

CONTROL DE CALIDAD EN OBRA: CONTROLES Y TAREAS PREVIAS AL HORMIGONADO



Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones

www.cdormigones.com.ar

En este número comenzamos una nueva serie de artículos orientados a la realización de un control de calidad de forma ágil, práctica y segura. En el primero de la serie de 10 artículos describiremos cuáles son las tareas y controles previos a tener en cuenta antes de recibir el hormigón elaborado. De no tener en cuenta estos cuidados probablemente aparecerán problemas que se traducirán en mayor probabilidad de defectos y sus costos asociados, conflictos entre las partes involucradas y retraso en el avance de nuestras obras. Se describen 13 ítems con recomendaciones en formato 'check list' que pueden servir como guía para la redacción de especificaciones técnicas o para la confección de procedimientos de

inspección en todo tipo de obras civiles. Tomarse el tiempo para verificar todos estos aspectos redundará en ahorros de tiempo y económicos, debiendo ser estrictos en el cumplimiento de los requisitos. De no haber comprobado el 'OK' de los requisitos se recomienda no autorizar el hormigonado hasta que aquellos cumplan lo requerido.

1. Dimensiones, niveles y condiciones de los encofrados (figura 1)
- Los encofrados se deben limpiar, colocar, fijar y apuntalar adecuada y precisamente según las indicaciones del director de Obras y de la inspección. Es recomendable, para mejorar las terminaciones del hormigón y disminuir los costos de reparación, colocar desmoldantes a la cara interna del encofrado, lo cual también incrementará su vida útil y números de uso.
- La nivelación de los encofrados y moldes, tanto para elementos estructurales como para pisos y pavimentos, es de vital importancia para respetar los espesores de proyecto y evitar deformaciones excesivas en los elementos o elevar los consumos de hormigón.
- Las precauciones anteriores deben extremarse y hay que trabajar con desmoldantes específicos para el caso del hormigón visto arquitectónico (*Hormigonar 25 y 26*).
- Es importante humedecer los encofrados antes de la colocación del hormigón, fundamentalmente en condiciones de clima caluroso, para evitar que el



Figura 1



Figura 2

encofrado absorbente de madera le 'robe' agua al hormigón o que el encofrado metálico expuesto al asoleamiento tienda a desecar la capa superficial del hormigón de recubrimiento. El resultado de no realizar esta tarea se traduce en un hormigón de recubrimiento débil, conocido como 'hormigón quemado'.

- Para losas alivianadas es indispensable humedecer los cerámicos, siendo recomendable realizarlo el día anterior y volver a mojarlos el día del colado, disminuyendo así el riesgo de fisuras por contracción plástica (*Hormigonar 17*).
 - En todo tipo de obra es recomendable evaluar diferentes alternativas de encofrados tradicionales de madera, encofrados industrializados metálicos o sistemas mixtos. Deben considerarse no sólo los costos de los sistemas sino también la mano de obra, la rapidez constructiva, la rotación de los mismos, la seguridad de obra, el espacio disponible para trabajar y el orden y la limpieza de obra, entre otros aspectos.
 - También es importante diagramar las áreas de circulación durante las tareas de hormigonado y brindarles las medidas de seguridad adecuadas a los operarios que trabajen en altura.
2. Diámetros, separaciones, recubrimientos y estado superficial de las armaduras (figura 2)
 - Debe asegurarse que los diámetros, separaciones y recubrimientos que figuran en los planos sean plasmados en la obra, lo que muchas veces no se cumple, debiendo inspeccionar los elementos una vez encofrados.
 - Siempre debe verificarse antes del llenado que las barras se encuentren en su posición según planos y que las tareas normales durante el colado y el vibrado no muevan las armaduras de su posición original. Si se hormigona un elemento con las armaduras fuera de posición el defecto quedará 'oculto' a los ojos y podrá traer problemas considerables de seguridad estructural (no respetar los planos y memorias de cálculo) o mayor probabilidad de fisuras por asentamiento plástico (*Hormigonar 16*).
 - Los recubrimientos deben ser bien materializados en obra mediante separadores metálicos, plásticos o de mortero ('raviolos'), debiendo ser compatibles con los requisitos funcionales de la estructura.
 - En el caso de fundaciones especiales o elementos que posean insertos o platinas deberá realizarse una adecuada nivelación y posicionamiento de los mismos para evitar la salida de su posición inicial o alineación durante las tareas de colado. »



Figura 3



Figura 4

- El acero deberá estar limpio y libre de herrumbre suelto y de cualquier otra sustancia extraña (aceites, grasas o restos de morteros). Para acopios de acero que se encuentren con óxidos superficiales, si los mismos están bien adheridos y no superan más del 5% de la sección transversal de las barras no hay que tomar ninguna medida adicional. El ensayo se realiza cortando una barra, pesándola y cepillándola enérgicamente con cerdas metálicas, y en caso de que la pérdida de masa supere el 5% no pueden usarse.
 - En el caso de pisos y pavimentos, barras de unión y pasadores deben estar en la posición que indican los planos y tratados según las especificaciones del proyecto (por ejemplo, con el habitual engrasado previo u otra rotura de adherencia).
3. Capacidad soporte en el caso de pisos y pavimentos
- Una de las principales causas de deterioro prematuro en pisos y pavimentos de hormigón es la falta de preparación y/o compactación de la base de apoyo. Debe realizarse siguiendo especificaciones particulares para cada caso, requiriendo en algunas ocasiones la sustitución del suelo del lugar, siendo muy relevante una compactación adecuada.
 - La capacidad soporte de la base de apoyo debe ser acorde a las cargas previstas. Deben realizarse ensayos para determinar la aptitud o no de la base de apoyo antes del pedido de hormigón.
 - Además de una adecuada compactación en valor absoluto es primordial que exista uniformidad en todo el pavimento, ya que de existir puntos de mayor o menor densidad pueden aparecer problemas locales. El material para la base de apoyo debe ser adecuadamente seleccionado (material granular, grava, arena, estabilizado, terreno del lugar, etc.) y uniformemente compactado, evitando que el mismo se presente como expansivo, susceptible a las heladas o al bombeo (*Hormigonar 24*).
4. Estado de superficies en fundaciones, pisos y pavimentos
- En estructuras en contacto con el suelo es muy importante humedecer la subrasante (principalmente en condiciones de clima caluroso) para evitar que la misma absorba agua de composición del hormigón. Es recomendable humedecer abundantemente el día anterior al colado y antes del colado repasar para que esté húmedo pero no encharcado, ya que si existe exceso de humedad podría incrementarse el riesgo de alabeo de losas (*Hormigonar 22*). »



Figura 5

- Tal cual se destacó anteriormente, debe aprobarse la nivelación del terreno antes del colado.
 - No debe colocarse el hormigón en subrasantes congeladas, debiendo eliminar el hielo antes del colado. Deben retirarse todos los escombros, hojas, barro, agua estancada, etc., antes del colado del hormigón.
 - Cuando se emplean riegos de imprimación o se coloca el hormigón directamente sobre láminas de polietileno no es necesaria la humectación de la base de apoyo, aunque esta última técnica no es recomendable, ya que incrementa el riesgo de patologías (*Hormigonar 21 y 24*).
5. Seguridad de apuntalamientos de encofrados y otros elementos de sostén (figura 3)
 - Se debe exigir el diseño y cálculo de los encofrados y apuntalamientos teniendo en cuenta siempre la seguridad de los operarios. Asimismo, deberán posicionarse en obra los puntales y otros elementos de manera que aseguren la estabilidad de los elementos, minimizando así el riesgo de abertura de encofrados o caída de los mismos durante el colado, ya que involucra la seguridad de los operarios.
 6. Disponibilidad suficiente en cantidad y calidad de materiales, equipos y mano de obra para la colocación, compactación, terminación de superficies, protección y curado continuos
 - Hay que prever que la mano de obra se encuentre disponible a la llegada de los camiones a la obra y en lo posible no realizar recesos, y en caso de hacer una pausa (almuerzo, por ejemplo) comunicarlo a la planta con suficiente antelación. Los períodos de descanso no pueden nunca coincidir con los tiempos de hormigonado. En caso de no poseer una cuadrilla de un adecuado número de operarios, esto resultará en demoras en la descarga del hormigón y en potenciales problemas con la calidad del mismo.
 7. Medidas especiales en condiciones climáticas adversas o para hormigonado nocturno (figura 4)
 - Se deberá verificar la existencia y buen funcionamiento de los equipos de compactación del hormigón, tanto de los vibradores como de las instalaciones eléctricas. Es recomendable contar siempre con un vibrador de inmersión de repuesto, ya que son equipos de rotura bastante habitual en obra.
 - Antes de comenzar el hormigonado se deberá verificar la existencia de todos los medios para proteger en estado fresco y curar el hormigón recién colado. Estas técnicas tienden a prevenir problemas como fisuras y otros daños del hormigón endurecido que pueden disminuir la vida útil de las estructuras. No sería admisible esperar a comenzar a colar al hormigón para que estos equipos lleguen a obra.
 - Otros elementos específicos exigibles para pavimentos son: reglas, fratachos, sierras y discos de corte para juntas y otras herramientas, y para el caso de pisos industriales deben sumarse endurecedores superficiales en cantidad suficiente y equipos para el llaneado del mismo.



Figura 6

- Cuando existan condiciones de tiempo frío o tiempo caluroso deberá contarse en obra con las medidas especiales para la colocación, protección y curado del hormigón en esas condiciones antes de la recepción del hormigón elaborado en obra.
 - El hormigonado al aire libre será detenido cuando llueva fuertemente y cause charcos en el hormigón, salvo que se improvise alguna cubierta impermeable.
 - En el caso de hormigonado nocturno, deberán tomarse medidas de seguridad adicionales y contar con la iluminación suficiente para el normal desarrollo de las tareas.
- 8.** Disponibilidad de elementos de ensayo y de moldes de probetas según el volumen de hormigón
- Es indispensable contar con los elementos de ensayo antes de confirmar el pedido de hormigón elaborado. Muchas veces se acepta que “el camión viene con los moldes”, pero si no fuese así no se podrá controlar eficientemente el hormigón.
 - Dependiendo de las necesidades de la obra, el volumen de hormigón, el nivel de control y las especificaciones deberán exigirse los elementos para ensayos, incluidos moldes de probetas, en cantidad suficiente antes de hormigonar. En otro artículo de la serie “Control de calidad ” se brindarán disposiciones prácticas de qué y cuántos elementos de ensayo se debe disponer en función de la obra.
- 9.** Condiciones de higiene y seguridad en las tareas de hormigonado (figura 5)
- Todos los operarios deben contar con elementos de seguridad adecuados, siendo de extrema importancia la capacitación para evitar todo tipo de riesgos. Debe cumplirse con la legislación vigente en materia de H & S en la industria de la construcción.
 - Respecto a las bombas, deben tenerse en cuenta potenciales problemas con bombas y líneas de alta y media tensión para evitar que las plumas de las mismas pasen cerca de las líneas, ya que podría traer aparejada la electrocución del bombista. Al circular bajo bombas o cintas transportadoras deben utilizarse los EPP que correspondan.
 - Todas las medidas de seguridad y elementos de protección personal no sólo son aplicables a los operarios de obra sino también deben ser exigidos en obra a los mixeros y bombistas.
- 10.** Permisos y señalización para trabajos en la vía pública (figura 5)
- Al trabajar en la vía pública debe señalizarse adecuadamente la zona de estacionamiento de bombas y de entrada, maniobra y salida de camiones de acuerdo a la legislación aplicable en la jurisdicción donde ubique la obra.
 - Además, en varias ciudades es indispensable contar con la autorización previa de la municipalidad.
- 11.** Seguridad suficiente para el acceso de camiones y bombas a la obra (figura 6)

»

- Entre otros aspectos, dentro de la obra y en sus accesos para camiones debe tenerse en cuenta:
 - Qué no esté demasiado húmedo el terreno (riesgo de enterrarse)
 - Caminos seguros y con pendientes acordes para la maniobra de camiones
 - Estabilidad de taludes en excavaciones y bien señalizadas en zonas próximas a circulación
 - Puentes de entrada adecuados (entre 25 y 35 toneladas pesa un mixer)
 - Zonas liberadas para el despliegue de las bombas y entrada de mixers (gálilos, árboles, etc.)
- 12. Volúmen cubicado con precisión y un adecuado pedido del HE**
- Debe estimarse correctamente la cantidad necesaria a hormigonar y tener siempre en cuenta pérdidas de encofrados, irregularidad en fundaciones, sobre-espesores, volumen sobrante en la bomba, etc. No deben emplearse 'recetas' como $X \text{ m}^3/\text{m}^2$ de losa ni cubicarse estrictamente en base a las dimensiones de planos con programas informáticos sin realizar observaciones en obra antes de hormigonar.
 - Habrá necesidad de una cantidad ligeramente mayor a la que se mide o 'cúbica' geométricamente:
 - 2 a 3% más en caso de elementos encofrados muy bien definidos
 - 3 a 5% más para la generalidad de casos
 - 5 a 10% en caso de fundaciones o sub-bases irregulares
 - En caso de irregularidades muy importantes es difícil la determinación
 - La cantidad mínima de pedido según IRAM 1666 es $1,0 \text{ m}^3$ y la fracción menor es $0,5 \text{ m}^3$ tanto para el pedido inicial como para el 'corte'.
 - El 'corte' debe ser solicitado con una antelación suficiente debido a que si se espera a descargar todo el volumen despachado y recién pedirlo:
 - Posibilidad de aparición de juntas frías, ya que desde que se solicita, se carga en planta, viaja a obra y se descarga pasarán al menos 1 ó 2 horas.
 - Dificultades en la logística y previsión del proveedor de hormigón elaborado para otras obras.
 - El pedido de hormigón elaborado debe realizarse en base a las necesidades de la estructura, condiciones de colocación y manipuleo y según las especificaciones y planos de los elementos.
 - Cliente, datos y dirección de la obra y tipos de elemento a hormigonar.
 - Características del servicio, como día y hora, necesidad de bomba, cinta u otro servicio, etc.
 - Capacidad de descarga en obra ($X \text{ m}^3/\text{hora}$, un camión cada Y minutos o Z horas para el trabajo).
 - Características del hormigón (categoría resistente, asentamiento, edad de diseño, tamaño máximo de agregados, aditivos a incorporar en planta o a proveer en obra, etc.).
- 13. Contar con las aprobaciones previas de inspectores o supervisores de obra**
- En función del tipo de obra, bien sea pública o privada, en muchos casos son exigibles inspecciones previas de la supervisión de obra antes del colado del hormigón. Las mismas tienen como objeto verificar varios de los aspectos mencionados anteriormente, pero por profesionales ajenos al constructor. «

CONTROL DE CALIDAD EN OBRA: TRAZABILIDAD Y TOMA DE MUESTRAS



Figura 1 - Muestreo del hormigón fresco y homogeneización a pala

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones SA
www.cdormigones.com.ar

Para llevar a cabo un eficaz control en obra, entre otros aspectos, se debe:

- Conocer la importancia de la realización y la metodología correcta de toma de muestras y ensayos, es decir, según procedimientos y normas.
- Capacitar laboratoristas de obra para la realización de ensayos.
- Llevar registros para asegurar la trazabilidad del Hormigón Elaborado colado en obra.

- Consultar al proveedor sobre cualquier duda de cómo, cuándo y para qué realizar los ensayos.

De no realizar estas tareas, se corren múltiples riesgos, como:

- Imposibilidad de conocer la calidad real del Hormigón Elaborado.
- Mayor probabilidad de aceptación de hormigones defectuosos.
- Incertidumbre de la calidad y seguridad de la estructura terminada.
- Inconvenientes entre el proveedor de Hormigón Elaborado y el cliente.

- Dificultad de atribuir responsabilidades en caso de conflictos.
- Incremento de costos en caso de ensayos sobre las estructuras.

Muestreo del hormigón fresco

Todo ensayo parte del muestreo del hormigón, y si éste no se realiza correctamente, los ensayos no tendrán validez. Sin embargo, en una cantidad considerable de obras, el muestreo no se lleva a cabo de manera adecuada, probablemente por desconocimiento de algunas disposiciones que se brindarán a continuación, las cuales coinciden con los criterios indicados en la Norma IRAM 1541.

- La muestra será representativa y deberá ser siempre tomada después de descargar el primer $1/4 \text{ m}^3$ y antes de descargar el último $1/4 \text{ m}^3$. Tomar la muestra apenas comienza a descargar el camión hormigonero es un error muy frecuente debido a que esta muestra se encuentra alterada por la propia segregación al comienzo de la descarga (mayor cantidad de agregado y, probablemente, agua) y el agua que se coloca en la canaleta para facilitar la descarga, entre otros factores. No hay que realizar una medición exacta de los 250 litros descargados, sino que el concepto es descargar “un poco” de hormigón y recién tomar la muestra para ensayos de aceptación (asentamiento, aire, temperatura) o para el moldeo de probetas. Para este último caso, puede ser más recomendable tomar la muestra de la mitad de la descarga, para evitar que se manipule de mala manera el hormigón en la descarga (incorporación de agua), después de la toma de muestras inicial.
- Muchas veces las muestras se toman en carretillas por comodidad, pero también pueden utilizarse baldes u otros recipientes herméticos y limpios. Para el caso de toma de muestras durante el bombeo, es recomendable captar toda la vena de descarga con el balde mientras se descarga el hormigón, trasvasando la cantidad de muestra suficiente a la carretilla (Figura 1); esto tiene el objetivo de no entorpecer las

tareas corrientes de colocación del hormigón. La muestra deberá ser tomada por al menos dos pasajes a través del chorro de descarga que lo capte totalmente, para lograr mayor representatividad.

- Una vez transportada la muestra al lugar donde se realizarán los ensayos, se remezclará con pala para uniformarlo, aun cuando presente agua de exudación en la superficie. En condiciones climáticas adversas, se cubrirá la muestra para que éstas no puedan alterarla.
- No es recomendable que transcurran más de 15 minutos entre la toma de muestras y los ensayos, salvo para el caso del moldeo remoto de probetas (ver Revista *Hormigonar* edición 25). De otra forma, los resultados pueden ser alterados, como por ejemplo en caso de clima caluroso que incide mucho en el desecamiento de una muestra pequeña, como la que se obtiene en carretillas.
- Por último, el volumen de la muestra será al menos un 40% superior al necesario para los ensayos. Por ejemplo, se deben muestrear al menos 40 litros para un cono y cuatro probetas de $15 \times 30 \text{ cm}$, reduciendo el volumen a menos de la mitad si se emplean probetas de $10 \times 20 \text{ cm}$.

Cantidad de muestras recomendada en función del volumen

Un parámetro que rara vez figura en especificaciones es la cantidad de muestras a tomar. El control de calidad del hormigón se basa en el muestreo al azar; quiere decir que tomamos algunas unidades de muestreo (pastones) y en función de ellas valoramos (aceptación o rechazo) el lote. Por ello, no es necesario ni conveniente tomar muestras y probetas a todos los viajes que llegan a la obra. De realizarlo, nuestro control de calidad podrá verse costoso y excesivo, además de los problemas asociados con la cantidad importante de probetas tomadas (pileta de curado, transporte al laboratorio central, etc.). Por ello, presentamos en la Tabla 1 una propuesta que es una envolvente de las disposiciones de la Norma IRAM 1666 de Hormigón Elaborado y del nuevo Reglamento CIRSOC 201-05. »

Tabla 1

Volumen en el día	Camiones equivalentes	Número de muestras
Menos de 10 m ³	1 camión en el día	1 muestra
Entre 10 y 25 m ³	2 a 4 camiones en el día	2 muestras
Entre 25 y 50 m ³	5 a 7 camiones en el día	3 muestras
Entre 50 y 100 m ³	8 a 14 camiones en el día	4 muestras
Entre 100 y 150 m ³	15 a 22 camiones en el día	5 muestras
Entre 150 y 200 m ³	23 a 30 camiones en el día	6 muestras

Si se posee una planta en obra bajo el mando del director de obras o una planta externa con un SGC certificado (Modo 1), se puede reducir a una muestra cada 40 m³ (5 muestras por lote de 200 m³). En caso de que un conjunto de elementos estructurales posea un volumen mayor a 200 m³ y que sean hormigonados durante la misma jornada sin interrupciones mayores a 3 horas y se realicen con el mismo tipo de hormigón y materiales, se puede considerar: que para 300 m³ se tome una muestra cada 60 m³; para 400 m³, una muestra cada 80 m³; y para 500 m³ y más, una muestra cada 100 m³ como máximo admisible.

