ensayo)	
Resistencia exigida en esa etapa (diseñador) y resultado de cilindros curados en obra	
Cargas actuales y previstas; apuntalamiento y reapuntalamiento	
Secuencia de retiro	
Autoriza: diseñador / supervisión / constructor (firma, fecha)	

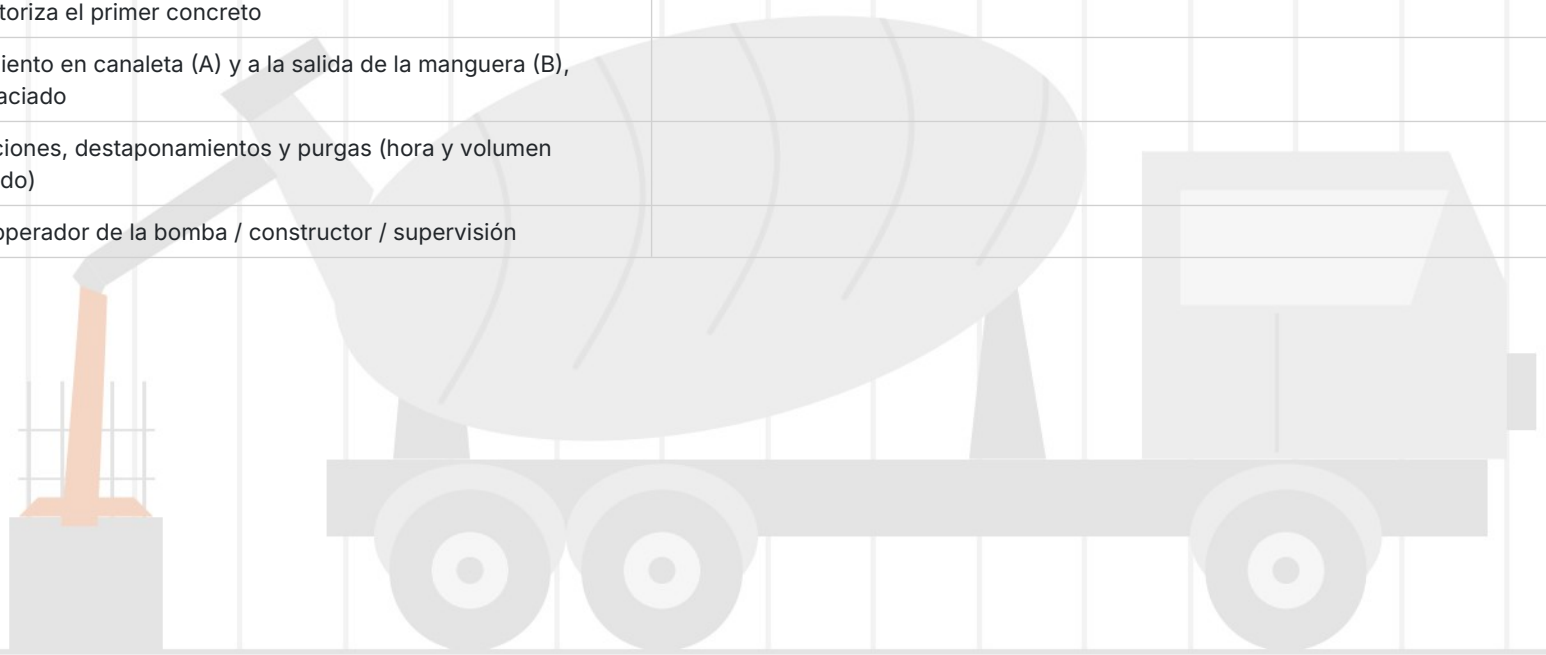


Anexo E Inspección después de desencofrar

Elemento	Hallazgo y dimensiones	Clasificación (10.5)	Acción y responsable

Anexo F Registro de bombeo (con base en la lista NRMCA, ASCC y ACPA)