Cantidad de probetas por muestra y edades de ensayo

Otro aspecto que quita validez a los ensayos de varias obras es que se moldea una probeta por muestra o a veces dos, y una se ensaya a 7 y la otra a 28 días. Este error muy corriente en obra, que contradice normas IRAM de ensayo y el Reglamento CIRSOC 201, conduce a que éstos no pueden analizarse estadísticamente como corresponde (criterios de media móvil y del resultado individual).

Tal como establece el Reglamento, por cada muestra (cada camión muestreado) siempre deben moldearse dos probetas como mínimo para ensayarlas ambas a la edad de diseño, que generalmente es de 28 días. En caso de que sea otra edad de diseño (7 días para habilitar rápido un puente de acceso o 90 días para el caso de plateas masivas), las dos probetas serán ensayadas a esta edad. El promedio de la rotura de las probetas a la edad de diseño (o similar) constituye un resultado de ensayo y podrá analizarse si éste es válido o no, pudiendo inferir estadísticamente sobre la adecuada ejecución de varias de las tareas relacionadas con el ensayo (moldeo, encabezado, rotura, etc.).

Por especificaciones particulares (necesidad de controlar a otras edades), sí pueden moldearse probetas adicionales con la misma muestra (Figura 2), extras a las dos “probetas gemelas” de la edad de diseño. Se citan dos ejemplos de aplicación para una edad de diseño de 28 días:

- Se desea controlar la resistencia también a 7 días: deberán moldearse 3 ó 4 probetas por muestra, para ensayar 1 ó 2 probetas a 7 días (según la disponibilidad de moldes en la obra) y 2 probetas a 28 días. Como la edad de ensayo próxima a 7 días es sólo una “guía” para pronosticar resistencias, sin validez para tomar decisiones sobre aceptación o rechazo de hormigones, puede ser recomendable tomar 1 probeta para 7 días, para no incrementar los costos asociados al control de calidad.
- Se desea controlar a 7 días y reservar probetas “testigo”: podrían moldearse 4 probetas por muestra, para ensayar 1 probeta a 7 días, 2 probetas a 28 días (edad de diseño) y conservar una probeta por cualquier resultado anómalo que pudiera aparecer, para tenerla de “reserva”. En caso de cumplimentar con los requisitos de resistencia a 28 días, no es necesario ensayar esta probeta testigo.

Trazabilidad y seguimiento de hormigones

Otro aspecto muchas veces olvidado en obra es llevar “Planillas diarias de seguimiento de hormigones”, en las cuales debe plasmarse la información justa y necesaria para lograr una trazabilidad del hormigón. El director de obra tiene la responsabilidad de aplicar los resultados de ensayos y la experiencia acumulada en la construcción de las estructuras que aún falta realizar, con vistas a optimizar la calidad de las estructuras o a mantener el nivel de calidad aceptable que se hubiera alcanzado. A continuación se brindará la información mínima que deben comprender estas Planillas de seguimiento de hormigones (Figura 3) con el objeto de mejorar la calidad de los trabajos y, en caso de algún inconveniente, poder inferir sobre la causa o responsables y localizar dónde se encuentra el hormigón cuestionado. »



Figura 2 - Diferentes criterios de número de probetas por muestra (tres, seis y cuatro respectivamente)

- Tipo de Hormigón (categoría resistente o codificación propia de obra).
- Número de remito (y proveedor de hormigón si se cuenta con más de uno).
- Volumen de hormigón del viaje según remito.
- Hora de llegada a obra y hora de salida de obra del camión hormigonero.
- Tipo de elementos estructurales llenados (losas, tabiques, fundaciones, pavimentos, etc.).
- Designación (según el director técnico o según planos) de los elementos. Por ejemplo, tabique sur del segundo piso, progresiva 125 del canal, pavimento en calle San Martín al 520, etc.
- Aditivos incorporados en obra (tipo, marca y dosis).
- Asentamiento del hormigón fresco (lugar al menos para dos ensayos, ya que para rechazar un camión hay que realizar dos ensayos o para el caso de una segunda medición al incorporar aditivos).
- Temperatura del hormigón fresco.
- Aceptación o rechazo del hormigón fresco en función de los ensayos (asentamiento, aire, etc.).
- Moldeo de probetas (número y/o identificación precisa de las probetas).
- Edad a la que deben ensayarse las probetas moldeadas, según se especificó anteriormente.
- Otros ensayos u observaciones sobre el hormigón fresco (por ejemplo, peso unitario o aire incorporado).
- Condiciones meteorológicas a diferentes horas del día y pronóstico para el día siguiente.

Estos datos, donde ninguno abunda, serán suficientes para darle una adecuada trazabilidad al hormigón de las estructuras. En caso de aparecer algún resultado anómalo en las resistencias, podrá verificarse si existió algún inconveniente en obra en correspondencia con los bajos resultados, como ser: elevado asentamiento, estadía excesiva del camión en obra, bajas temperaturas, etc.

FECHA:	/ /
Hoja	de

PLANILLA DIARIA DE SEGUIMIENTO DE HORMIGONES	
Responsable:	

OBRA	
SECTOR	
Contratista	

DATOS DEL HORMIGÓN ELABORADO			DATOS ESTRUCTURA		DATOS DEL HORMIGÓN FRESCO			MOLDEO DE PROBETAS				Observaciones / Otros ensayos / Medio colocación		
Nº	Tipo Hº	Número remito	Volu- men Hº	Horarios en obra	Tipos de elementos	Designación elementos	Asenta- miento	Temp. Hº Fº	Aditivos incorporados en obra (o fibras)	Recibió conforme?	Nº		Designación	Edad ensayo
1				Llega : Sale :			1º 2º	ºC	Marca Dosis		1		1	
2				Llega : Sale :			1º 2º	ºC	Marca Dosis		1		1	
3				Llega : Sale :			1º 2º	ºC	Marca Dosis		1		1	
4				Llega : Sale :			1º 2º	ºC	Marca Dosis		1		1	
5				Llega : Sale :			1º 2º	ºC	Marca Dosis		1		1	
6				Llega : Sale :			1º 2º	ºC	Marca Dosis		1		1	
7				Llega : Sale :			1º 2º	ºC	Marca Dosis		1		1	

Horario de determinación	1-	2-	3-	4-
Temperatura (°C)				
Humedad relativa (%)				
Velocidad viento (km/h)				

Condiciones climáticas de la jornada	
Termómetro máxima / mínima de la obra	
Temperatura mínima	
Temperatura máxima	

Pronóstico para el día siguiente:	
Minima esperada:	
Maxima esperada:	
Otros (viento, HR baja):	

- Cualquier otro comentario o anotación AL DORSO -

Figura 3 - Planilla Tipo Seguimiento hormigones



Siguiendo los lineamientos de la planilla modelo adjunta (Figura 3), es recomendable:

- Realizar una planilla por día (aunque sea un solo viaje) para llevar un registro diario y archivarlo.
- Si no se hormigona, no realizar una planilla vacía, y en el caso de una jornada con mucho volumen, completar más de una hoja, numerándolas.
- Anotar los datos de todos los viajes que llegan a la obra, aun aquellos a los que no se les realicen ensayos de asentamiento y/o moldeo de probetas.

Es recomendable que el encargado de la confección de la planilla sea la misma persona que realiza los ensayos (salvo en obras de envergadura) y que sea metódica, a la cual se le transmita la responsabilidad e importancia que implica su trabajo. Además, es muy importante brindarle fichas de capacitación resumidas y bien gráficas, las cuales serán presentadas en próximos artículos de *Hormigonar*. No se considera indispensable transcribir o informatizar estas planillas, ya que las planillas manuscritas dan mayor veracidad a los registros, debiendo archivarlas consecutivamente en orden cronológico.

Otros registros de ensayo

Las tareas faltantes en obras convencionales consisten en asegurar la protección y curado de las

probetas, su identificación y prever los días en que deben llevarse las probetas a ensayar al laboratorio. Para ello se recomienda llevar una segunda planilla paralela (en este caso, puede ser en la computadora y con formato de planilla de cálculo), relacionada con la rotura y resistencia de las probetas a distintas edades.

- Fecha de moldeo, identificación de la probeta y edad de ensayo (datos copiados de la planilla anterior).
- Fecha de rotura teórica de la probeta (fecha de moldeo + edad de ensayo).
- Fecha estimada de envío al laboratorio, ya que muchas veces no es factible llevar todos los días probetas al laboratorio, sugiriendo en la generalidad de los casos ir dos veces por semana al laboratorio en días predeterminados (por ejemplo, los lunes y los jueves) y llevar: probetas de 6, 7, 8 y 9 días para el ensayo y probetas de 27, 28, 29 y 30 días para el ensayo.
- Al final, un lugar para copiar, cuando lo comunique formalmente el laboratorio: resistencia o tensión de rotura (MPa) y edad real de ensayo (o fecha de rotura). El análisis y procesamiento estadístico de los resultados de resistencias a compresión será abordado en un artículo independiente. «

Conformidad y aceptación del hormigón fresco en obra

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdormigones.com.ar

Los criterios de conformidad son las disposiciones destinadas a establecer si el hormigón colocado en una estructura cumple con los requisitos establecidos en los reglamentos y las especificaciones del proyecto. Estos criterios se refieren a las propiedades del hormigón fresco y el hormigón endurecido, estudiándose en el presente artículo el primero de los estados. El control de conformidad constituye el conjunto de acciones, ensayos y decisiones destinados a la recepción del hormigón. Se basa en la realización de ensayos normalizados que miden las propiedades del hormigón especificadas, que generalmente figuran en los remitos, debiendo realizarlos sobre muestras representativas del hormigón elaborado. Con la medición de estos parámetros en estado fresco, considerando las tolerancias admitidas por reglamento, se decide si se procede a la aceptación (en caso de cumplir con las especificaciones del pedido) o al rechazo del hormigón fresco (si no cumple con los requisitos solicitados por el cliente).

Para finalizar esta introducción, hay que tener en cuenta que, además de estos controles, deben realizarse ensayos sobre el hormigón endurecido para la aceptación definitiva, entre los que se destaca el moldeo y rotura de probetas (será estudiado en un artículo independiente), constituyendo el principal criterio de conformidad para hormigón endurecido en la actualidad.

Criterios generales de aceptación en obra

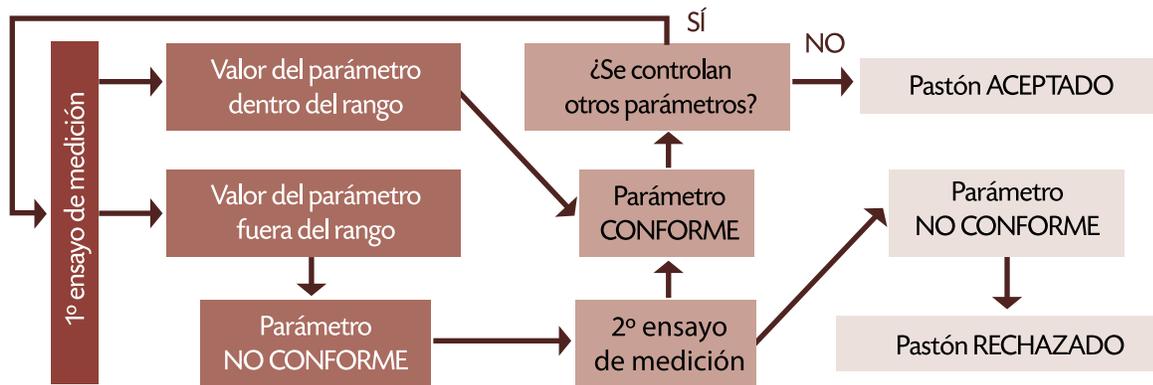
El CIRSOC 201/05 establece que los ensayos de aceptación del hormigón fresco deben realizarse con la siguiente frecuencia diaria:

- Al comienzo de la jornada, al menos en los 5 primeros camiones recibidos consecutivos.
- Cuando hubiesen transcurrido 2 horas de la última determinación.
- Cuando se efectúe la toma de muestras para la confección de probetas (es indispensable).
- Al tener un resultado no conforme, al menos en 3 pastones siguientes.
- Cuando existan dudas o visualmente se aprecie una deficiencia del hormigón en estado fresco.

Como se estudiará, pueden determinarse una o más propiedades del hormigón fresco, debiendo seguir el diagrama de flujo de la Figura 1. Todos estos valores de ensayo deben registrarse en la planilla de trazabilidad de muestras diarias, cuyo formato tipo fue presentado en el número anterior de *Hormigonar*.

Algo poco conocido, pero establecido por el reglamento, es que con un solo ensayo no conforme no puede rechazarse el hormigón fresco. Esto quiere decir que si tomamos una muestra representativa y realizamos un ensayo de asentamiento y da 5 cm más de lo solicitado, el hormigón con este único resultado no puede ser rechazado; siempre se requiere un nuevo ensayo definitivo sobre una nueva muestra, desechando lo

Figura 1

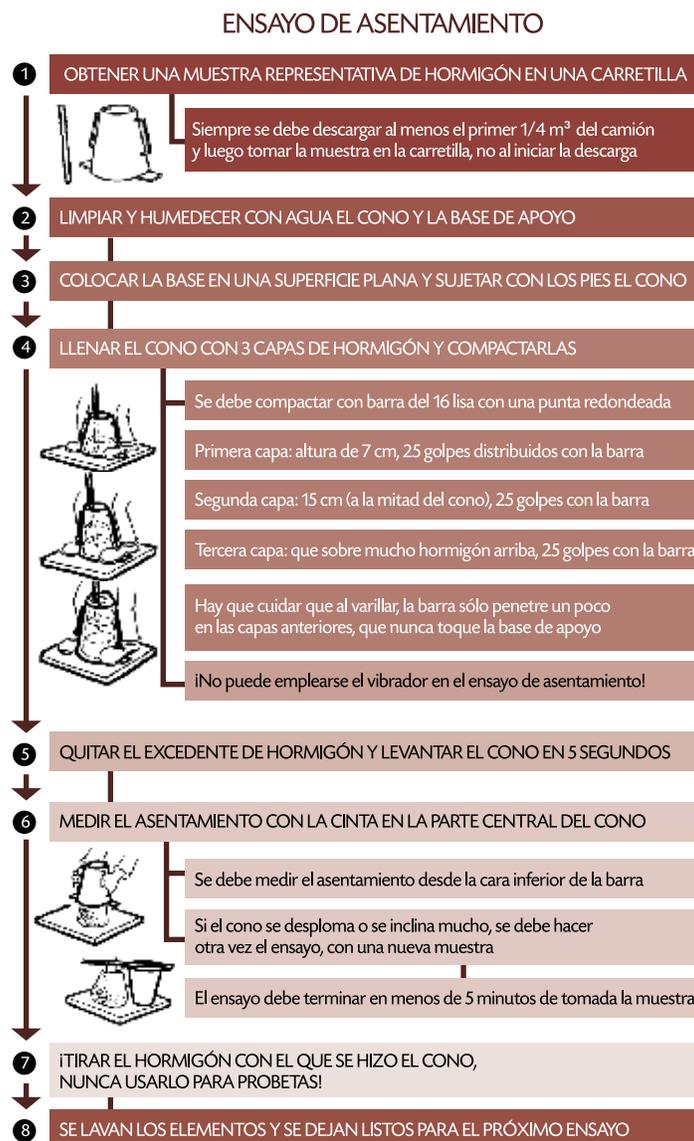


anterior. Si este ensayo brinda un resultado conforme, el camión debe aceptarse. Este aspecto está relacionado con la notoria influencia de la metodología de ensayo y muestreo del hormigón que puede brindar resultados erróneos, debiendo ser confirmado con un segundo ensayo. Desde el punto de vista práctico, es entendible que para rechazar adecuadamente un camión de 6 a 10 m³ y demostrarle al proveedor que no cumplió con lo solicitado, “no cuesta nada” tomarse de 3 a 5 minutos adicionales y realizar un nuevo ensayo.

Ensayos para determinar la consistencia del hormigón fresco

La determinación de la consistencia es el único ensayo del hormigón fresco que CIRSOC 201 establece que debe determinarse siempre, es decir, en toda obra y con la frecuencia indicada anteriormente. El ensayo de asentamiento es el método más empleado para valorar la consistencia y la trabajabilidad del hormigón, y en función de su resultado, se procede a aceptar o rechazar la totalidad de la carga del camión hormigonero. Por ello es de suma importancia realizarlo tal cual establece la norma IRAM 1536. Para facilitar la capacitación de los responsables de los ensayos de aceptación en obra, se brinda en un diagrama en la Figura 2 una forma gráfica y más amigable para realizar el ensayo completamente de acuerdo con la norma. Estas fichas de capacitación han aportado excelentes resultados; es diferente brindar una cartilla a colores y con esquemas que una norma de 7 a 10 páginas, la que muchas veces el laboratorista no dispondrá y resulta demasiado extensa para leerla o quitarse alguna duda en el momento del ensayo.

Figura 2



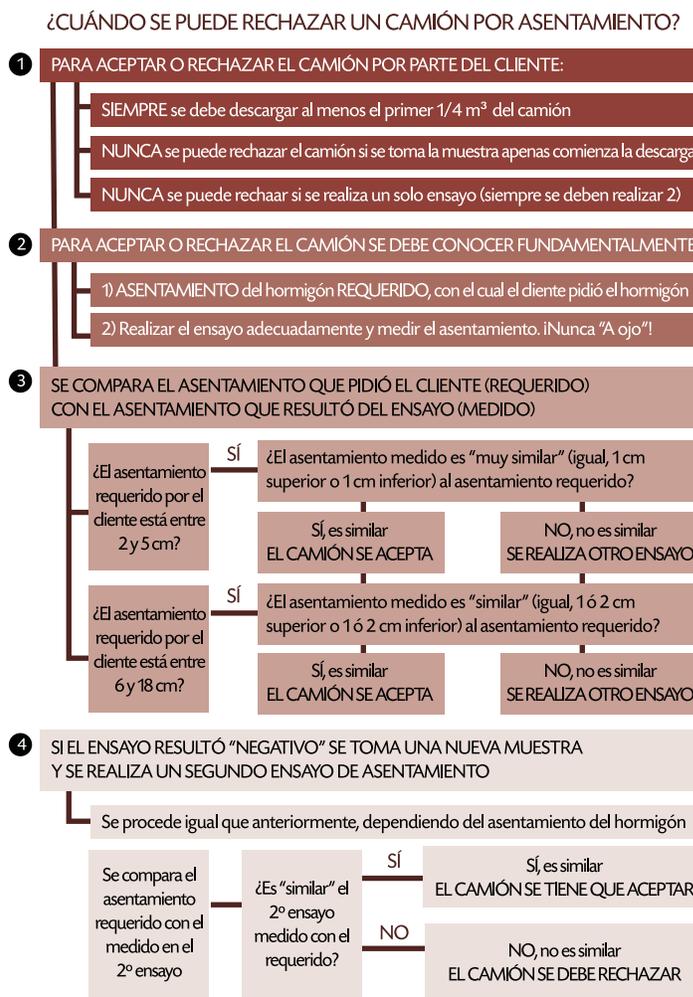
Comparando el valor del asentamiento medido con el especificado al proveedor de hormigón elaborado que figura en el remito, se tienen tres posibilidades:

- Obtener asentamientos superiores al especificado (incluidas tolerancias): deberá rechazarse el hormigón debido a la presunción de un exceso de agua en la mezcla.
- Obtener asentamientos similares al especificado: se aceptará el hormigón, ya que cumple con los requisitos del cliente, que es lo que debe figurar en el remito de entrega.
- Obtener asentamientos menores al especificado (incluidas tolerancias): en este caso, y de ser posible, se aumentará el asentamiento mediante el empleo de un aditivo superfluidificante en obra.

Sin embargo, en ciertos casos especiales, el asentamiento no es representativo de la medida de la consistencia del hormigón, por lo que se recurre a otros tipos de ensayo para valorar la consistencia:

- Hormigones muy secos, con asentamientos inferiores a 2 cm. Se emplea el dispositivo VeBe y se mide la consistencia como el tiempo de remoldeo en segundos (IRAM 1767), siendo principalmente aplicable a hormigones compactados a rodillo u hormigones muy secos para premoldeados.
- Hormigones muy fluidos no autocompactantes, con asentamientos superiores a 18-20 cm. Se emplea la mesa de Graf (IRAM 1690) y se mide la consistencia como el extendido en centímetros.
- Hormigones autocompactantes: existe una gran diversidad de ensayos para la cuantificación y calificación de la consistencia, cohesividad, capacidad de pasaje y otras propiedades de la mezcla fresca (Caja en L, Anillo J, Caja en U, Extendido y T50, etc.).

Figura 3



Aceptación o rechazo en función de la consistencia

Si bien se brindarán ejemplos para asentamiento, que es el método más ampliamente utilizado, la forma de tratar los resultados es extrapolable a los otros métodos de consistencia descriptos. La tolerancia del ensayo de asentamiento es de +2 cm para la generalidad de los casos, salvo para hormigones secos (asentamiento de 2 a 5 cm), en los cuales la tolerancia es de +1 cm, como hormigones para extrusoras de premoldeados o pavimentadoras donde la colocación y la calidad de los hormigones son influenciadas fuertemente por pequeñas variaciones de consistencia. El diagrama de flujo se presenta en la Figura 3.

- Ejemplo 1: Hormigonado de un piso industrial. El hormigón elaborado se solicita con un asentamiento de 6 cm. Se realiza el ensayo de asentamiento apenas comienza a descargar el camión hormigonero y arroja un valor de 10 cm. Se realiza otro ensayo con la misma muestra y da 11,5 cm. Se rechaza el camión. ¿Es correcto el proceder? No, para la toma de la muestra debe descargarse al menos 1/4 m³ y los dos ensayos de asentamiento deben realizarse sobre muestras diferentes. »

Figura 4



- Ejemplo 2: Hormigonado de pilas de un puente. El hormigón elaborado se solicita con un asentamiento de 8 cm. Se descarga un $1/4 \text{ m}^3$ aproximadamente del camión, se toma una muestra, se realiza el ensayo y da 6,5 cm. Se acepta el camión, incorpora aditivo superfluidificante y se continúa con la descarga. ¿Es correcto el proceder? Sí, ya que tanto la toma de muestra como el ensayo de asentamiento se realizan adecuadamente, y su valor está dentro de tolerancias admisibles.
- Ejemplo 3: Hormigonado por bombeo de una losa en un local comercial. El hormigón elaborado se solicita con un asentamiento de 12 cm. Se toma una muestra, se realiza el ensayo de asentamiento y da 4,5 cm. El director acepta el camión e incorpora aditivo superfluidificante para llevar el asentamiento a 12 cm. ¿Es correcto el proceder? Sí, ya que la consistencia (asentamiento) puede ser incrementada mediante el empleo de superfluidificantes. Los problemas aparecen con asentamientos superiores a los especificados, ya que puede inferirse que existe algún exceso de agua en el hormigón.
- Ejemplo 4: Hormigonado de vigas de un edificio. El hormigón elaborado se solicita con 7 cm de asentamiento. El camión llega a la obra y no se tienen los encofrados listos, por lo que debe esperar 2 horas. Se descarga el primer metro cúbico y se toma una muestra para el ensayo de asentamiento. Se mide 11,5 cm. Se toma otra muestra, se realiza el ensayo y da un resultado de 13 cm. Se rechaza el camión. ¿Es correcto el proceder? No, ya que las muestras para aceptación o rechazo deben ser tomadas apenas llega el camión a obra. De todas maneras,

tiene que ser rechazado; es presumible que el camión hubiese llegado a obra con un asentamiento excesivo o se incorporó agua en la espera.

Contenido de aire

Es obligatoria su determinación según IRAM 1602 cuando para la elaboración del hormigón se haya utilizado un aditivo incorporador de aire con la finalidad de proveer durabilidad al hormigón; por ejemplo, para ciclos de congelación y deshielo. Los porcentajes de aire están determinados por el reglamento y varían según el ambiente futuro de exposición (Ambiente C1 sin sales descongelantes y C2 si se emplearán sales descongelantes). En el caso de hormigones bombeados, es recomendable determinar el aire a la salida de la bomba. Los valores de diseño o a especificar para ambiente C1 varían entre 5% y 4,5% para TMN de 3/4" a 1" respectivamente, aumentando una unidad porcentual para el Ambiente C2. El contenido de aire es un ensayo de aceptación corriente en nuestro país en climas fríos o zonas de alta montaña.

Los valores de aire incorporado presentan una tolerancia de +1,5% debido a la variabilidad propia del ensayo y a la dificultad de incorporar una cantidad exacta de aire, ya que influyen mucho el mezclado del hormigón y las características del equipo. El hormigón será rechazado cuando dos ensayos sobre muestras diferentes del mismo camión hormigonero den resultados fuera de las tolerancias. Como ejemplo, si para un TMN de 1" el requisito es de 4,5%, un resultado aceptable se encuentra entre 3 y 6%, y los inferiores a 3% o superiores a 6% son no conformes, no pudiéndose componer este hormigón en obra en ninguno de los dos casos y ocasionando el rechazo.

Temperatura

Es indispensable su determinación cuando se hormigone en condiciones de tiempo frío, tiempo caluroso o cuando existan requisitos de proyecto, siendo el ejemplo más frecuente de este caso las estructuras masivas (ver artículo en *Hormigonar* N° 13). La determinación es muy sencilla y consiste en introducir un termómetro tipo pinche (digital o analógico) al menos 7,5 cm en el hormigón fresco, esperando 2 minutos o hasta que se estabilice la temperatura, registrando así la temperatura al 0,5 °C más próximo (Figura 4). Debido a la facilidad y rapidez del ensayo, es recomendable realizarlo al menos una vez al día en cualquier condición climática y tipo de obra, ya que podría detectarse algún problema con estas mediciones. Asimismo, es útil registrar en la planilla de trazabilidad la temperatura ambiente en el momento de la toma de muestras, empleando el mismo termómetro, sólo que en el aire y a la sombra.

Para tiempo frío, como criterios de aceptación, el reglamento brinda una tabla que indica valores mínimos de temperatura inicial del hormigón en función de la temperatura del aire y de la menor dimensión del elemento estructural. Para elementos masivos, permite temperaturas menores debido a

la contribución del calor de hidratación y para temperaturas muy bajas ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) exige temperaturas mayores por la pérdida de temperatura en contacto con el ambiente. Las temperaturas mínimas más corrientes de aceptación oscilan entre 13 y $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ para temperaturas ambiente de hasta $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el momento del hormigonado. De no obtener estas temperaturas y no proteger las estructuras durante las primeras 48 a 72 horas, existirá un daño permanente en el hormigón y pérdida de su seguridad, aptitud, durabilidad y/o funcionalidad.

Para tiempo caluroso, la temática es mucho más discutida. Si bien el CIRSOC 201/05 establece una temperatura máxima de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, todas las demás recomendaciones a nivel mundial especifican $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($90\text{ }^{\circ}\text{F}$). Parece sutil la diferencia, pero estos $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ de diferencia significan muchos recursos a invertir en la mayor cantidad de ciudades de nuestro país por sus condiciones climáticas. Cumplimentar estas temperaturas en muchas obras trae aparejados gastos muy considerables que el cliente no puede afrontar. La realidad es que el tiempo caluroso no le trae problema alguno al hormigón como material, si se lo protege y cura bien durante sus primeras horas. El inconveniente en tiempo caluroso es que hay que controlar todas las tareas de forma más directa, debido a que existe un mayor riesgo de fragüe más rápido, pérdida de asentamiento, incorporación de agua en obra, fisuración por contracción plástica y contracción térmica, con lo cual pueden mitigarse estos grados centígrados de más con medidas de puesta en obra adecuadas en tiempo caluroso.

Otros ensayos para hormigón fresco

A continuación se describen los otros parámetros de aceptación del hormigón fresco que indica el reglamento CIRSOC 201/05, definiendo sus aplicaciones y criterios de conformidad.

- Masa por unidad de volumen: el ensayo de peso unitario según IRAM 1562 (Figura 5) no es tan corriente en obra y suele especificarse en alguno de los siguientes casos: características particulares de la estructura, hormigones especiales como RDC, hormigones livianos o pesados, como medio de control para apreciar variaciones en contenido de agua, aire y/o cemento, cuando se desea controlar la uniformidad de mezclado de equipos o cuando se requiere conocer el volumen real de hormigón transportado por el camión. En este último caso, de disponer una báscula puede pesarse el camión al ingresar a la obra (con hormigón) y al salir (vacío, sin hormigón), determinando el peso total del hormigón; con la ayuda del ensayo del peso unitario, se puede determinar el volumen transportado, siendo éste el único control admitido por norma para las discrepancias por volumen despachado. La tolerancia de los resultados más empleada es de $+2\%$ para hormigones convencionales.

Figura 3



- Material pasante tamiz 300 m: propiamente no es un ensayo, sino la determinación a modo de verificar la dosificación de hormigones por criterios de cohesividad, como la suma en peso del total del cemento y adiciones más los finos de los agregados que pasan el tamiz # 50. Esta verificación es más relevante cuando se detecta segregación o variaciones importantes en los contenidos de finos. El CIRSOC 201/05 brinda una tabla que especifica un límite inferior para el contenido de finos que pasan el tamiz # 50, que oscila entre 450 y 380 kg/m^3 para tamaños máximos de $3/4''$ y $1''$ respectivamente.
- Exudación: es un ensayo de diseño de mezcla y no de aceptación en obra, salvo casos particulares. Este ensayo es aconsejable en todos los hormigones, pero obligatorio para los elementos que superen los 2 m de altura en el mismo colado y para elementos sometidos a erosión, abrasión o cavitación. El ensayo se realiza según IRAM 1604, determinando valores de capacidad de exudación y velocidad de exudación, los cuales deben ser iguales o menores al 5% y a $100 \times 10^{-6}\text{ cm/s}$ respectivamente. Estos ensayos hay que realizarlos cuando se utilice por primera vez la mezcla en obra, cuando se detecte una exudación excesiva o cuando se cambie alguno de los componentes o sus proporciones.
- Otros: en función de especificaciones particulares del proyecto y sus condicionantes, pueden realizarse otros ensayos de aceptación del hormigón fresco, como para el caso de hormigones autocompactantes (estudiados en detalle en otros artículos). Puede especificarse el ensayo de tiempo inicial de fragüe según IRAM 1662, el cual es de suma utilidad y se estudiará en el próximo número de *Hormigonar*. «

CONTROL DE CALIDAD EN OBRA: TIEMPO INICIAL DE FRAGÜE Y SU APLICACIÓN EN OBRA

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdormigones.com.ar

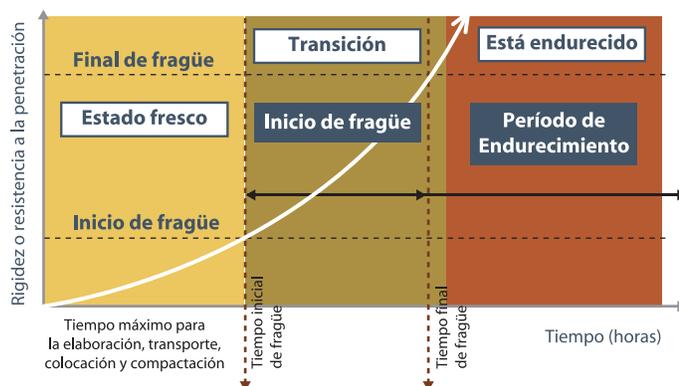
El planeamiento de los medios de transporte y colocación adecuados a cada obra es una de las claves para su éxito. La mayor productividad será lograda si se planea el trabajo para que se aprovechen, al máximo, el personal y los equipos, y si éstos se seleccionan para que se reduzcan los retrasos. Además, en este planeamiento se deben evitar todos los factores que puedan iniciar el fragüe del hormigón antes de su compactación. Como referencia y comenzando como "tiempo cero" cuando el agua toma contacto con el cemento (en la práctica, materializado como el horario de carga de camiones), todas las siguientes tareas deben realizarse antes de que inicie el fragüe del hormigón:

- Dosificación, carga completa y mezclado en el camión hormigonero en planta.
- Transporte del hormigón a la obra, llegada y entrada del camión a la obra.
- Ensayos de aceptación del hormigón fresco e incorporación eventual de aditivos en obra. Manipuleo del hormigón a su posición definitiva.

- Superación de posibles imprevistos o retrasos en la colocación del hormigón.
- Compactación del hormigón de cada capa y compactación con otras capas de hormigón (inferiores o laterales), provenientes posiblemente de pastones (camiones) diferentes.

Para brindar una definición sencilla de fragüe, lo podemos considerar el "período de transición entre el estado fresco y el estado endurecido", y éste dura algunas horas. El inicio de fragüe corresponde al fin del estado fresco, y el fin de fragüe al comienzo del período de estado endurecido (ver Figura 1).

F.1 Diferentes períodos y estados del hormigón y tiempos inicial y final de fragüe



Ensayo para determinación de tiempos de fragüe en el hormigón

Muchas veces se confunde inicio de fragüe con pérdida de asentamiento o con el incremento de la temperatura del hormigón fresco, aspectos independientes del fragüe. Hormigones en tiempo caluroso que desprendan mucho calor en fresco o que tengan asentamientos bajos no implican en absoluto un inminente inicio de fragüe de éste, con lo cual no pueden rechazarse camiones en estas circunstancias. El ensayo para determinar el tiempo de fragüe del hormigón no implica medición de variaciones de temperatura o de trabajabilidad de la mezcla, debiendo realizarlo siguiendo los pasos indicados en la Norma IRAM 1662, los cuales se resumen conceptualmente a continuación:

- Se tamiza el hormigón fresco por el tamiz # 4, desechando el agregado grueso retenido en el tamiz.
- Se acondiciona el mortero fresco en un recipiente y se tapa para evitar la evaporación del agua.
- A partir de 2 horas, y cada 30 minutos, se van realizando determinaciones para medir la resistencia a la penetración en el mortero, retirando siempre el agua de exudación de la superficie.

Deben realizarse al menos 3 determinaciones por cada dosificación y temperatura del hormigón. De esta manera, y convencionalmente a nivel mundial, se considera que los tiempos de fragüe del hormigón son:

- Inicio de fragüe: cuando posee una resistencia a la penetración de 3,5 MPa, que es el que tiene real importancia práctica; se lo llama también "tiempo de máximo vibrado".
- Fin de fragüe: resistencia a la penetración de 28,0 MPa, que no suele ser un parámetro tan importante.

Factores que influyen en los tiempos de fragüe

- Temperatura del hormigón fresco (influenciada directamente por la temperatura ambiente).
- Categoría resistente del hormigón (relación a/c), iniciando el fragüe antes un H-30 que un H-20, a igualdad de temperatura, ya que las partículas de cemento están más próximas en el primer caso.
- Tipo de cemento (contenido y tipo de adiciones, finura).
- Empleo de aditivos retardadores de fragüe.

- Empleo de otros aditivos; en general los superfluidificantes, acelerantes de endurecimiento, retrasan levemente el inicio del fragüe entre 15 y 60 minutos, para las demás condiciones constantes.
- Impurezas contenidas en el agua o agregados.
- Condiciones de mezclado, agitación y transporte en los camiones hormigoneros.

Tiempos en la industria del hormigón elaborado

Según los remitos de hormigón elaborado, los proveedores brindan un tiempo máximo de estadía en obra de los camiones de entre 45 y 60 minutos, desde su llegada a obra hasta la finalización de su descarga. En este tiempo, deben realizarse todos los ensayos, ya que el proveedor garantiza la calidad del hormigón sólo en este período. Algunos datos informativos respecto del giro de los dispositivos mezcladores:

- Durante el transporte y la estadía en obra, el camión hormigonero siempre debe estar en velocidad de agitación (2 a 6 revoluciones/minuto) para evitar repentinas pérdidas de asentamiento.
- Antes de la descarga, si no se incorporan aditivos, debe remezclarse el hormigón a velocidad de mezclado (12 a 16 revoluciones/minuto) durante al menos 25 revoluciones (cerca de 2 minutos).
- Antes de la descarga, si se emplean aditivos o fibras en obra, luego de su incorporación debe colocarse el trompo a velocidad de mezclado, en un tiempo de 1 minuto por m^3 y no menos de 5 minutos.
- Cabe destacar que tanto el CIRSOC como la Norma IRAM 1666, y la mayor parte de las disposiciones en el mundo, establecen que la descarga total del hormigón del camión debe realizarse:
 - Antes de que transcurran 90 minutos desde la carga en planta, en condiciones normales o de tiempo frío, o de que transcurran 60 minutos desde la carga del camión en planta, en condiciones de tiempo caluroso.
 - Antes de alcanzar los 300 giros del tambor mezclador (difícilmente controlable en la práctica).
 - Cuando se determine el tiempo inicial de fragüe, antes de éste; contabilizando además el tiempo para la colocación y compactación del hormigón en obra.

El tiempo de 90 minutos, que es el que muchas veces en obras de toda magnitud se confunde con el tiempo inicial de fragüe, no »

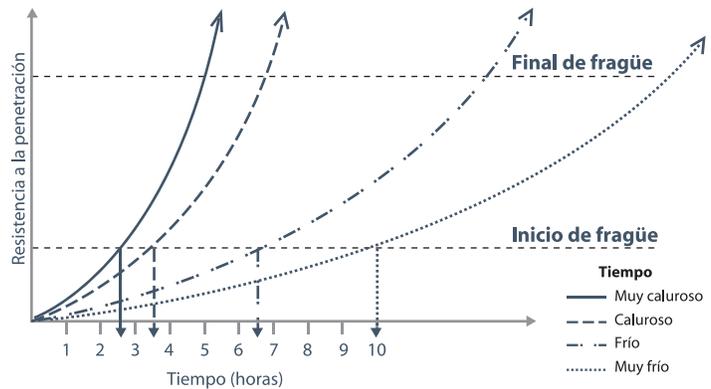
es tal: los hormigones no tienen un cronómetro incorporado para que comience su fragüe justo a los 90 minutos. Es entendible el espíritu conservador que nos expresa “descargue el hormigón en 1 hora y media salvo que me demuestre que el hormigón inicia su fragüe más tarde”. El Reglamento reconoce con esta disposición que no es probable que el hormigón comience su fragüe antes de este lapso, pero brinda la libertad para demostrar mediante ensayos y poder transportar el hormigón más tiempo. Sin embargo, estos tiempos recomendados de 90 ó 60 minutos desde la carga del camión en planta muchas veces no se cumplen en la obra, por diferentes causas:

- Lentitud en la descarga del hormigón (Figura 2) y/o falta de planificación en obra.
- No poseer los elementos listos para hormigonar, como por ejemplo los encofrados.
- No haber previsto la adecuada accesibilidad de los camiones y bombas a la obra.
- Medios de manipuleo incompatibles con el hormigón elaborado (carretillas, por ejemplo).
- Inconvenientes en los equipos de manipuleo, como las bombas o grúas.
- Paralización de la obra durante recesos, como almuerzos o descansos.
- Imprevistos, como accidentes laborales u otros.

F.2 Descargas muy lentas incompatibles con el hormigón elaborado



F.3 Ejemplo de tiempos de fragüe de hormigones H-25 sin aditivos en diferentes condiciones climáticas



En estos casos, lamentablemente muy corrientes en obras en nuestro país, deben conocerse para hormigones y condiciones climáticas similares valores orientativos sobre el tiempo inicial de fragüe. Puede asumirse, si no se cuenta con los elementos para el ensayo del tiempo inicial de fragüe en obra (quizás todos los casos en la práctica), extender estos 60 a 90 minutos al tiempo inicial de fragüe informado. De todas maneras, estas demoras no deben ser frecuentes en la obra, ya que el hormigón elaborado “pierde su garantía” y, en ciertos casos, debería solicitarse la incorporación de retardadores de fragüe en planta. Es comprensible que los reglamentos sean conservadores con los tiempos de descarga si no se determina el tiempo inicial de fragüe; pero sólo como guía y referencia, y basados en diferentes experiencias con cementos y materiales de nuestro país, los tiempos iniciales de fragüe varían según:

- Tiempo muy caluroso: entre 2 y 4 horas.
- Tiempo caluroso: entre 3 y 5 horas.
- Tiempo normal: entre 4 y 8 horas.
- Tiempo frío: entre 6 y 12 horas.