Campo	Registro
Contactos: constructor, productor, bombeo, despacho, obra	
Bomba: modelo, tipo, diámetro y longitud de tubería y manguera, reducciones	
Estabilizadores y apoyo en terreno; paradas de emergencia y alarma probadas	
Redes eléctricas a ≥ 7 m (media y alta tensión) o ≥ 5 m (baja); señalero	
Volumen, ritmo (m^3/h), tiempo por camión y orden de rondas en columnas	
TMN de la mezcla ≤ 1/3 del diámetro menor de línea y manguera	
Lechada: volumen declarado, cajón de descarte, colorante (sí/no), quién autoriza el primer concreto	
Asentamiento en canaleta (A) y a la salida de la manguera (B), primer vaciado	
Interrupciones, destaponamientos y purgas (hora y volumen descartado)	
Firmas: operador de la bomba / constructor / supervisión	



Anexo G Plano de vaciado y trazabilidad

Se adjunta la planta del nivel con cada elemento numerado. Un renglón por elemento:

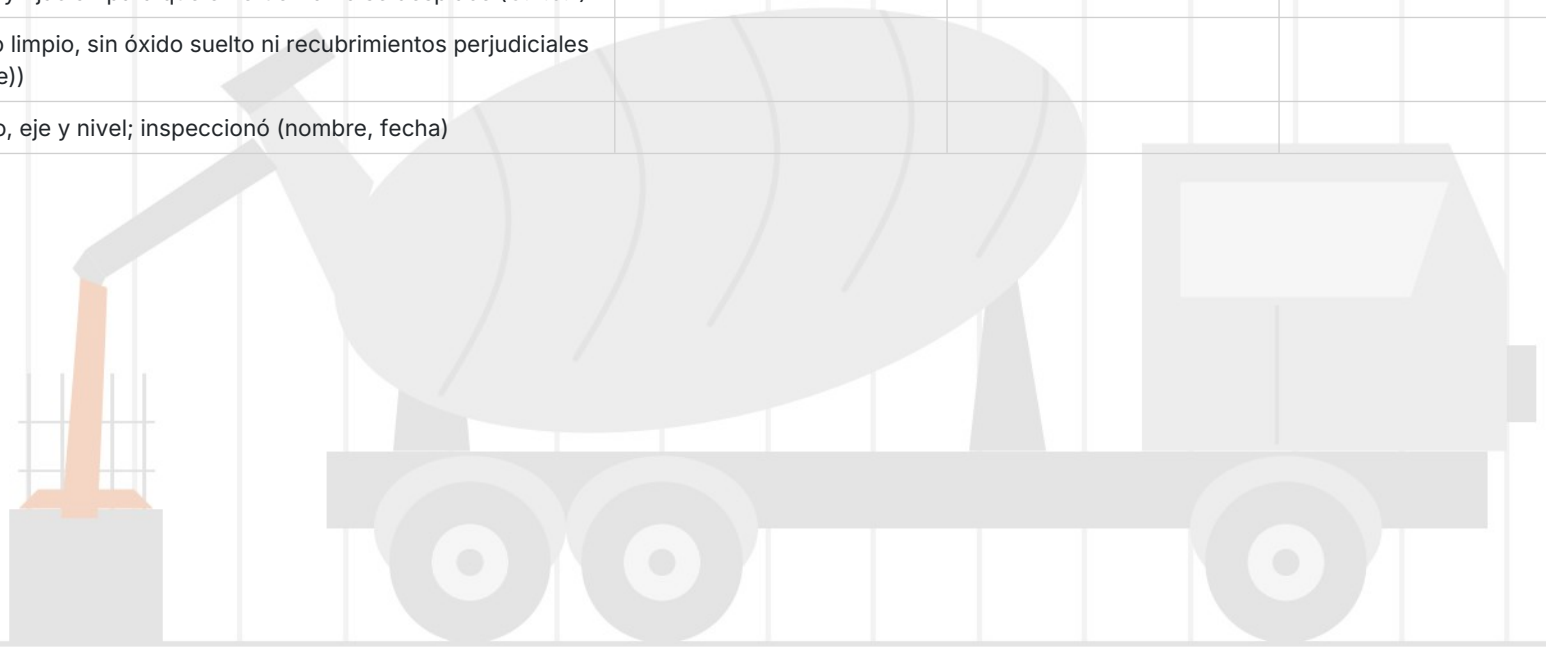
Elemento y eje	Clase f'c	Remisión N.°	Hora de colocación	Juego de cilindros	E (kg/m²/h)	Observaciones