Sin embargo, y aunque no esté establecido en el Reglamento, nunca es recomendable llegar a estos tiempos, ya que existe un elevado riesgo de formación de juntas frías. Se recomienda:

- Estructuras en general: considerar como mínimo 1 a 2 horas menos del tiempo inicial de fragüe como tiempo de máximo vibrado, según se trate de tiempo caluroso y tiempo frío, respectivamente.

- Hormigón visto arquitectónico, pisos, pavimentos y estructuras de contención: minimizar los tiempos lo máximo posible, ya que pueden aparecer fisuras que afecten la estructura o su aspecto estético.

Previsión ante tiempos de transporte considerables

En muchos casos, inspectores de obra o clientes solicitan que el hormigón viaje “seco”, es decir, sin adición de agua en planta, para que pueda realizarse el mezclado en obra después de la incorporación de agua. Según relevamientos en varias provincias, es una técnica que no trae aparejados buenos resultados, debido principalmente a dos causas. En primer lugar, no se puede medir de forma precisa como en planta la cantidad de agua, y en segundo lugar, el mezclado se dificulta en demasía debido a que por la humedad propia de los agregados, principalmente de la arena, se forman “pelotones” o “bolas” de arena húmeda y cemento que ni un remezclado enérgico puede romper, obteniendo un hormigón segregado y no uniforme. Para solucionar esta situación, es altamente recomendable cargar todas las cantidades en planta y estudiar el tiempo inicial de fragüe del hormigón en función del tipo de hormigón y condiciones ambientales. Para viajes prolongados mayores a 1 hora y media, puede ocurrir una pérdida de trabajabilidad considerable en el tiempo, aspecto que se acentúa con ciertos aditivos incorporados en planta. En estos casos es recomendable que el conductor del *mixer* esté capacitado para detener el camión y apreciar la trabajabilidad de éste a intervalos no mayores a 45 minutos. En caso de que esté cayendo la consistencia, ajustar de forma adecuada con aditivos superfluidificantes para evitar que el hormigón baje de 2 a 3 cm de asentamiento y después no sea posible hacerlo más fluido, aun con aditivos. Además, salvo en condiciones de tiempo muy frío, para estos casos siempre es recomendable el empleo de aditivos retardadores de fragüe en planta.

Tratamiento de juntas no previstas

Los hormigones de diferentes viajes de una jornada que conformen el mismo elemento deben ser colados y compactados solidariamente antes del inicio de fragüe de ambos. Es recomendable que entre la salida de obra de un camión y descarga del próximo no transcurran períodos de más de 30 minutos. Sin embargo, muchas veces no se cumplen en la obra por las causas enunciadas anteriormente, a las que se le suman potenciales inconvenientes en la logística de la planta de hormigón elaborado, rotura de sus equipos o demoras excesivas e innecesarias para el pedido del “corte”.

El problema se presenta cuando en el mismo elemento estructural debe colarse y consolidarse un nuevo hormigón solidario y que trabaje en conjunto con un hormigón colado previamente que ya ha iniciado su fragüe o está próximo a este inicio; si esto ocurre, se forman en el elemento juntas frías no previstas, las cuales traen los siguientes inconvenientes:

“El tiempo de 90 minutos, que es el que muchas veces en obras de toda magnitud se confunde con el tiempo inicial de fragüe, no es tal: los hormigones no tienen un cronómetro incorporado para que comience su fragüe justo a los 90 minutos”

- Si no son tratadas adecuadamente, pueden no transferir esfuerzos, alterando la capacidad de transmitirlos eficientemente en las zonas de juntas; sin embargo, cuando existe continuidad de armaduras en los elementos, éstas serán quienes transfieran los esfuerzos (Figura 4 izquierda).
- Al desencofrar, sean bien tratadas o no, las juntas quedan marcadas en los diferentes elementos, afectando seriamente la estética, lo cual es crítico para elementos de hormigón visto (Figura 4 derecha).
- Si las juntas no son tratadas, muchas veces se forman fisuras que pueden alterar la durabilidad o funcionalidad (por ejemplo, filtraciones de agua).

Es recomendable contar en obra con los medios para tratar estas juntas imprevistas, que nunca son deseables, pero si éstas ocurren, que al menos se garantice una adecuada transferencia de esfuerzos para no poner en juicio la capacidad resistente de la estructura. En todos los casos, cuando se esté próximo al fragüe o transcurran más de 30 minutos entre diferentes »

Juntas frías con posible influencia en el comportamiento estructural (izquierda) y junta con incidencia negativa en el aspecto estético de hormigón visto (derecha)

F.4



F.5 Tratamiento de juntas frías cuando ya ha iniciado el fragüe del hormigón



camiones, debe vibrarse superficialmente el hormigón de la capa anterior, para apreciar visualmente si éste se fluidifica momentáneamente o directamente “no se mueve”. Si esto ocurre, es decir que, presionando con fuerza el vibrador para que penetre en la superficie de forma perpendicular a la superficie en algunos segundos, éste fluidifica aun el hormigón, no es necesario ningún otro tratamiento más que consolidarlos en conjunto. El caso anterior, que es el más frecuente, debe realizarse inmediatamente antes de recibir el viaje “retrasado” de hormigón.

En el caso de que con el vibrador de inmersión no se “mueva” el hormigón, se está en presencia de una potencial junta fría. Es conveniente preparar lechadas u otros productos que formen “puentes de adherencia” (Figura 5) y que puedan ser aplicados fácilmente. Una recomendación es preparar en un balde una lechada modificada con látex con una parte de agua, y dos partes de látex para hormigones y cemento incorporados con cuchara hasta lograr la fluidez requerida. Se mezcla manual o mecánicamente y se vierte sobre el hormigón que inició su fragüe, inmediatamente antes de colar el nuevo hormigón; es decir, se realiza el tratamiento cuando el nuevo camión hormigonero ya está en la obra. «

“Para viajes prolongados mayores a 1 hora y media, puede ocurrir una pérdida de trabajabilidad considerable en el tiempo, aspecto que se acentúa con ciertos aditivos incorporados en planta. En estos casos, es recomendable que el conductor del mixer esté capacitado para detener el camión y apreciar la trabajabilidad de éste a intervalos no mayores a 45 minutos”.

Control de calidad en obra: errores frecuentes relacionados con probetas de hormigón y su influencia en los resultados de ensayos

Ms. ING. MAXIMILIANO SEGERER

Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdormigones.com.ar

Podría parecer que una probeta de hormigón no tiene importancia cuando está confeccionándose, pero si más tarde aparecen dificultades con la resistencia o problemas en la obra, llega a ser un factor crítico tanto para una obra pequeña como para aquellas de elevadísimo costo. A todas las partes involucradas en una obra siempre les conviene que las probetas arrojen resultados favorables. En algunos casos, se ocasionan serios conflictos entre proveedor de hormigón elaborado y cliente, y de no realizar adecuadamente los ensayos, aparece la imposibilidad de atribuir responsabilidades. Actualmente, puede considerarse que el ensayo de probetas a compresión es el único medio práctico en obra para controlar la calidad del hormigón elaborado. Como se mencionó, si existe un apartamiento en lo que respecta al muestreo, moldeo, protección, curado, encabezado y/o rotura de las probetas, los ensayos no son válidos y no servirán para aceptar o rechazar el hormigón. De allí la importancia de respetar las normas, teniendo el doble objetivo de conocer la resistencia del hormigón y la posibilidad de establecer responsabilidades en caso de resultados no satisfactorios.

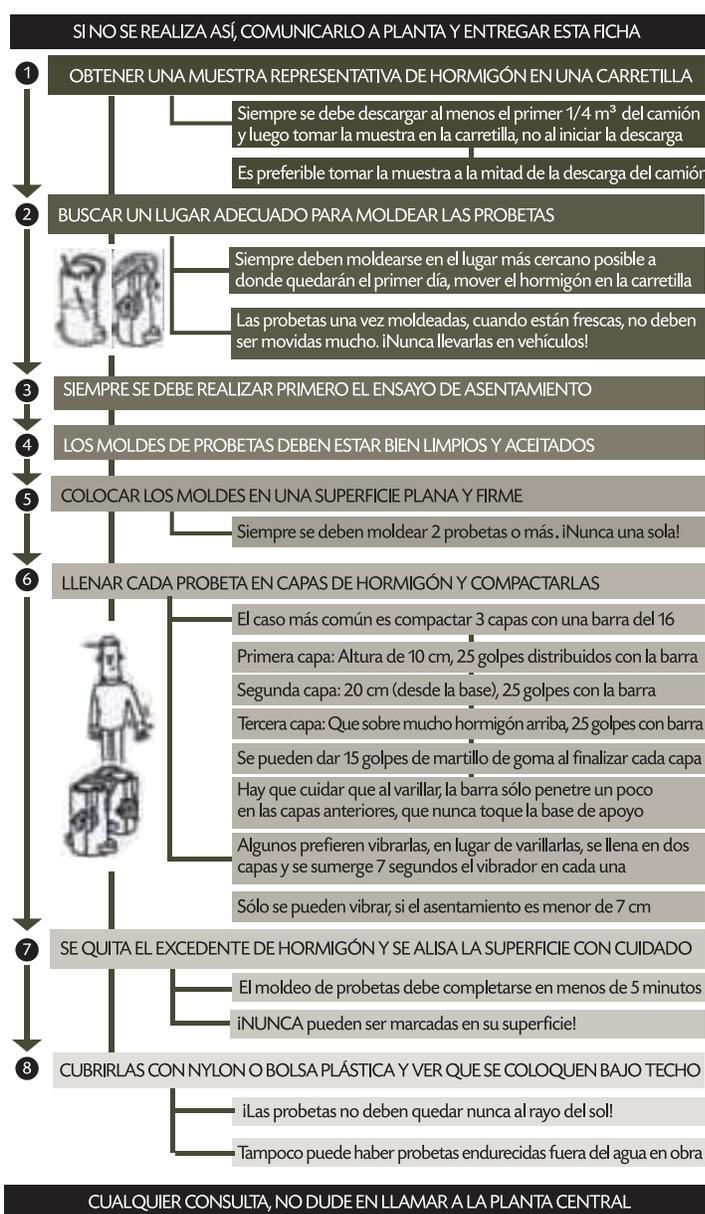
Si se concurre a cualquier obra corriente y se consulta cómo se hacen las probetas, probablemente la respuesta será: "Es muy fácil, en 3 capas de 25 golpes cada una". Se coincide en la primera afirmación, es decir que moldear probetas en obra es sencillo; pero no sólo consta de conocer cuántas varilladas deben darse por capas. Hay una gran cantidad de aspectos que deben cuidarse en obra y que están implícitos e indicados en la Norma IRAM 1524. Se muestra en la Figura 1 una ficha tipo para el correcto moldeo de probetas, muy útil para la capacitación de todo el personal involucrado en la industria del hormigón elaborado. En la mayor parte de las obras no se conoce la influencia negativa en los resultados de ensayos de "pequeños descuidos", con los cuales las resistencias pueden caer notablemente y, como se mencionó al inicio, a nadie le conviene que las probetas arrojen resultados negativos.

Errores frecuentes en el moldeo, protección y curado de probetas

A partir del relevamiento de una gran cantidad de obras, se enuncian los 20 factores que más influyen negativamente en la resistencia potencial de las probetas:

- Muestreo inadecuado del hormigón: en muchas obras se procede de forma incorrecta al tomar la muestra al inicio de la descarga; no homogenizar la muestra remezclándola

F.1 Ficha de capacitación de moldeo de probetas



o esperando un tiempo prolongado para moldear las probetas (mayor a 15 minutos). Si se parte de una muestra que no es representativa, el ensayo no es válido.

- Moldeo de probetas sin aditivos: es necesario que las probetas sean lo más representativas del hormigón de las estructuras, con lo cual deben moldearse con los aditivos que puedan haber sido incorporados en obra. En caso de no realizarlo, no se conocerá el efecto de los aditivos sobre las estructuras.
- Cantidad de probetas insuficiente: en varias obras se continúa moldeando una sola probeta por camión, o dos probetas: una se ensaya a 7 días y la otra a 28. Por reglamento, es obligatorio al menos moldear dos probetas a la edad de diseño (generalmente 28 días), y si son necesarias probetas a otras edades, serán adicionales a estas dos. Es indispensable para comparar la variabilidad intraensayo.
- Limpieza de moldes: es un factor crítico, muchas veces descuidado. Los restos de hormigón tienden a adherirse principalmente en la parte superior de los moldes si no se limpian de manera correcta. Para hormigones con asentamientos mayores a 8 cm, puede “quedar colgado” de la parte superior sucia del molde y la porción inferior tiende a asentarse plásticamente, con lo cual se producen fisuras paralelas a la cara superior que reducen de manera considerable las resistencias (Figura 2). La limpieza de moldes debe ser realizada siempre después del desmolde y ser verificada periódicamente deslizando el dedo en el interior del molde, comprobando su lisura y que carezca de irregularidades.

F.2 Influencia de moldes sucios en fisuras previas al ensayo



- Aplicación de aceites: es fundamental aplicar una cantidad adecuada de aceite al molde, sin que abunde. Los aceites no deben ser solubles al agua y no es recomendable emplear desmoldantes de encofrados. En caso de exceso de estos últimos, pueden exponer el agregado grueso en la probeta.
- Golpes con martillo de goma en cada capa: muchas veces no se tiene en cuenta en obra que deben realizarse por norma entre 10 y 15 golpes de martillo de goma luego de las varilladas en cada capa y a la altura de la capa. »

Estos golpes cobran mayor importancia en hormigones con asentamientos bajos, para “borrar” la impronta de la barra en el varillado. De no realizarlo, pueden quedar oquedades del diámetro de la barra, ocasionando la rotura prematura de la probeta en esa zona.

- Consolidación inadecuada: las probetas pueden consolidarse en dos capas con vibradores de inmersión, pero es aplicable sólo a hormigones con asentamientos inferiores a 7 cm, a probetas de 15 x 30 cm y probetas para flexión; mientras que las probetas de 10 x 20 cm se consolidan en dos capas con 25 golpes. Respecto al varillado de cada capa, hay que tener en cuenta que la compactación es “por capa” y que la varilla no debe penetrar las capas anteriores en más de un par de centímetros, ya que desacomoda el hormigón ya consolidado anteriormente.
- Varilla de compactación no adecuada: para las probetas de 15 x 30 cm, las de flexión y la mayor parte de los ensayos, se debe emplear para la consolidación una varilla 16 lisa con punta redondeada. Para las probetas de 10 x 20 cm se emplea una más pequeña de 10, también lisa y punta semiesférica. Este tipo de varilla es indispensable respetarlo, ya que se desliza entre los agregados, en vez de empujarlos como lo hace una varilla de corte recto en la punta, con la cual quedan huecos al ser retiradas; ello no ocurre ya que el hormigón se va cerrando tras la barra lisa y con punta redondeada.
- Compactación deficiente de la última capa: en la última capa del moldeo, siempre debe “sobrar” hormigón cuando se está varillando. En caso de que el laboratorista presuma que faltará hormigón, deberá agregar más en la superficie y seguir contando los golpes hasta lograr los 25 de la última capa. En obra a veces falta material y luego con una cuchara se agrega a presión después de la consolidación, lo cual genera marcadas fisuras paralelas a la superficie, reduciendo la resistencia potencial del hormigón.
- Excesiva falta de paralelismo entre las caras: un grave inconveniente a la hora de ensayar las probetas es cuando existe una marcada falta de paralelismo entre ambas caras. Esto suele ocurrir cuando se moldean probetas

con asentamientos superiores a 10 cm en zonas con pendiente, siendo indispensable por norma de ensayo realizarlo en un lugar plano, horizontal y libre de vibraciones. Si al ensayar las probetas no advertimos esta falta de paralelismo –que no puede corregirse–, podrán ocasionarse concentraciones de tensiones en una zona puntual y roturas de esquina de las probetas, ya que la rótula esférica de toda prensa tiene un ángulo de giro limitado.

- Terminación irregular en la superficie: es quizás el error de confección más frecuente y desconocido: las probetas no pueden marcarse en relieve en la superficie de las probetas y menos con otros métodos, como introducir el precinto. Las normas de ensayo indican claramente que deben ser identificadas con algún marcador indeleble al día siguiente, tanto en una de sus caras planas como en la parte curva de la probeta. Al finalizar el moldeo de la tercera capa, la superficie debe ser enrasada con llana. Para que no se “mezclen” o confundan las probetas, pueden dejarse en el mismo orden del muestreo o adherir con agua un papel con la identificación en la superficie, hasta marcarlas al día siguiente. Una terminación irregular puede reducir en más de un 50% la resistencia potencial de las probetas, aspecto que se hace más notorio al trabajar con encabezado de neopreno (Figura 3).

F.3. Marcado irregular en superficie de probetas y roturas atípicas



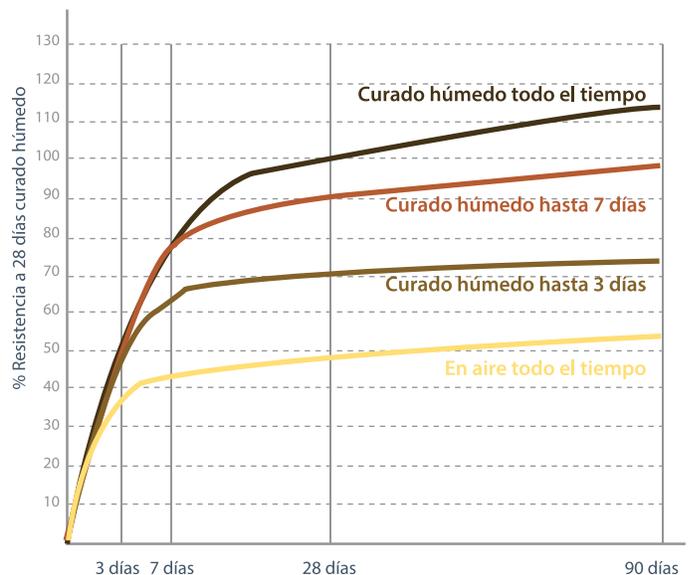
- **Moldes defectuosos:** cuando moldes metálicos no ajustan bien en el lateral, se unen mal con la base, están excesivamente “ovalados” o la base está muy deformada y presenta cierta concavidad; en estos casos, las probetas no pueden encabzarse (no entran en los retenes metálicos de los discos de neopreno o en las cavidades para mantener el mortero de azufre fundido).
- **“Moldes” no normalizados:** en algunas obras se ha relevado el moldeo de probetas en caños de PVC, en botellas de gaseosa, en macetas y otros que claramente impiden su encabzamiento y la determinación de la resistencia, perdiendo la información del ensayo, al igual que en el caso anterior. Asimismo, los moldes muy flexibles impiden una adecuada consolidación externa del hormigón por golpes con el martillo de goma, indispensable según normas de ensayo.
- **Movilización de probetas en las primeras horas:** nunca hay que moverlas en carretillas o medios que puedan vibrar la masa de hormigón ya compactada. En el caso de que no sean moldeadas en el lugar donde permanecerán las primeras 24 horas, deberán ser transportadas a mano, una a una, inmediatamente después del moldeo y no a las horas de la confección. Es por ello que siempre es preferible trasladar la muestra al lugar donde se almacenarán las primeras 24 horas las probetas, debiendo protegerlas con bolsas u otro medio en su parte superior para que no pierdan humedad.
- **Falta de protección las primeras 24 horas:** es uno de los factores que más afecta la resistencia de las probetas, principalmente si existe congelación de las probetas la primera noche; ello puede reducir la resistencia potencial del hormigón en más de la mitad. Debe contarse en obra con algún lugar acondicionado para mantener las probetas a una temperatura de entre 15 y 27 °C durante este período. En tiempo frío, es recomendable, dentro del obrador, contar con una pequeña estufa eléctrica u otro medio en la sala donde están las probetas. Cuando no se dispone de obrador o se está muy lejos del lugar del hormigonado, puede acondicionarse una caja de poliestireno expandido y/o recubierta con lana de vidrio u otro aislante donde se dejen las probetas las primeras 24 horas. En tiempo templado y caluroso, por lo general es suficiente dejarlas bajo techo y protegidas con una bolsa plástica en su parte superior.
- **Desmolde prematuro de probetas:** si bien las normas establecen que las probetas deben desmoldarse al día siguiente (entre las 16 y 32 horas) y marcarse de manera indeleble en esta etapa, en algunos casos las probetas se encuentran “frescas” al día siguiente, siendo ampliamente recomendado extender de 12 a 24 horas su desmolde.

Esto puede ocurrir en tiempo frío y/o con exceso de aditivos, y si se retiran las probetas del molde en estas condiciones, se dañarán los bordes y podrán fisurarse, obteniendo resultados de ensayo completamente anómalos.

- **Instalaciones de capacidad de curado insuficientes:** debe contarse en obra con un lugar acondicionado para el curado de las probetas de capacidad suficiente y a temperatura de 23 + 2 °C. Podrán ser piletas, tachos u otros recipientes estancos. El volumen de almacenamiento será función del volumen de hormigón previsto y el número de probetas a extraer por día. Para el caso de insuficiencia de capacidad de piletas de curado, es muy versátil el empleo de moldes de probetas de 10 x 20 cm que ocupan la tercera o cuarta parte del espacio. Son válidas cuando el TMN del agregado es de 1” o menos, lo cual comprende la mayor parte de las aplicaciones del hormigón elaborado.
- **Período de curado insuficiente:** una práctica errónea es curar hasta los 7 días y retirarlas del agua. Las probetas no deben extraerse a los 7 ó 28 días si serán ensayadas con posterioridad, sino permanecer en la pileta de curado hasta la edad de ensayo a compresión. En la Figura 4 se presenta la influencia del curado húmedo normalizado y la reducción de resistencias potenciales al colocar muestras en contacto con un ambiente seco. En casos extremos se deja el único juego de probetas moldeado por camión en los moldes hasta que son ensayadas, lo cual es altamente contraproducente. »

Influencia del tiempo de curado húmedo en la resistencia de probetas para cementos sin adiciones

F.4



- Temperatura de pileta de curado baja: el curado del hormigón, y de las probetas, es el período en el cual deben brindarse condiciones de humedad y temperatura adecuadas para el desarrollo óptimo de sus propiedades (resistencia y durabilidad). El curado de las probetas en obra debe iniciarse inmediatamente después de desmoldadas y marcadas o rotuladas. Éste consiste en sumergir las probetas en agua a una temperatura de entre 21 y 25 °C hasta el mismo día de ensayarlas a compresión o el día de traslado al laboratorio. Nunca es recomendable que la pileta esté a la intemperie. En caso de tiempo templado y caluroso, por lo general, se deberán tomar pequeñas medidas para lograr la temperatura indicada. En caso de tiempo frío, deberán estar en piletas a temperatura controlada, la cual deberá ser determinada diariamente, mediante dos opciones: la primera es calefaccionar el agua a través de resistencias eléctricas –no siendo muy recomendable por la poca vida útil de éstas y los riesgos de electrocución–, o de sistemas de recirculación de agua conectados a calefones; la segunda es calefaccionar el ambiente, mediante estufas eléctricas basculantes u otros medios que mantengan el local a una temperatura de entre 23 y 26 °C, debiendo estar encendidas toda la noche y regularse durante el día (también pueden emplearse sistemas de aire acondicionado o losas radiantes en la base de la pileta). La notable influencia en la resistencia de diferentes temperaturas se presenta en la Figura 5. Defectos varios en instalaciones de curado se muestran en la Figura 6.

- Daños durante el transporte al laboratorio de ensayos: cuando las probetas deban trasladarse antes de los 3 días de edad, bien sea para su curado o ensayo, deben extremarse los cuidados. Es recomendable trasladarlas en movildades o camionetas con adecuada suspensión y en cajas especialmente acondicionadas. Otra alternativa es el transporte enterrándolas en arena húmeda. Si bien puede no tener una influencia decisiva en el ensayo, no es recomendable llevarlas sueltas en la parte trasera de una camioneta, como muchas veces llegan al laboratorio.

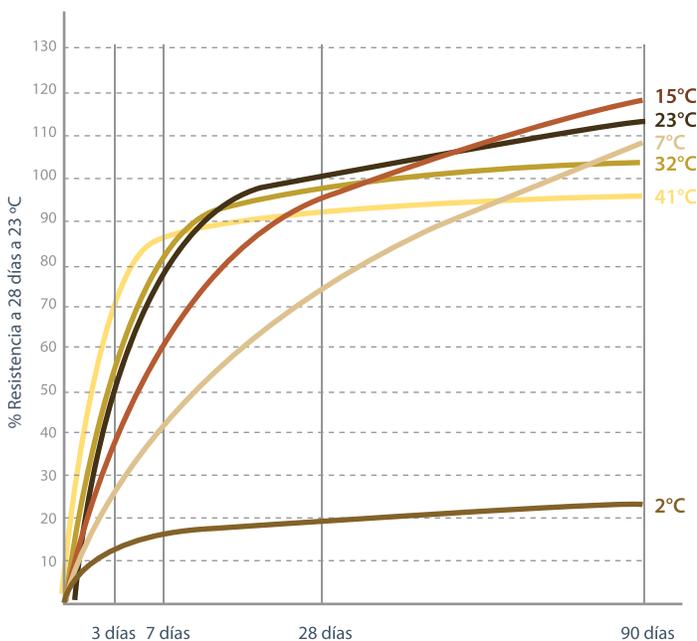
Detección de algunos errores durante el moldeo y ensayo de las probetas

En primer lugar, antes de ensayar a compresión las probetas éstas deben inspeccionarse visualmente por si presentan algún error de confección evidente. Como segunda instancia, puede señalarse un método sencillo para evaluar si se ha cometido algún error durante el moldeo, encabezado o ensayo de las probetas: consiste en comparar los resultados de las dos probetas de la misma muestra y ensayadas a la misma edad, tal cual establecen los reglamentos de hormigón, y si se analizan varios ensayos se infiere que:

- Si la diferencia entre ambas tensiones de rotura es inferior al 7% de su promedio (resultado de ensayo), se considera aceptable esta variabilidad, aunque lo óptimo sería que estuviese por debajo del 4%.
- Si esta diferencia “intraensayo” está entre 7% y 15%, algún inconveniente existe en una o más de las etapas, debiendo revisar todos los procedimientos para reducir esta variabilidad.

»

F.5 Influencia de la temperatura de curado en la resistencia de probetas para cementos sin adiciones



F.6 Curado ineficiente de probetas en obra



- Si la diferencia es superior a 15%, el ensayo directamente no es válido según Reglamento CIRSOC 201, por lo que existe claramente una falencia en alguna parte del ensayo; esta deficiencia es independiente de la calidad del hormigón elaborado.

Sin embargo, ciertas falencias en la deficiente toma de muestras o en los períodos y temperaturas de protección y curado no pueden detectarse mediante esta comparación, ya que si el curado es a bajas temperaturas, ambas probetas presentarán una reducción similar de la resistencia potencial a alcanzar. Por ello, que se obtengan diferencias de probetas inferiores al 15% no indica siempre que todas las tareas del ensayo han sido correctamente realizadas, por lo cual siempre es útil aunar esfuerzos entre proveedor y cliente para cumplir las normas de ensayo. Es recomendable que el proveedor visite las obras para constatar que se está controlando el hormigón como se debe y que los choferes de camiones y bombistas estén adecuadamente capacitados para poder identificar en obra estas malas prácticas.

Probetas moldeadas y curadas en las mismas condiciones de la estructura

Cuando se moldean probetas se controlan dos parámetros muy relevantes, ya que, tal como especifican los reglamentos, las probetas moldeadas y curadas de manera normalizada según IRAM 1524 son las únicas válidas para:

- Controlar la resistencia de las estructuras, si se siguen de forma adecuada las tareas de colocación, compactación, protección y curado de los hormigones colados en las estructuras.
- Controlar la calidad del hormigón elaborado.

Sin embargo, sólo para ciertas aplicaciones específicas suele ser útil moldear probetas y curarlas a un costado de una estructura con sus mismos métodos de curado y temperatura, debiendo moldear al menos 4 probetas adicionales por muestra. Pueden servir para apreciar si se alcanza cierta resistencia para:

- Disminuir el período de curado mínimo según tablas de reglamentos.
- Disminuir los tiempos de desencofrado y/o desapuntalamiento.
- Reducir el período de protección de bajas temperaturas estipulado por Reglamento.
- Aplicar cargas o trasladar elementos a cierta edad (según proyecto).
- Estructuras sometidas a ciclos de curado acelerado.

En el caso de las dos primeras aplicaciones (detener el curado húmedo y poder retirar puntales), es necesario obtener resistencias de al menos el 70% de la resistencia especificada (categoría de hormigón) en estas probetas curadas igual que la estructura; caso contrario, deben aplicarse los períodos mínimos indicados en reglamentos. En otras aplicaciones, la resistencia a adquirir debe figurar en el proyecto, salvo para reducir el tiempo de protección de tiempo frío, que es cuando alcancen resistencias de al menos 7 MPa. Con estas resistencias, el hormigón de las estructuras ya puede ser expuesto al ambiente y levantarse las medidas de protección sobre aquéllas.

Responsabilidad del laboratorio de ensayos

Los laboratorios no deben ensayar probetas con defectos marcados o, al menos, están obligados a remitir las falencias en sus informes. La combinación de estas deficiencias, incluidos errores en el mismo ensayo a compresión, pueden disminuir considerablemente la resistencia de las probetas. Sin embargo, no todos los defectos son apreciables a “simple vista”; por ejemplo, un curado deficiente no es detectable. Los laboratorios no sólo deben contar con una prensa calibrada, sino también poseer procedimientos por escrito de inspección, encabezado y ensayo, calificación de sistemas de encabezado según normas y operarios altamente calificados en técnicas de ensayo con una evaluación continua de sus capacidades.

En muchas ocasiones se moldean, protegen y curan las probetas de manera adecuada (o muy próximo a lo indicado por normas) y con pequeños descuidos en el laboratorio, como descentrado en la prensa, empleo inadecuado del encabezado, velocidad no apropiada de la carga, falta de medición precisa de las probetas antes del ensayo; pueden reducir en más de dos categorías resistentes el “hormigón original” de la probeta. Por ello, es muy recomendable hacer participar al laboratorio de ensayos en la reunión previa a obra y concurrir a éste para verificar procedimientos y ver cómo se trabaja. En caso de apartamentos con las normas de ensayo, también dejan de ser válidos y no puede conocerse la calidad real del hormigón.

Todos los cuidados descriptos no son opcionales: son indispensables, ya que si bien el hormigón no es infalible y siempre debe ser controlado, muchas veces –por bajos resultados de probetas a raíz de alguno de los errores mencionados– se pone en tela de juicio la honestidad del proveedor de hormigón, se deja de trabajar con él, se emplea como medio para arreglos económicos o se pierde confiabilidad en la industria en general.

Para concluir este artículo: bajos resultados de probetas de obra no siempre son sinónimo de hormigón elaborado de mala calidad; los reglamentos especifican claramente los medios a seguir para establecer responsabilidades y principalmente cómo investigar sobre las estructuras ejecutadas. «

Control de calidad en obra: análisis de resultados de probetas de obra

Ms. Ingeniero Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones

www.cdormigones.com.ar

Uno de los conflictos más comunes en obra surge cuando se comunican resultados bajos de probetas. Este problema se agrava más aun debido a que el hormigón se controla mucho tiempo después de colocado (en general, 28 días), y en algunos casos, como edificios, se tienen dos pisos por encima del cuestionado. En primer lugar, cabe aclarar que resultados bajos de probetas no son sinónimos de hormigón provisto de mala calidad, de mala fe o insuficientes controles del proveedor, de necesidad de demoler la estructura ni de un medio a emplear para arreglos económicos. En cada caso en particular, deben estudiarse los resultados y procedimientos empleados y realizar ensayos sobre estructuras que serán definitivos, tal cual se describirá en el próximo número de *Hormigonar*. Sin ahondar en detalles, existen tres grandes causas por las que pueden aparecer resultados bajos en probetas:

1. Errores o deficiencias en los ensayos, lo cual indica que una o más de las siguientes tareas han sido realizadas inadecuadamente (fuera de Normas IRAM y/o Reglamento CIRSOC): muestreo, moldeo de probetas, protección y curado de probetas, manipuleo, encabezado y ensayo de probetas, siendo las dos últimas atribuciones y responsabilidad del laboratorio de ensayos.
2. Errores de producción en planta, es decir, se incumple con la Norma de hormigón elaborado y con los requerimientos del cliente, pudiendo ser error de planta o humano, responsabilidades del proveedor.

3. Mala manipulación del hormigón en obra, como adición de agua, mal uso de aditivos o estadía excesiva de camiones en obra, entre otros, que tienden a disminuir la calidad del hormigón.

El análisis estadístico de resultados de probetas de hormigón es una práctica muy sencilla y, en algunos casos, poco conocida. Muchas veces se acepta o no el hormigón sobre la base del cálculo de su resistencia característica. En otros casos, se considera resultado de ensayo el valor de resistencia de una probeta; a veces sólo se promedian, y en otros casos, se descartan los valores muy bajos porque "no convienen". Todas las prácticas anteriores son bastante habituales y completamente erróneas. Para finalizar esta introducción y sólo como mención, existen en la actualidad una gran cantidad de otros ensayos sobre el hormigón endurecido, como los de durabilidad, los cuales no se describirán en el presente artículo, no porque no sean relevantes sino porque su uso aún no está tan difundido en el medio.

Concepto de lote, muestra y ensayo

El concepto principal del análisis debe basarse en considerar un volumen de hormigón como un lote, analizando así resistencias individuales y promedios de tres ensayos válidos consecutivos. Los cálculos engorrosos de resistencia característica sirven para el autocontrol de planta, pero no para la aceptación del hormigón con probetas moldeadas en obra. Con muy pocos pasos toda persona, aun con escasa práctica, puede determinar si un lote cumple o no con lo establecido por normas, pliegos y/o reglamentos. En primer lugar, deben poseerse los informes con los resultados de resistencias emitidos por el laboratorio de ensayos. A continuación, se deben agrupar los elementos estructurales de igual $f'c$ (resistencia especificada) en conjuntos sucesivos y con orden cronológico, denominados lotes. No deben

Fig. Criterios de aceptación según diferentes normas y reglamentos

Reglamentos / Normas		Media móvil de tres ensayos consecutivos	Valor individual del ensayo
CIRSOC 201	Modo 1	$\geq f'c$	$\geq f'c - 3,5 \text{ MPa}$
Versión 2005	Modo 2	$\geq f'c + 5,0 \text{ MPa}$	$\geq f'c$
CIRSOC 201	+ de 6 ensayos	$\geq \sigma 'bk + 5,0 \text{ MPa}$	$\geq 0,85 \sigma 'bk$
Versión 1982	+ de 30 ensayos	$\geq \sigma 'bk + 0,825 \text{ desv s}$	$\geq 0,85 \sigma 'bk$
IRAM 1666	H - 17 e inferiores	$\geq \sigma 'bk + 2,5 \text{ MPa}$	$\geq 0,85 \sigma 'bk$
Versión 1986	H - 21 y superiores	$\geq \sigma 'bk + 3,0 \text{ MPa}$	$\geq 0,85 \sigma 'bk$
ACI 318	H - 35 e inferiores	$\geq f'c$	$\geq f'c - 3,5 \text{ MPa}$
Estados Unidos	H - 40 y superiores	$\geq f'c$	$\geq f'c - 0,10 f'c$
EN 206	+ de 3 ensayos	$\geq f'ck + 4 \text{ MPa}$	$\geq f'ck - 4 \text{ MPa}$
Europa	+ de 15 ensayos	$\geq f'ck + 1,45 \text{ desv s}$	$\geq f'ck - 4 \text{ MPa}$
Pliegos de Especificaciones		Consultar para cada obra en particular	

analizarse en forma conjunta hormigones de diferentes categorías ni mezclar en el análisis probetas a 7 y 28 días. Los lotes según Reglamento deben tener, como máximo, 100 m³ para Modo 2, y admite en ciertas condiciones lotes de 200 m³ para hormigones producidos por una planta en Modo 1. Tal como se describió en artículos anteriores de la serie "Control de calidad en obra", el mínimo de muestras a extraer son 5 por cada lote, y cada muestra se compone por 2 o más probetas, guardando al menos 2 "gemelas" para la edad de diseño.

El criterio para conformar los lotes debe ser establecido con antelación y dependerá del criterio del Director de Obras y de la magnitud de la estructura. Pueden agruparse en edificios por pisos, por volúmenes importantes como plateas, por progresivas o por tipología de elementos estructurales, entre otros.

Criterios generales de análisis

Tanto para el control de hormigones como para casi todos los materiales de construcción, se establecen dos criterios básicos que conceptualmente pueden resumirse como:

- El promedio de una serie de ensayos de resistencias del lote debe ser igual o mayor a cierto valor.
- Ningún valor individual de los resultados de ensayo debe ser inferior a un valor mínimo determinado.

Aplicado al control de resistencias en hormigones para probetas moldeadas de camiones hormigoneros:

- El promedio de una serie de tres ensayos de resistencias de probetas del mismo lote debe ser igual o mayor a

cierto valor, el cual está relacionado con la resistencia especificada.

- Ningún valor individual de los resultados de ensayo de resistencias de probetas del mismo lote debe ser inferior a un valor mínimo determinado (siempre inferior al del primer criterio).

Es indispensable conocer el reglamento, especificación o norma de aplicación para cada obra en cuanto al análisis de los resultados de probetas. Si bien en nuestro país está en vigencia el Reglamento CIRSOC 201:05, se presenta en la Figura 1 una tabla con los criterios que pueden encontrarse en especificaciones particulares y en normas extranjeras. El objetivo de la tabla no es confundir, sino establecer que todos los reglamentos y recomendaciones analizan los resultados de manera muy similar, con el criterio de la media móvil y del resultado individual, además de servir como guía para contar con los criterios más aplicados.

Pasos simplificados para el análisis de resistencias

Cualquier análisis de resultados de probetas sólo es aplicable para probetas que hayan sido confeccionadas y curadas según la Norma IRAM 1524 y ensayadas a compresión según IRAM 1546. De otro modo, no es válido el análisis de resistencias de probetas de hormigón, y lo que trae aparejado una mayor cantidad de problemas es que para estos casos no pueden determinarse responsabilidades. Ante cualquier desviación de las normas de ensayo de las tareas de obra (muestreo, moldeo, curado) o del laboratorio de ensayos (encabezado, ensayo, informe), no serían aplicables los siguientes criterios. A continuación se describirá en 7 pasos cómo realizar un análisis »

completo de resistencias y determinar la aceptación del lote o, en caso negativo, si es necesario someterlo a ensayos complementarios. Estos pasos se acompañan de 7 figuras con un ejemplo real de aceptación de lote, para H-25 de una planta en Modo 1:

Paso 1: analizar las probetas de una sola categoría resistente a la vez y con una edad igual o superior a la edad de diseño (generalmente, 28 días). Además, debe conocerse la Norma o Reglamento de aplicación y determinar, según sus reglas propias, los dos criterios de aceptación. Para edades superiores a 28 días, no son aplicables bajo ningún concepto coeficientes de regresión de resistencias.

Paso 2: con los datos del Informe del Laboratorio de Ensayos, ordenar cronológicamente (tanto en fechas como muestras del mismo día) las probetas con su denominación, edad de ensayo y resistencia a compresión en MPa (redondeado al 0,1 MPa), verificando que pertenezcan al mismo lote.

Paso 3: calcular el resultado de cada ensayo, como el promedio aritmético de las probetas "gemelas" o pertenecientes a la misma muestra y ensayadas a la misma edad. Recordar que si se tiene una sola probeta por muestra, ya pierde validez el presente análisis.