Anexo H Registro de no conformidad

Campo	Registro
N.° y fecha; elemento y eje	
Descripción del hallazgo y requisito incumplido (capítulo y norma)	
Contención inmediata	
Causa identificada	
Tratamiento: aceptar / reparar / demoler; decisión del diseñador si es estructural	
Verificación de la ejecución y evidencia (fotos, ensayos)	
Cierre: supervisión / constructor (firma, fecha)	

Anexo I Inspección del refuerzo antes del vaciado

Verificación	Según planos	Medido en obra	Cumple / observación
Diámetro y número de barras longitudinales			
Separación de estribos en la zona confinada y longitud de esa zona			
Separación de estribos fuera de la zona confinada			
Ganchos sísmicos de estribos y ganchos suplementarios (forma y extensión según planos)			
Traslapos: ubicación y longitud; separación libre con barras vecinas (C.7.6.4)			
Separación libre entre barras y ventanas de vibrado (3.2)			
Recubrimiento con separadores; tolerancias de C.7.5.2.1 (5.3)			
Amarres y fijación para que el refuerzo no se desplace (C.7.5.1)			
Refuerzo limpio, sin óxido suelto ni recubrimientos perjudiciales (C.5.7.1(e))			
Elemento, eje y nivel; inspeccionó (nombre, fecha)			



Anexo J Control de resistencias

Se lleva por clase de concreto, en orden cronológico. La hoja de cálculo Control_Resistencias_Concreto_NSR10.xlsx hace los cálculos; este formato sirve para la copia impresa.

N.°	Fecha ensayo	Elemento / juego	Cil. 1	Cil. 2	Cil. 3	Resultado	Prom. 3 consec.	(a) / (b)

Anexo K Registro de curado diario

Elemento	Fecha vaciado	Método	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Responsable

Anexo L Clima y evaporación por vaciado

Hora	Ta (°C)	Tc (°C)	HR (%)	Viento (km/h)	E (kg/m²/h)	Medida tomada (12.2 / 12.3)	Responsable

Anexo M Desapuntalamiento y reapuntalamiento por nivel

Nivel	Fecha vaciado	Edad (d)	Cilindros de obra (MPa)	Zona y puntales retirados	Reapuntalamiento	Niveles apuntalados abajo	Autoriza

Anexo N Equipos y calibraciones

Equipo	Cantidad	Estado	Calibración o certificado (vence)	Observación
Agujas de vibrador (indicar diámetros) y repuestos				
Motores, convertidores y vibradores externos				
Cono de asentamiento, varilla y placa base				
Moldes de cilindros (150 × 300 o 100 × 200 mm)				
Termómetro para concreto				
Termohigrómetro y anemómetro				
Prensa del laboratorio de ensayos				
Bomba de concreto (revisión del operador)				

Anexo O Programación semanal de vaciados

Fecha	Elemento / nivel	Volumen (m^3)	Clase	Pedido y confirmación del productor	Bomba	Laboratorio	Pronóstico

Anexo P Registro fotográfico por vaciado

Foto N.°	Elemento (Anexo G)	Momento	Descripción	Archivo

Momento: antes (refuerzo y formaleta liberados), durante (colocación y vibrado) o después (desencofrado y curado).