Paso 4: validar los ensayos si la diferencia de las probetas extremas es menor al 15% de su promedio aritmético; en caso contrario, no son válidos. Se calcula como la diferencia de las probetas extremas de la misma muestra, dividido el promedio de éstas y expresado en porcentaje. Si se tiene una sola probeta a la edad de ensayo, no se considera válido el ensayo y deberá descartarse.

Paso 5: calcular las medias móviles de todos los conjuntos de tres ensayos válidos consecutivos (en orden cronológico). Comparar el valor con el especificado para el primer criterio de aceptación, en función de verificar o no su cumplimiento e indicarlo en la planilla. En caso de que el resultado no sea válido (diferencia intraensayo superior al 15% o al contar con una sola probeta), no deben ser considerados y se saltean.

Paso 6: copiar los resultados de ensayo (promedios) válidos (diferencia entre probetas de la misma muestra inferior al 15%). Verificar si el resultado individual cumple con el especificado para el segundo criterio de aceptación e indicarlo en la planilla.

Tipo de obra	Construcción de edificio departamentos	Ejemplo 1
Tipo de hormigón	H-25 - Criterio CIRSOC 201 Modo 1	

Identificación probeta	Fecha moldeo	Edad	Resistencia		Validez		1º Criterio $f'_{cm3} \geq 25,0$	2º Criterio $f'_c \geq 21,5$
			Indiv.	Ensayo	Δ	?		

Sólo es aplicable para probetas que hayan sido confeccionadas y curadas según la Norma IRAM 1524 y ensayadas a compresión según IRAM 1546

De otro modo no es válido el análisis de resistencias de probetas de hormigón

Condiciones a cumplir según CIRSOC 201 - Modo 1

$$f'_{cm3} \geq f'_c$$

$$f'_{cmi} \geq f'_c - 3,5 \text{ MPa}$$

Aplicación a hormigones H-25

$$f'_{cm3} \geq 25,0 \text{ MPa}$$

$$f'_{cmi} \geq 21,5 \text{ MPa}$$

PASO 1

- Analizar las probetas de una sola categoría resistente y con una edad igual o superior a la edad de diseño (generalmente 28 días)
- Conocer la Norma o Reglamento de aplicación y determinar, según sus ecuaciones propias, los dos criterios de aceptación

Tipo de obra	Construcción de edificio departamentos	Ejemplo 1
Tipo de hormigón	H-25 - Criterio CIRSOC 201 Modo 1	

Identificación probeta	Fecha moldeo	Edad	Resistencia		Validez		1º Criterio $f'_{cm3} \geq 25,0$	2º Criterio $f'_c \geq 21,5$
			Indiv.	Ensayo	Δ	?		
64312-1	14-01-10	61	22,7					
64312-2	14-01-10	61	24,2					
64320-1	14-01-10	61	23,7					
64320-2	14-01-10	61	23,2					
64328-1	14-01-10	61	26,2					
64328-2	14-01-10	61	26,6					
64335-1	14-01-10	61	28,5					
64335-2	14-01-10	61	29,6					

PASO 2

- Con los datos del informe del laboratorio de ensayos, ordenar cronológicamente (tanto en fechas como muestras del mismo día) las probetas con su denominación, edad de ensayo y resistencia a compresión en MPa (redondeado al 0,1 MPa); que pertenezcan al mismo lote

Tipo de obra	Construcción de edificio departamentos	Ejemplo 1
Tipo de hormigón	H-25 - Criterio CIRSOC 201 Modo 1	

Identificación probeta	Fecha moldeo	Edad	Resistencia		Validez		1º Criterio $f'_{cm3} \geq 25,0$	2º Criterio $f'_c \geq 21,5$
			Indiv.	Ensayo	Δ	?		
64312-1	14-01-10	61	24,7	25,5	$\frac{22,4 + 24,7}{2}$			
64312-2	14-01-10	61	26,2					
64320-1	14-01-10	61	23,7	23,5	$\frac{23,7 + 23,2}{2}$			
64320-2	14-01-10	61	23,2					
64328-1	14-01-10	61	26,2	26,4	$\frac{26,2 + 26,6}{2}$			
64328-2	14-01-10	61	26,6					
64335-1	14-01-10	61	28,5	29,1	$\frac{28,5 + 29,6}{2}$			
64335-2	14-01-10	61	29,6					

PASO 3

- Calcular el resultado de cada ensayo, como el promedio aritmético de todas las probetas "gemelas" o pertenecientes a la misma muestra y ensayadas a la misma edad

Paso 7: analizar el cumplimiento de ambos requisitos simultáneamente, es decir que todos los castilleros deben tener un "Sí" de forma simultánea, pudiendo resultar en las siguientes posibilidades:

- Si todos los valores cumplen ambos criterios: "Aceptación del lote".
- Si ninguno de los valores cumple ambos criterios: "Resultados no conformes".
- Si hay valores que cumplen con ambos criterios y otros no: "Acotar la fracción no conforme"; es decir, se realizarán ensayos complementarios sobre las partes de la estructura con resultados negativos para verificar la resistencia del hormigón, y no sobre la totalidad del hormigón colado en el lote.

Tipo de obra		Construcción de edificio departamentos					Ejemplo 1			
Tipo de hormigón		H-25 - Criterio CIRSOC 201 Modo 1								
Identificación probeta	Fecha moldeo	Edad	Resistencia		Validez		1º Criterio		2º Criterio	
			Indiv.	Ensayo	Δ	?	$f'_{cm_3} \geq 25,0$	$f'_c \geq 21,5$		
64312-1	14-01-10	61	24,7	25,5	6%	SI	$\frac{24,2 + 22,7}{2} \times 100$			
64312-2	14-01-10	61	26,2				23,5			
64320-1	14-01-10	61	23,7	23,5	0,8%	SI	$\frac{23,7 + 23,2}{2} \times 100$			
64320-2	14-01-10	61	23,2				23,5			
64328-1	14-01-10	61	26,2	26,4	2%	SI	$\frac{26,6 + 26,2}{2} \times 100$			
64328-2	14-01-10	61	26,6				26,4			
64335-1	14-01-10	61	28,5	29,1	4%	SI	$\frac{29,6 + 28,5}{2} \times 100$			
64335-2	14-01-10	61	29,6				29,1			

PASO 4

- Validar los ensayos si la diferencia de las probetas extramas es menor que el 15% del promedio aritmético; caso contrario no son válidos
- Se calcula como la diferencia de las probetas extramas de la misma muestra dividido el promedio de éstas y expresado en %

Además del ejemplo 1 de aceptación del lote, se presenta un segundo ejemplo en una sola figura para un hormigón H-25 y planta en Modo 2, en el cual no se cumplen los requisitos establecidos por el cliente.

Escenarios posibles después del análisis estadístico

Al analizar las probetas, pueden existir tres escenarios bien definidos:

- Que las probetas arrojen resultados satisfactorios.
- Que las probetas no puedan analizarse por una o más falencias en los ensayos.
- Que las probetas brinden resultados por debajo de lo especificado según el criterio de análisis.

Tipo de obra		Construcción de edificio departamentos					Ejemplo 1			
Tipo de hormigón		H-25 - Criterio CIRSOC 201 Modo 1								
Identificación probeta	Fecha moldeo	Edad	Resistencia		Validez		1º Criterio		2º Criterio	
			Indiv.	Ensayo	Δ	?	$f'_{cm_3} \geq 25,0$	$f'_c \geq 21,5$		
64312-1	14-01-10	61	24,7	25,5	6%	SI	-	-		
64312-2	14-01-10	61	26,2							
64320-1	14-01-10	61	23,7	23,5	0,8%	SI	-	-		
64320-2	14-01-10	61	23,2							
64328-1	14-01-10	61	26,2	26,4	2%	SI	25,1	SI	$\frac{23,5 + 23,5 + 26,4}{3}$	
64328-2	14-01-10	61	26,6							
64335-1	14-01-10	61	28,5	29,1	4%	SI	26,3	SI	$\frac{23,5 + 26,4 + 29,1}{3}$	
64335-2	14-01-10	61	29,6							

PASO 5

- Cálculo de las medias móviles de todos los conjuntos de tres ensayos válidos consecutivos (en orden cronológico)
- Comparar el valor con el especificado para el 1º criterio de aceptación para verificar o no su cumplimiento e indicarlo en la planilla

En la mayor parte de las obras, si los resultados de probetas curadas de manera normalizada resultan satisfactorios, son suficientes para garantizar la calidad de las estructuras. Lo anterior es sólo válido si las tareas de manipuleo, colocación, compactación, acabado de superficies, protección y curado se realicen tal como lo indican los Reglamentos. Si hay dudas de estos procedimientos, aunque las probetas arrojen resultados adecuados deben realizarse estudios y ensayos complementarios. En algunos casos, como en pavimentos, existen disposiciones particulares que, independientemente del resultado de las probetas, exigen que es indispensable extraer testigos para determinar la calidad real del hormigón en la estructura, lo cual es

Tipo de obra		Construcción de edificio departamentos					Ejemplo 1			
Tipo de hormigón		H-25 - Criterio CIRSOC 201 Modo 1								
Identificación probeta	Fecha moldeo	Edad	Resistencia		Validez		1º Criterio		2º Criterio	
			Indiv.	Ensayo	Δ	?	$f'_{cm_3} \geq 25,0$	$f'_c \geq 21,5$		
64312-1	14-01-10	61	24,7	25,5	6%	SI	-	-	25,5	SI
64312-2	14-01-10	61	26,2							
64320-1	14-01-10	61	23,7	23,5	0,8%	SI	-	-	23,5	SI
64320-2	14-01-10	61	23,2							
64328-1	14-01-10	61	26,2	26,4	2%	SI	25,1	SI	26,4	SI
64328-2	14-01-10	61	26,6							
64335-1	14-01-10	61	28,5	29,1	4%	SI	26,3	SI	29,1	SI
64335-2	14-01-10	61	29,6							

PASO 6

- Copiar los resultados de ensayo (promedios) válidos (diferencia entre probetas de la misma muestra inferior al 15%)
- Verificar si el resultado individual cumple con el especificado para el 2º criterio de aceptación e indicarlo en la planilla

completamente válido y aceptable como criterio definitivo de aceptación.

En el lado opuesto, y para el caso de resultados de ensayo bajos, bien sea puntuales o generales, se deben reunir todos los reportes o informes y analizar los resultados antes de tomar cualquier acción:

¿Viola realmente la secuencia de conformidad con las especificaciones?

¿Dan los informes de ensayo alguna pauta sobre las causas?

¿Están bien realizados los cálculos y determinaciones por parte del laboratorio?

¿Existen al menos dos probetas “gemelas” ensayadas a la edad de diseño?

¿El rango de resistencia de 2 ó 3 probetas de la misma muestra excede reiteradamente un 8% o un 10% del promedio, respectivamente?

Si existen probetas de la misma muestra ensayadas a edades diferentes, aunque figuren en informes distintos, ¿existe un crecimiento “normal” o “esperado” de resistencias? ¿O es errático?

En función de los registros de trazabilidad obligatorios a poseer en obra, ¿las probetas bajas coinciden con elevados asentamientos, alto contenido de aire o bajas temperaturas?

Para validar los informes, debe verificarse que los procedimientos empleados desde el muestreo hasta el ensayo sean correctos. Si cualquiera de las etapas del ensayo fue realizada de manera deficiente (fuera de norma), es información perdida e imposible de recuperar, lo cual impide técnicamente la determinación de responsabilidades involucradas, complicando un potencial conflicto. Por ello, a todas las partes interesadas les “conviene” realizar los ensayos de acuerdo con procedimientos normalizados, ya que de esta manera se bajará notablemente la probabilidad de obtener resultados bajos y, de ocurrir, el responsable directo de los ensayos complementarios y costos asociados será el proveedor de hormigón elaborado. Tal como se expresó anteriormente, en caso de validar los ensayos y haber corroborado la metodología, se podrán establecer responsabilidades que le pueden competir al proveedor de hormigón elaborado, al Director de Obras o al laboratorio de ensayos. En estos casos, deberán extraerse testigos de hormigón a costo del responsable,

Tipo de obra		Construcción de edificio departamentos						Aceptación del lote			
Tipo de hormigón		H-25 - Criterio CIRSOC 201 Modo 1									
Identificación probeta	Fecha moldeo	Edad	Resistencia		Validez		1º Criterio		2º Criterio		
			Indiv.	Ensayo	Δ	?	$f'_{cm3} \geq 25,0$	$f'_c \geq 21,5$			
64312-1	14-01-10	61	24,7	25,5	6%	SI	-	-	23,5	SI	
64312-2	14-01-10	61	26,2								
64320-1	14-01-10	61	23,7	23,5	0,8%	SI	-	-	23,5	SI	
64320-2	14-01-10	61	23,2								
64328-1	14-01-10	61	26,2	26,4	2%	SI	25,1	SI	26,4	SI	
64328-2	14-01-10	61	26,6								
64335-1	14-01-10	61	28,5	29,1	4%	SI	26,3	SI	29,1	SI	
64335-2	14-01-10	61	29,6								

PASO 7 - Analizar el cumplimiento de ambos requisitos simultáneamente
a) Si todos los valores cumplen ambos criterios: “Aceptación del lote”
b) Si ninguno de los valores cumplen: “Resultados no conformes”
c) Si hay valores que cumplen y otros no: “Acotar fracción no conforme”

Tipo de obra		Construcción de edificio departamentos						Ejemplo 2			
Tipo de hormigón		H-25 - Criterio CIRSOC 201 Modo 2									
Identificación probeta	Fecha moldeo	Edad	Resistencia		Validez		1º Criterio		2º Criterio		
			Indiv.	Ensayo	Δ	?	$f'_{cm3} \geq 30,0$	$f'_c \geq 25,0$			
64479-1	28-01-13	47	29,0	28,9	1%	SI	-	-	28,9	SI	
64479-2	28-01-13	47	28,8								
64481-1	28-01-13	47	26,3	27,0	5%	SI	-	-	27,0	SI	
64481-2	28-01-13	47	27,6								
64481-3	28-01-13	47	27,0	26,7	3%	SI	27,5	NO	26,7	SI	
64481-4	28-01-13	47	26,3								
64535-1	02-02-13	42	27,8	28,2	2%	SI	27,3	NO	28,2	SI	
64535-2	02-02-13	42	28,5								
64537-1	02-02-13	42	29,2	-	-	NO	-	-	-	-	
64586-1	05-02-13	39	25,0	25,4	3%	SI	26,8	NO	25,4	SI	
64586-2	05-02-13	39	25,7								

pudiendo o no ser complementados con ensayos no destructivos, debidamente calibrados con hormigones de obra, tal como será descrito en el próximo número de *Hormigonar*. Debido a la potencial ambigüedad en la interpretación de resultados de ensayos no destructivos, sus aplicaciones y limitaciones, deberán ser consensuados entre todas las partes involucradas.

Para finalizar, se debe reiterar que resultados bajos de probetas, por más bajos que sean, no pueden ser tomados como una decisión unilateral para demoler una estructura o para cesar los pagos entre las partes. Si bien el hormigón posee intrínsecamente la debilidad de tener que ser controlado muchos días después de colado, posee también la fortaleza de “estar disponible” en la obra, y permitir ser ensayado para verificar su cumplimiento con las especificaciones del cliente. «

Control de calidad en obra: limitaciones y aplicaciones de los END

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdormigones.com.ar

La temática de los Ensayos No Destructivos (END) siempre ha sido discutida y de interpretación controvertida. El Reglamento CIRSOC 201 de 1982 admitía el empleo de los ensayos no destructivos (como esclerometría y ultrasonido) como complemento de la extracción de testigos. Sin embargo, el CIRSOC 201 vigente no menciona en su texto el empleo de END, probablemente debido a las diversas opiniones, al gran número de veces que han sido interpretados por personal no capacitado y, principalmente, a que en algunas ocasiones estos ensayos se han empleado como único medio para dirimir la aceptación o no de la estructura y juzgar sobre su seguridad y aptitud en servicio. Es claro que los END no pueden emplearse como único medio con aquella finalidad. Antes de comenzar el estudio de los campos de aplicación y las limitaciones de los END más empleados en nuestro medio, merecen destacarse los siguientes puntos:

- Ningún END determina directamente la resistencia a compresión del hormigón.
- En caso de bajas resistencias, los testigos calados no pueden ser totalmente reemplazados por END.
- Los END siempre presentan una variabilidad e incertidumbre apreciable y para tener en cuenta.

1. Campo de aplicación de los END

No obstante lo expresado anteriormente, en muchos casos es necesario inferir sobre alguna de las propiedades del hormigón endurecido sin dañar la estructura, como su resistencia a compresión, empleando para ello END. Hay que tener

presente las limitaciones de estos END, ya que no “pueden borrar” totalmente resultados bajos de probetas y que éstos deben ser realizados e interpretados por personal muy capacitado. Tal como se afirmó, debe tenerse en cuenta que ninguno de los END mide directamente la resistencia a compresión del hormigón, sino que puede ser estimada mediante otra magnitud física y luego correlacionarla, siempre con una calibración previa con materiales locales. Por ejemplo, un error frecuente es emplear el esclerómetro y utilizar las curvas impresas de fábrica, o usar las curvas para estimación de resistencias con el ultrasonido obtenidas de bibliografía especializada.

En cualquier campaña de END, deben realizarse ensayos tanto sobre los elementos cuestionados –por ejemplo, de baja resistencia en probetas– como en elementos con resultados satisfactorios. Los ensayos no destructivos son muy útiles para comparar resultados y estimar uniformidad. Por ejemplo, si en una obra se tienen 10 resultados de probetas aceptables y 3 resultados bajos de probetas, se deberán realizar END (esclerometría o ultrasonido) sobre aquellos elementos que arrojaron resultados negativos y también sobre los sectores con resultados positivos. A igualdad de condiciones (encofrados, tipo de hormigón, curado) se marcará y apreciará una diferencia entre los resultados de las magnitudes medidas por END (dureza o velocidad de onda). En caso de que arroje una marcada uniformidad en los 13 resultados, podría existir un problema en el ensayo de las 3 probetas que arrojaron un resultado negativo. Si claramente hay una diferencia en el mismo sentido entre ambos grupos de ensayos, casi con seguridad un hormigón tendrá menor resistencia que el otro. Pero si en una obra contamos con 20 resultados y todos son bajos, no podrán emplearse los END como único medio para inferir la calidad del hormigón de las estructuras.

Entre las principales aplicaciones de los END pueden señalarse las siguientes:

1. Estimación de uniformidad de hormigones de la misma obra y con análogas técnicas constructivas.

2. Si las probetas moldeadas al mismo tiempo que la estructura arrojan una resistencia inferior a la especificada, o si no se han moldeado, siempre como complemento de la extracción de testigos.
3. Si la estructura muestra signos de debilidad, como fisuración excesiva, por deficiencias de proyecto, materiales o técnicas constructivas, como complemento de otros ensayos.
4. Estructuras con daños provocados por sobrecargas, efectos climáticos, fuego, ataques químicos o eventos extraordinarios, como sismos.
5. Diagnóstico de estructuras existentes y detección de armaduras.
6. Como criterio de aceptación en ciertas estructuras si figura en especificaciones particulares.
7. Estructuras después de haber sido reparadas, reforzadas o recicladas.

En la tabla adjunta se muestra un listado no exhaustivo de los END para hormigones más empleados en el medio. No se incluyen los END para determinar ensayos de durabilidad, ya que no es el objeto del presente artículo y, si bien actualmente su uso es de utilidad, no está difundido en el país. La determinación de la capacidad resistente de estructuras (extracción y ensayo de testigos, y ensayos de carga directa en estructuras) se abordará en el próximo número de *Hormigonar*. La inspección visual es quizás el END más importante para comenzar el diagnóstico de cualquier estructura. De todas maneras, ninguna apreciación visual puede ser determinante en la aceptación o rechazo de una estructura en función de su resistencia; se debe validar con ensayos y valoración numérica. En lo que respecta a los ensayos para estimar resistencia, si bien existe un número importante de patentes comerciales y diferentes ensayos, se estudiarán a continuación los ensayos de esclerometría y ultrasonido, ya que son los más ampliamente utilizados en el medio para diagnosticar estructuras.

2. END de esclerometría

El esclerómetro es, sin duda, el instrumental de END para hormigones más empleado (Figura 1), y en muchas ocasiones su empleo es completamente inapropiado, con lo cual lamentablemente

Fisuración y defectos visibles	Inspección visual por personal capacitado. Lupas o microscopios ópticos portátiles. Medidores y seguidores de actividad de fisuras.
Estimación de resistencia del hormigón	Dureza de rebote (esclerómetro). Velocidad de onda ultrasónica (ultrasonido). Penetración (por ejemplo, <i>Windsor test</i>). Arrancamiento (por ejemplo, <i>pull-out test</i>).
Detección de armaduras	Pachómetro o detector de armaduras. Radiografía, tomografía o gammagrafía.
Defectos ocultos	Ultrasonido con osciloscopio y métodos por impacto. Radiografía, tomografía o gammagrafía.
Capacidad resistente de estructuras	Ensayos de carga directa sobre estructuras. Caracterización de materiales (acero y hormigón) mediante la extracción y ensayo de muestras y testigos.

Fig. Fotografías de ensayos de esclerometría



ha perdido credibilidad. La función primaria del esclerómetro es la determinación de la uniformidad dentro de la misma estructura de hormigón y la metodología del ensayo se especifica en la Norma IRAM 1694. Dependerá del director de obras establecer la necesidad y el alcance de los ensayos de esclerometría sobre las estructuras. El primer aspecto para tener en cuenta es que el esclerómetro, de muy fácil manejo, no mide la resistencia del hormigón, sino su dureza superficial. En función de la dureza superficial medida por el número de rebote del esclerómetro, si se cumple una importante cantidad de condiciones, puede estimarse la resistencia del hormigón, y aun en »

este caso, siempre se posee una incertidumbre elevada del orden del 25%.

Como se mencionó anteriormente, el esclerómetro es muy útil para determinar la uniformidad del hormigón de una estructura. Si se han empleado las mismas técnicas constructivas –como compactación, curado, desmoldantes y tipos de encofrados– y los hormigones poseen edades similares, el esclerómetro acusa variaciones de resistencia. Para estimar resistencias, siempre con la incertidumbre mencionada, debe tenerse en cuenta la calibración o contraste previo con materiales locales:

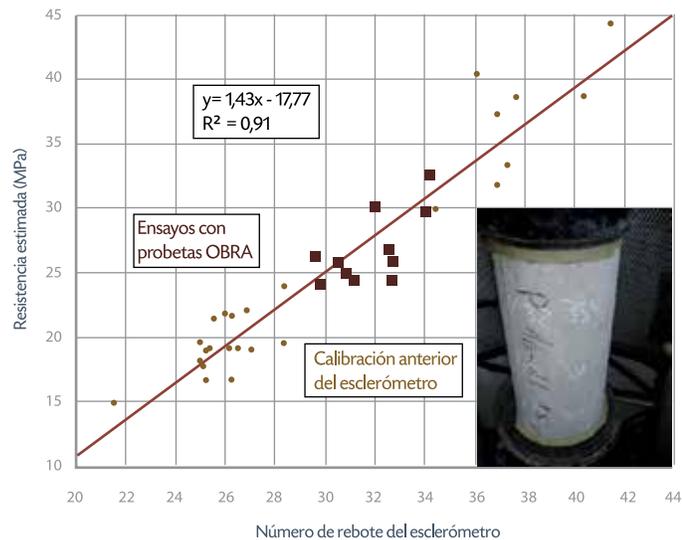
- Calibración de rutina del esclerómetro: no pueden emplearse para estimar resistencias las curvas impresas en el esclerómetro, sino que siempre debe ser calibrado con los materiales locales, en resistencias que oscilen entre 10 y 40 MPa. Para poder estimar la resistencia del hormigón, lo que no reemplaza el resto de los ensayos reglamentarios, debe existir una adecuada correlación (R^2 superior a 0,90) entre los números de rebote y resistencia a compresión de las probetas, siendo preferible su verificación con probetas de la obra en la cual se estimarán resistencias.
- Calibración con probetas de obra: siempre es recomendable confirmar la calibración de rutina del esclerómetro, con al menos 5 a 10 probetas de obra a auscultar, para verificar o no la línea de calibración preliminar, en el rango de resistencias que arrojan los resultados de las probetas. En la Figura 2 se muestra una curva de rutina y, superpuestas, probetas de una obra en particular.

La calibración del esclerómetro se realiza sometiendo probetas de 15x30 cm a una precarga del orden de 5 toneladas en la prensa de ensayos, pero sin ningún tipo de encabezado (o con encabezado de azufre). Se dan 3 golpes en 3 verticales equidistantes y se toma el valor promedio del número de rebote. Si hay valores que distan en más de 3 a 5 unidades del promedio, deben descartarse y recalcularse el promedio. Luego se ensaya cada probeta con encabezado a compresión, obteniendo así su resistencia mecánica.

El índice esclerométrico o número de rebote está influenciado por una gran cantidad de parámetros:

- Materiales constituyentes del hormigón: influyen de manera determinante el tipo de

F.2 Curva de calibración del esclerómetro con probetas locales



cemento y el tipo de agregados. Nunca deben compararse mediciones realizadas sobre hormigones elaborados con agregados de distinta composición petrográfica.

- Edad del hormigón: es uno de los factores más influyentes y que muchas veces no se tiene en cuenta. En el mismo esclerómetro viene impreso que es válido para determinaciones de entre 14 y 56 días; es decir, no es válido para estimar resistencias en hormigones muy jóvenes ni a edades tardías. En otros esclerómetros más modernos, vienen impresos factores de corrección en función de la profundidad de carbonatación (relacionado con la edad y ambiente de exposición). La superficie del hormigón expuesta al ambiente se va carbonatando con el tiempo, lo que resulta en un aumento de la dureza superficial, que no está relacionada con la resistencia a compresión del núcleo del elemento de hormigón. Es por ello que, a igualdad de resistencia, se obtienen números de rebote entre 3 y 6 unidades mayores para hormigones “viejos” que para hormigones “nuevos”. Este límite de 56 días puede ser extendido si se aprecia que no existe influencia en los ensayos de la carbonatación, la cual es progresiva y depende de una importante cantidad de variables o directamente se elimina esta capa con un abrasivo. Para determinar con precisión la profundidad de carbonatación en milímetros, »

debería realizarse el ensayo con aspersión de solución de fenolftaleína en testigos.

- Estado de humedad: es importante que los ensayos sobre estructuras se realicen con estados de humedad similares a los de las probetas empleadas para su calibración, siendo recomendable el estado seco. En general, mientras mayor es el contenido de humedad, menor es el número de rebote.
- Terminación de superficies: las superficies llaneadas o con encofrados metálicos presentan números de rebote superiores que las superficies ásperas o porosas, como al emplear encofrados de madera. Ciertos tratamientos, como endurecedores superficiales, invalidan el ensayo. En caso de pequeñas irregularidades, membrana de curado o desmoldantes, se deben remover con una piedra de pulir.
- Dimensiones de los elementos ensayados: la realización de ensayos sobre elementos estructurales de menos de 12 cm de espesor o elementos muy esbeltos que vibren durante el ensayo puede arrojar resultados erráticos. Por ejemplo, si se desea emplear el esclerómetro en losas alivianadas, deberán hacerse los ensayos en zona de vigas y no en la capa de compresión sobre losetas.
- Posición del ensayo: si el golpe se realiza hacia abajo (superficie de una losa), el número de rebote promedio se incrementa en 2 a 5, mientras que si se realiza hacia arriba (fondo), se debe disminuir en 4 a 5. Muchas veces, en el mismo esclerómetro figuran los factores de corrección para diferentes ángulos de incidencia, o bien pueden emplearse los que aparecen en IRAM 1694. Esta corrección está dada por el efecto de la gravedad respecto de la masa que impacta el hormigón; para ensayos hacia abajo, la masa rebotará menos que en horizontal.

3. END de ultrasonido

El ultrasonido puede ser empleado tanto para detectar defectos ocultos (si se cuenta con un osciloscopio adecuado), y más comúnmente para estimar uniformidad y resistencia del hormigón endurecido. Es una técnica que requiere más cuidado que la esclerometría, pero presenta una

E3 Instrumental y mediciones en ensayos de ultrasonido



menor incertidumbre que el esclerómetro; es decir, si se efectúa adecuadamente, puede tenerse una precisión de 5-10%, constituyéndose en el END con menores errores para la estimación de resistencias. El equipo de ultrasonido básicamente mide el tiempo en segundos que tarda una onda en atravesar un elemento de hormigón, y conociendo su espesor (distancia entre emisor y receptor) se calcula la velocidad de onda. La Norma IRAM 1683 establece el procedimiento de ensayo, fundamentos y los diferentes factores que influyen en los resultados. Es indispensable un adecuado contacto entre los transductores y el hormigón, lo que se logra con un gel especial o vaselina común, y en caso de superficies ásperas, éstas deben eliminarse.

En realidad, el ensayo de ultrasonido mide la continuidad dentro del hormigón y la magnitud de su módulo de elasticidad dinámico, pudiendo apreciar la variación de sus propiedades con el tiempo. Esta variación de módulo de elasticidad puede interpretarse como fisuración interna y estimarse cambios de resistencias. Por ejemplo, al presentarse zonas de compactación deficiente, vacíos o material deteriorado en los hormigones que se someten a ensayos, se obtendrá una disminución de la onda ultrasónica.

Además de la puesta a cero del ultrasonido que se realiza con una barra patrón al inicio de las mediciones (Figura 3), es muy aconsejable su calibración con probetas elaboradas con los mismos materiales que los empleados en la obra. Al igual que con el esclerómetro, para poder estimar »

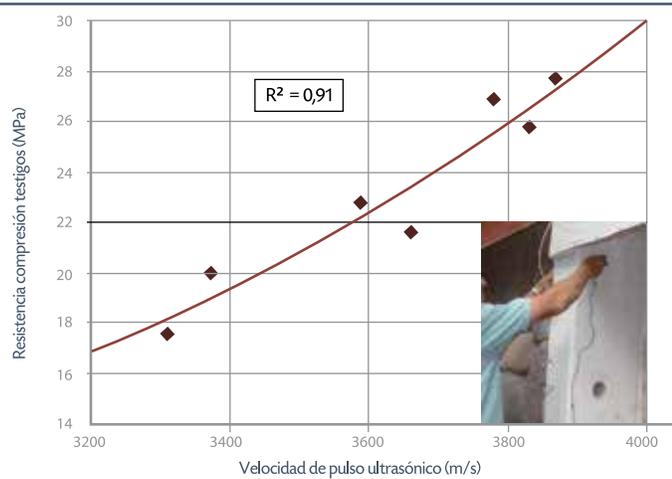
resistencias se debe poseer una curva de calibración con hormigones elaborados con materiales locales, y de ser posible, ser complementada con probetas de obra. Para su calibración deben emplearse probetas de 15x30 cm, realizar 5 ensayos de ultrasonido en el sentido longitudinal con el gel de contacto y medir la altura de la probeta de manera precisa en al menos 4 puntos. Con los valores anteriores se tendrá la velocidad de onda en m/s. Luego se encabeza y ensaya a compresión la probeta normalmente y se llega a su resistencia real, obteniendo así curvas de correlación. En estructuras existentes, es muy recomendable realizar ensayos de ultrasonido en los mismos elementos de los que se extraen los testigos para su ensayo a compresión y realizar curvas de calibración para estimar resistencias en otros elementos de la misma obra (Figura 4). Este procedimiento es muy útil para estimar resistencias en estructuras de cualquier edad, lo cual no puede lograrse con el ensayo de esclerometría.

Las condiciones para tener en cuenta en el ensayo son, entre otras: humedad, temperatura, terminación de superficies, efecto de armaduras, distancia de traspaso, forma y tamaño de elementos, naturaleza de los agregados, etc. No pueden extrapolarse curvas de calibración con hormigones de edades muy diferentes o de distinta composición, debiendo realizar la calibración con probetas o testigos tal como se ha mencionado. Para los ensayos de ultrasonido, existen diferentes tipos de colocación de los transductores (Figura 5), siendo siempre deseable la transmisión directa. Con las transmisiones semidirectas e indirectas difícilmente puedan determinarse resistencias a compresión, pero sí podrían evaluarse discontinuidades internas.

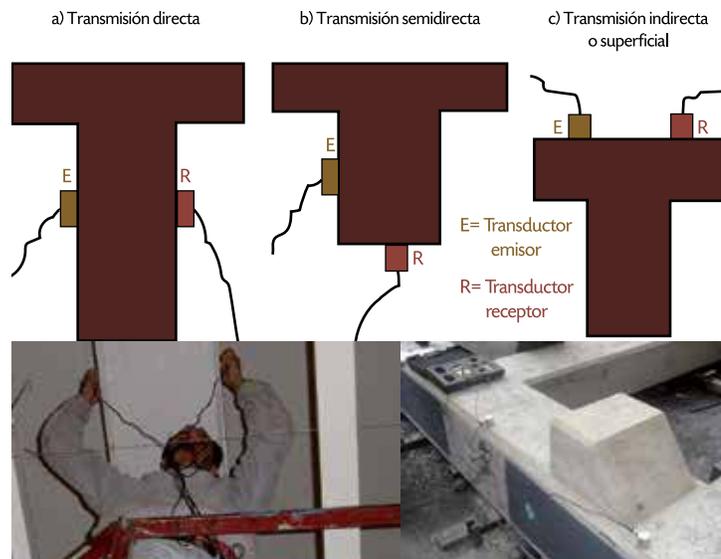
5. Detección de armaduras

Existen dispositivos que sólo distinguen la presencia de metales; otros, que además estiman la profundidad (espesor de recubrimiento); y los más sofisticados pueden también inferir el diámetro de las barras (Figura 6). Para la auscultación de estructuras de las que no se poseen planos, debe verificarse en varios puntos (picando el hormigón y exponiendo las barras) la posición de armaduras, corroborando la información del pachómetro. En columnas o nudos muy armados, pierde validez. También se emplean para detectar la posición de las armaduras antes de extraer testigos para intentar no cortar barras o armaduras principales.

F.4 Curva de calibración del ultrasonido con testigos de estructuras existentes



F.5 Diferentes tipos de transmisión en ensayos de ultrasonido

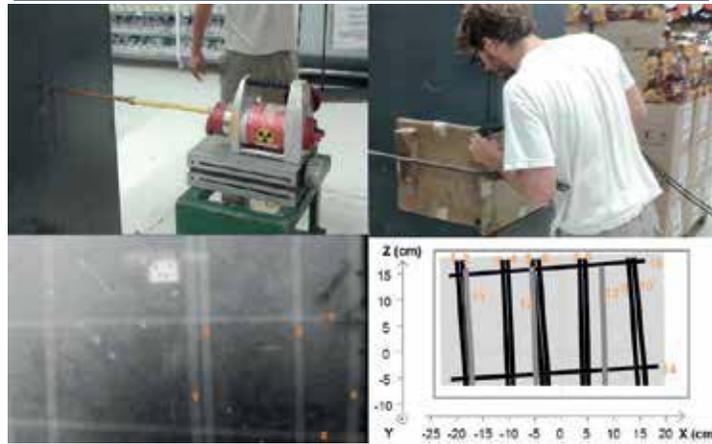


F.6 Pachómetros para detectar armaduras y cateos para observación directa



Como última y novedosa técnica para el diagnóstico de estructuras de hormigón, pueden mencionarse la radiografía, tomografía y/o gammagrafía del hormigón. Algunos de estos métodos están disponibles en nuestro país y con experiencia probada, y si bien cada una de las técnicas tiene sus particularidades, pretenden tener una imagen del interior del hormigón, detectando principalmente disposiciones de armado, espesores y, en algunos casos, defectos ocultos que puedan tener ciertos elementos. Los diferentes métodos se basan en la colocación de películas especiales y en que son sometidas a diferentes tipos de radiaciones, con principios similares a los equipos empleados en medicina. En la Figura 7 se muestran ensayos realizados en un supermercado en Buenos Aires, incluyendo imágenes de la fuente radiactiva, placas en contacto con columnas, revelado de placas e interpretación de observaciones. «

E.7. Tomografía por gammagrafía para detección de armaduras en supermercado



Control de calidad en obra: Capacidad resistente de estructuras de hormigón

E1 Determinación de características de materiales en bodega de 80 a 90 años



Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdormigones.com.ar

El Reglamento CIRSOC 201 establece los requisitos a cumplir cuando deben verificarse estructuras existentes ante cargas gravitatorias, para obras en las cuales se desconocen planos, disposición de armaduras y calidad de los materiales, o cuando se duda de esta última. Existen dos alternativas conceptuales bien definidas en caso de que se desee conocer la capacidad resistente de estructuras de cualquier edad:

1. Determinar las dimensiones y las propiedades de los materiales constituyentes (hormigón y acero).
2. Realizar ensayos de carga en las estructuras, principalmente en elementos sometidos a flexión y corte.

El primer caso es aplicable principalmente a elementos como columnas, tabiques y fundaciones, en los cuales son difícilmente practicables los ensayos de carga (por la magnitud de cargas a materializar y la imposibilidad de medir deformaciones axiales). Se admite que si se determinan las dimensiones, las propiedades de los materiales y las disposiciones precisas de las armaduras (ubicación y diámetros de barras, alambres, mallas o cables), puede evaluarse estadísticamente e inferir sobre la seguridad de una estructura ante determinadas solicitaciones. En la figura 1 se muestra un caso de estudio de piletas de una bodega de 80 a 90 años que fueron recicladas para un nuevo restaurante. Más adelante, se describirá la metodología para evaluar la resistencia y otras características del hormigón y las propiedades mecánicas del acero.

Las mediciones y determinaciones mencionadas deben realizarse en las secciones críticas en las cuales cada tipo de solicitación, calculada para la carga bajo análisis, alcanza su valor máximo. Para este tipo de estudios es aceptable la utilización de métodos no destructivos de investigación (por ejemplo, ultrasonido para estimar resistencias y

uniformidad o tomografía para detectar la posición de las armaduras), con las limitaciones descritas en el artículo anterior de *Hormigonar*.

En los casos en los cuales la resistencia al corte o a la adherencia de un elemento estructural constituya un factor crítico con respecto a la seguridad de la estructura, las pruebas de carga directa son la solución más eficiente para eliminar o confirmar las dudas que pudieran existir sobre el nivel de seguridad. La realización de una prueba de carga también es el recurso más apropiado para cargas de flexión, cuando no es posible determinar las dimensiones y propiedades de los materiales necesarios para la evaluación analítica. Cuando no se poseen planos, la determinación de armaduras en vigas y losas, en ambas caras de éstas, suele ser una tarea que lleva a dañar severamente la losa e insume una gran cantidad de recursos. Es de suma importancia que si como parte del proceso de evaluación se especifica una prueba de carga directa, todas las partes involucradas acuerden, antes de su realización, las zonas a ensayar, la magnitud de la carga a aplicar, el procedimiento para realizar la prueba de carga y los criterios de aceptación o rechazo.

1. Extracción y ensayo de testigos de hormigón

En caso de ser necesario investigar la calidad del hormigón de las estructuras existentes, o cuando los resultados de las probetas no han sido satisfactorios, surge frecuentemente la necesidad de extraer testigos de hormigón (figura 2). Respecto de la planificación de la extracción de testigos según la norma IRAM 1551, deben tenerse en cuenta, entre otros, los siguientes factores:

- **Diámetro de testigos:** el diámetro del testigo debe ser de 3" como mínimo y al menos 3 veces el tamaño máximo del agregado. Para el caso de hormigones estructurales, lo más corriente es que se utilicen TMN de 19 a 25 mm, con lo cual es recomendable emplear el diámetro mínimo de 3" para evitar cortar armaduras. En caso de que se desee determinar espesores de pisos y pavimentos o cuando se emplee un TMN de 30 a 38 mm, el diámetro del testigo será de 4". Para otros casos, como pavimentos con espesores de 20 cm o superiores, es recomendable la extracción con diámetro de 5" a 6" como máximo.

F2 Extracción de testigos



- **Presencia de armaduras:** si bien nunca es deseable cortar armaduras, en algunos casos es inevitable. Debido a que se quiere juzgar la calidad del hormigón, es recomendable extraer los testigos en las zonas de menor cuantía de armaduras (por ejemplo, la parte media de la altura para vigas). De cortar armaduras transversales o estribos, la norma IRAM 1551 establece que es admisible cuando las armaduras no representen más del 4% de la sección transversal del testigo, que nunca estén direccionadas longitudinalmente y que la rotura del testigo no se produzca inicialmente en las inmediaciones de la barra.
- **Esbeltez de testigos:** la relación entre la altura y el diámetro de los testigos debe estar comprendida entre 1 y 2. Luego se emplean coeficientes correctores menores a 1 para convertir la resistencia de testigos con esbelteces menores a 2 a la equivalente a probetas normalizadas (siempre de esbeltez igual a 2).
- **Número de testigos:** para el caso de verificar la resistencia de estructuras en las cuales las probetas han brindado resultados por debajo de lo esperado, el número de testigos debería ser del doble de las muestras requeridas para realizar probetas. Si un lote de 100 m³ debe poseer 5 muestras, indicaría que deben extraerse cerca de 1 testigo cada 10 m³ de la zona cuestionada. Si se determina la resistencia de un elemento en particular, el número de testigos no puede ser inferior a 3. »

Para estructuras existentes en las que se desea investigar la calidad de los materiales o cuando se complemente con ensayos no destructivos, debe estudiarse y consensuarse cada caso en particular. Para casos relevantes se recomienda consultar la publicación ACI 437R-97 "Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings".

- Refrentado y encabezado: casi siempre una de las caras del testigo es irregular (base de pavimentos o para no atravesar todo el elemento estructural), con lo cual debe ser refrentada con un disco diamantado o un disco de corte de hormigón para lograr cierta planicidad. Cuando ambas caras tengan esa planicidad, se procede a encabezar ambas caras con mortero de azufre según norma IRAM 1553 (nunca con neopreno).
- Ensayo a compresión: deben tomarse varias precauciones, siendo relevante verificar el centrado en la prensa, que la rótula esférica acompañe la posible falta de paralelismo de las caras, regular la velocidad de carga de la máquina de ensayo y si su diámetro es de 3" no pueden ser ensayados en las prensas convencionales para probetas, ya que en muchas de ellas, para cargas menores a 10 toneladas, se pierde confiabilidad. Debe contarse con escalas especiales calibradas o ensayarlos en máquinas universales.

2. Evaluación de resultados de ensayos de testigos

Para el análisis de resultados de probetas y metodologías de ensayo, antes de decidir extraer testigos, se remite al lector al artículo "Análisis de resultados de probetas en obra", y en particular a su último párrafo, denominado "Escenarios posibles después del análisis estadístico".

La mayor parte de los códigos estructurales (CIRSOC 201:82, CIRSOC 201:05 para Plantas en Modo 1, ACI 318) establecen los mismos criterios para la evaluación de los testigos de hormigón, siendo conceptualmente similares a los que fueron estudiados para el análisis de resultados de probetas:

- El promedio de una serie de ensayos de resistencias del lote debe ser igual o mayor a cierto valor.
- Ningún valor individual de los resultados de ensayo debe ser inferior a un valor mínimo determinado.

Aplicado al control de resistencias en hormigones para testigos de hormigón extraídos de las estructuras:

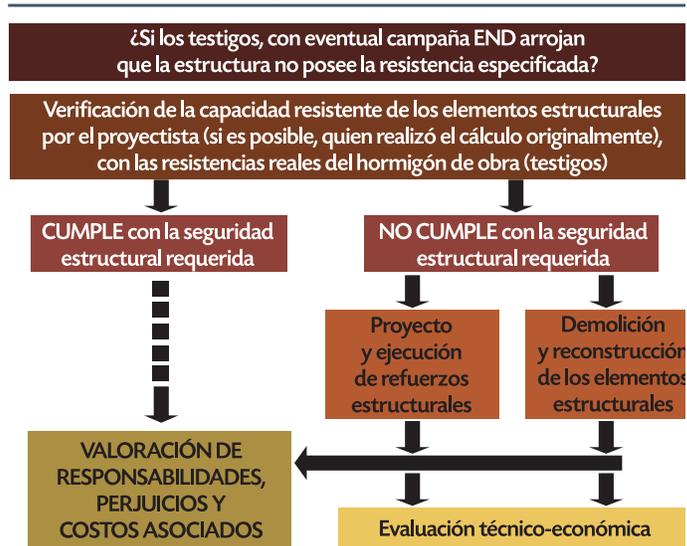
- El promedio de las resistencias de los testigos debe ser igual o mayor al 85% de la categoría resistente.

- Ningún valor individual de los resultados debe ser inferior al 75% de la resistencia especificada.

Respecto de los resultados individuales de testigos bajos, en los reglamentos figura el concepto de "resultado errático", pero no se define. Por una importante base de datos de testigos ensayados, 1 de cada 8 ó 10 testigos, suele brindar resultados erráticos (vibraciones en la extracción, defectos ocultos, problemas en el ensayo a compresión), con lo cual es entendible que si extraemos, por ejemplo, 25 testigos y uno da un resultado bajo, no puede rechazarse toda una estructura. Para estos resultados erráticos, existen dos criterios que quedan a juicio del Director de Obras: descartarlos estadísticamente o solicitar que se extraigan 2 a 3 testigos de las inmediaciones del lugar en el que el testigo brindó resultados anómalos. En este último caso, se toma el promedio de los nuevos testigos y se reemplaza el resultado del testigo considerado errático.

Para el caso de resistencias bajas de probetas y cuando los testigos arrojen resultados positivos en ambas condiciones, los resultados de las probetas "se borran" y la calidad del hormigón debe ser aceptada, independientemente de la edad. Si las resistencias de los testigos, eventualmente complementados con ensayos no destructivos, resultan ser inferiores a las de la categoría resistente requerida en el diseño original de la estructura, debe procederse como se detalla en la figura 3.

F3 Diagrama de flujo para la toma de decisiones ante resultados negativos



3. Caracterización del acero de refuerzo

Si bien el acero es uno de los dos materiales de construcción con calidad certificada por el INTI, muchas veces es útil

conocer las propiedades mecánicas de las barras, más aún para estructuras que posean más de 30 ó 40 años, debido a que las barras eran de diferente tipo a las empleadas actualmente (barras lisas o torsionadas); también pueden presentar diferentes grados de deterioro por corrosión. Para el caso de estructuras antiguas, deben cortarse algunas barras de la estructura (que luego serán bien empalmadas en obra) y determinar parámetros característicos, como límite de fluencia, resistencia máxima, alargamiento de rotura y relación entre la tensión máxima y la tensión de fluencia. En la figura 4 se muestra la extracción de barras de acero liso con cierto grado de corrosión, de una bodega de una edad próxima a 70 años y el diagrama de ensayo obtenido, habiendo concluido en ese estudio que el acero, independientemente de su edad y condición de exposición, presentaba excelentes características.

4. Técnicas para la ejecución de ensayos de carga

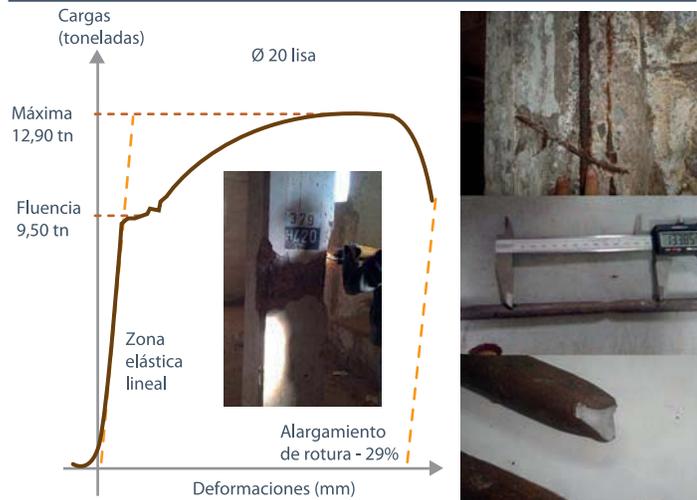
Para definir la intensidad de la carga a materializar en la estructura, el reglamento CIRSOC establece que la carga total a ser utilizada, incluyendo la carga permanente existente, deberá ser igual a $0,85 (1,4 D + 1,7 L)$, donde D es la carga muerta o permanente (previamente determinada mediante sondeos) y L, la sobrecarga prevista para la estructura. El valor anterior incluye la carga del peso propio de la estructura, que como está siempre actuando debe ser sustraída al valor de la ecuación brindada anteriormente.

Por ejemplo, se posee una estructura existente con una losa de espesor próximo a 50 cm y para la cual el uso futuro requiere una sobrecarga "L" de 500 kg/m^2 para su ocupación. En función del espesor medio de la estructura previamente sondeado, se determina, con la ayuda del peso específico del hormigón de $2,35 \text{ tn/m}^3$, la carga D existente en la estructura e igual a $1,18 \text{ tn/m}^2$. Con la carga L ya definida de ocupación de $0,5 \text{ tn/m}^2$, se determina una carga total a materializar por el ensayo de carga, aplicando la ecuación:

- Carga a modelar = $0,85 \times (1,4 \times 1,18 \text{ ton/m}^2 + 1,7 \times 0,50 \text{ tn/m}^2) = 2,13 \text{ tn/m}^2 - 1,18 \text{ tn/m}^2 = 0,95 \text{ tn/m}^2$

El número y la distribución de las cargas en tramos o losas cargadas se deben seleccionar de tal forma de maximizar las flechas y tensiones en las zonas críticas de los elementos estructurales cuya

F4 Diagrama de ensayo de probetas cortadas de estructuras de 70 años



F5 Diferentes métodos para materializar cargas en elementos estructurales



resistencia esté en duda. Cuando la adopción de una única disposición de carga no produzca en forma simultánea valores máximos de todos los parámetros (tales como flechas, rotaciones, esfuerzos internos o tensiones), se deberá utilizar más de un esquema de carga para demostrar la aptitud de la estructura en todas las secciones críticas. Cuando sea necesario aplicar una carga uniformemente distribuida, la carga de la prueba se aplicará de tal forma que se asegure la obtención de una distribución uniforme real sobre la estructura, o sobre la parte de ésta que se ensaya. Se debe evitar la presencia de un "efecto de arco" en la carga aplicada. En la figura 5 se muestran »

algunas disposiciones correctas de materialización de cargas.

Antes de comenzar una prueba de carga directa, debe realizarse un relevamiento integral de la estructura para definir las zonas donde realizar los ensayos de carga, que sean accesibles y se consideren más representativas. La duración total de los ensayos de carga suele ser de al menos 48 horas. A continuación se describe un procedimiento paso a paso propuesto para la ejecución de las pruebas de carga directa.

- Definir con qué materiales se efectuarán las cargas (piletas de agua, bolsas de cemento, vehículos cargados, tachos con arena, bins de 1.000 litros de agua) y evaluar ciertas cargas permanentes en la estructura que puedan estar actuando y que antes de la refuncionalización de la obra serán removidas.
- Se relevan las vigas, columnas y tabiques debajo del ensayo de carga y se replantean con pintura para graficar la estructura bajo la losa o viga y poder aplicar las cargas bien distribuidas.
- Se fijan los accesorios (puntales, cables tensados, puntos fijos) para el posicionamiento de los relojes comparadores, niveles o flexímetros para la medición de las deformaciones durante y después del ensayo.
- Se instrumenta con relojes comparadores u otros elementos de medición con precisión de 1/100 mm, en puntos estratégicos seleccionados para medir las deformaciones en los diferentes escalones de carga.
- Puesta a cero y verificación del instrumental de medición de precisión antes de comenzar las cargas, considerando estas mediciones como "0" o lectura inicial. Esta lectura debe ser realizada una hora antes de comenzar con los ensayos de carga. En el caso de trabajar con puntos fijos y niveles ópticos, éstos no deben moverse de su posición durante la ejecución de todo el ensayo. Estos métodos sirven para medir deformaciones mayores a 1 mm.
- Dividir en 4 a 6 escalones de carga, para ir materializando los kg/m² determinados en las losas o vigas, de manera ordenada y para no interrumpir la carga de los demás sectores de las losas.
- Carga de cada escalón en la parte superior de las losas y registro de las cargas y orden de éstas; lectura correspondiente en los flexímetros en cada uno de los escalones de carga, de la deformación en medias centésimas de mm, registrando todas estas lecturas para cada escalón de carga.
- Observaciones minuciosas en todos los elementos estructurales aledaños (por encima y debajo del elemento estructural), para apreciar la aparición de fisuras, desprendimientos o similares. En caso de ocurrir, pueden ser considerados principio de falla y detener el ensayo de carga. Pueden seguirse algunas fisuras preexistentes con fisurómetros específicos para apreciar su potencial movimiento.
- Una vez materializada la totalidad de las cargas modeladas, se toma la lectura de cada uno de los flexímetros o desplazamiento de los puntos fijos para el caso de emplear niveles ópticos.
- Se dejan las cargas en su lugar durante 24 horas. Al día siguiente, se leen los flexímetros y se registra la diferencia de la lectura después del ensayo de carga y a las 24 horas.
- Se retiran las cargas en escalones similares a los de la carga. Se toman las lecturas de los flexímetros en el proceso de descarga, con la misma técnica y metodología que durante la carga.
- Una vez terminado el proceso de descarga, se lee el flexímetro y registro correspondiente, dejando los medidores de deformación en su posición hasta las 48 horas. A los dos días de comenzado cada ensayo de carga, se toma la lectura final de los flexímetros y deformaciones residuales.
- Una vez tomadas las lecturas a las 48 horas, se retiran los elementos de medición o puntos fijos (si se trabaja con nivel óptico) y sus elementos de sostén, para llevarlos al próximo elemento estructural.

5. Metodología para la medición de deformaciones

Debido a que el aspecto clave para verificar el comportamiento estructural es la medición precisa de las deformaciones durante la carga y su posterior recuperación, se describirán algunas de las técnicas que pueden utilizarse para medir flechas con elementos de medición precisos. En la figura 6 se muestra el posicionamiento de algunos dispositivos de medición durante ensayos de carga.

- Nivel óptico: para ciertas estructuras en las cuales se esperan deformaciones importantes como puentes, en la escala de mm, el método más práctico y sencillo para implementar es la demarcación de puntos fijos y posicionamiento de niveles ópticos para su seguimiento. Para estructuras muy rígidas y con deformaciones a cuantificar bajas, este método no es aplicable.
- Flexímetros o relojes comparadores: pueden ser digitales o analógicos y deben colocarse de forma completamente independiente a la estructura a auscultar, para que no los influyeran sus deformaciones en los dispositivos. Pueden ser posicionados con puntales telescópicos en la parte inferior de losas o desde la parte superior si existen vigas, reticulados o losas superiores. La resolución de 0,01 mm permite obtener mediciones muy precisas. En casos de difícil sujeción por puntales, pueden idearse métodos como, por ejemplo, cables tensados y medición de deformaciones mediante tornillos fijos a las losas.
- Dispositivos electromagnéticos tipo LVDT: si se posee un dispositivo de adquisición de datos, se pueden lograr mediciones de deformaciones con resolución de la milésima de milímetro. Estos sistemas son de excelente precisión si están adecuadamente calibrados, y también deben ser sujetados de algún modo que no sean perturbados por los movimientos de las estructuras durante los ensayos de carga.

6. Interpretación de las mediciones en los ensayos de carga

El reglamento CIRSOC establece dos principios para determinar si las deformaciones son

admisibles o no en la estructura. Con cumplir una de las dos, es requisito suficiente para dar por aprobada la prueba de carga:

- Recuperación de la flecha: la condición principal es que la deformación máxima durante el ensayo se recupere al menos en un 75% a las 24 horas de retirar las cargas. Expresado de otra manera, la deformación residual debe ser menor o igual a la cuarta parte de la deformación máxima. En la figura 7 se muestra un caso real de mediciones de deformaciones y su recuperación en el tiempo.
- Criterio de la flecha máxima: puede admitirse que la deformación máxima sea inferior a una ecuación que figura en el reglamento y contempla la luz libre entre apoyos y la altura de la losa. Se establece que la flecha a carga máxima debe ser menor a la luz entre apoyos $2 / (20.000 \times \text{altura losa})$, expresados en mm.

La parte de la estructura ensayada no debe mostrar evidencias de falla. El descascaramiento, aparición de fisuras evidentes a 45 por corte y el aplastamiento del hormigón comprimido se deben considerar una indicación de falla. En las zonas de anclajes o empalmes, se deben evaluar las causas y las consecuencias de la aparición de varias fisuras inclinadas cortas o fisuras horizontales a lo largo de la línea de las armaduras.

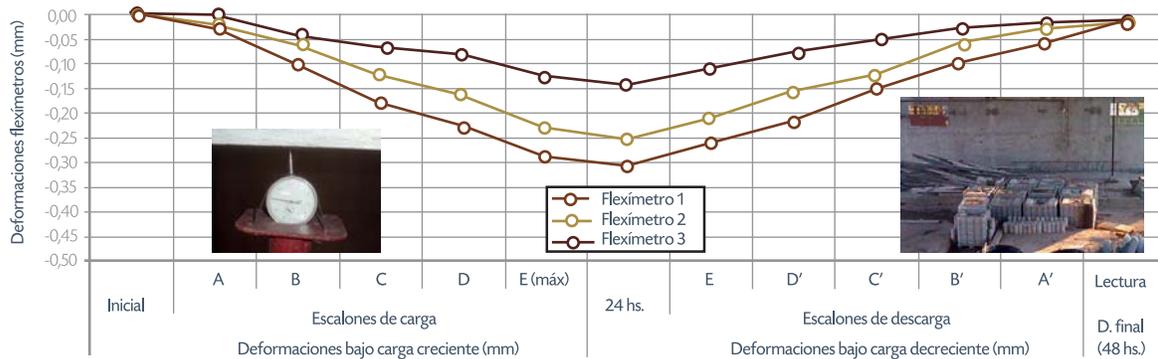
Otro criterio general de aceptación para el comportamiento de una estructura en la prueba de carga es que ésta no muestre "evidencias de falla". Éstas incluyen la aparición de fisuras,

F6 Dispositivos de medición de deformaciones en ensayos de carga



F.7 Registros de deformaciones y recuperación en un ensayo de carga

ENSAYO DE CARGA N° 3		Losa central con apoyo en 4 vigas principales												
Medición	Deformaciones bajo carga creciente (mm)						Deformaciones bajo carga decreciente (mm)						D. final (48 hs.) Lectura	% Def. Residual/ Def. Máxima
	Inicial	Escalones de carga					24 hs	Escalones de descarga						
		A	B	C	D	E (máx.)		E	D'	C'	B'	A'		
Flexímetro 1	0,00	-0,03	-0,10	-0,18	-0,23	-0,29	-0,31	-0,26	-0,22	-0,15	-0,10	-0,06	-0,02	6%
Flexímetro 2	0,00	-0,02	-0,06	-0,12	-0,16	-0,23	-0,25	-0,21	-0,16	-0,12	-0,06	-0,03	-0,02	8%
Flexímetro 3	0,00	0,00	-0,04	-0,07	-0,08	-0,13	-0,14	-0,11	-0,08	-0,05	-0,03	-0,02	-0,01	7%



descascamientos y/o flechas de tal magnitud y extensión, que el resultado observado sea claramente excesivo e incompatible con los requisitos de seguridad de la estructura. No se pueden desarrollar reglas simples, aplicables a todos los tipos de estructuras y condiciones. Si se ha producido un daño suficiente como para considerar que la estructura no ha superado la prueba de carga, no se permite volver a realizar una nueva prueba, dado que se considera que los elementos dañados no se deben poner en servicio, ni siquiera para soportar cargas menores. El descascamiento local del hormigón comprimido en elementos

solicitados a flexión, debido a imperfecciones en el hormigonado, no indica necesariamente un deterioro estructural global. Los anchos de fisura son buenos indicadores del estado de la estructura y deben ser observados y medidos detenidamente para determinar si el estado de la estructura es satisfactorio. Antes de la realización de la prueba de carga, se recomienda establecer los criterios relacionados con los tipos de fisuras previstos, dónde y cómo se medirán, y los límites o criterios para la evaluación de fisuras nuevas o para las modificaciones aceptables en el valor del ancho de las fisuras. «