

# Soluciones prácticas para el manipuleo y colocación del hormigón en obra

**Ms. Ing. Maximiliano Segerer**

*Control y Desarrollo de Hormigones*

*www.cdormigones.com.ar*

Todas las tareas desde la llegada del camión a obra hasta que alcanza su posición definitiva en los encofrados deben realizarse lo más rápido posible y procurando evitar los defectos típicos del hormigón fresco, como pérdida de asentamiento, segregación, exudación excesiva y fisuración. Por ello, en todo momento debe contarse en obra con los medios necesarios para:

- que todas las tareas concluyan antes del inicio de fragüe;
- que el hormigón no se encuentre segregado en la estructura;
- que el hormigón colado sea homogéneo en la estructura.

Toda demora en la descarga del hormigón elaborado una vez salido de la planta y concluido el viaje hasta la obra puede afectar las propiedades del hormigón fresco y, consecuentemente, las propiedades del hormigón endurecido. A medida que transcurre el tiempo entre la salida de planta del camión y la terminación de la descarga en obra, va produciéndose una disminución del asentamiento, hasta el punto de dificultar la manipulación normal del material, lo que "tienta" a los operarios a agregarle agua para poder manejarlo, aspecto que se acentúa con hormigones secos y/o en condiciones de clima caluroso. Esto conlleva a elevar el valor teórico de la relación agua/cemento y con ello, en la práctica, disminuir la resistencia y durabilidad de la estructura. Este inconveniente puede prevenirse con el empleo correcto de aditivos superfluidificantes, pero la principal medida a ser tomada es agilizar la descarga en obra.

Para hormigones convencionales, este fenómeno se denomina "pérdida de asentamiento", mientras que para HAC se llama "pérdida de extendido". La tecnología moderna para aditivos está realizando numerosos esfuerzos para optimizar la compatibilidad de aquéllos con los aglomerantes y cementos de cada región, para poder brindar tiempos extendidos de trabajo. Igualmente, salvo para casos especiales y con estudios previos, más allá de las dos a tres horas como máximo, el hormigón siempre debe estar descargado y colocado en su posición definitiva.

## 1. Métodos de descarga y manipuleo del hormigón en obra

A continuación, se enumerarán los métodos más empleados para el manipuleo del hormigón en obra, y las ventajas y precauciones de cada uno. El término "manipuleo" se refiere a cómo se lleva el hormigón desde la descarga del camión hormigonero hasta su posición definitiva en el elemento que se está llenando. La elección de la consistencia, medida mediante el asentamiento para hormigones convencionales, dependerá del método de manipuleo del hormigón y de las características geométricas y de armado de los elementos estructurales a llenar.

- *Herramientas manuales:* independientemente del método de transporte y colocación, el hormigón se trabaja y se lleva a su lugar definitivo muchas veces con herramientas como zapas y palas. El hormigón siempre debe ser colocado cerca de su posición definitiva, y los desplazamientos con herramientas deben ser mínimos, para procurar no agotar a los operarios y para evitar que el hormigón se segregue, lo que ocurre para hormigones secos y fluidos respectivamente. »

- **Canaletas de descarga:** es el método más empleado cuando el camión hormigonero tiene acceso a la obra y el elemento a hormigonar se encuentra a nivel del terreno o bajo éste, siendo de muy poco costo y fáciles para manejar (Figura 1). Del 50% al 70% de los hormigones despachados en diferentes ciudades de nuestro país se descarga por canaleta. La inclinación óptima es entre 15 y 30° de la horizontal, dependiendo del asentamiento.
- **Bombas móviles, “bombas pluma” o telescópicas:** son muy empleadas para transportar directamente el hormigón desde la boca de descarga del camión hasta los encofrados; siendo el método más versátil y combinable para manipular el hormigón elaborado (Figura 2). Las bombas móviles usuales tienen alcances de entre 20 y 45 metros. Debe prestarse especial atención a que la descarga sea continua, y es recomendable que la caída libre del hormigón sea la menor posible. La composición del hormigón debe ser bien estudiada para que a la salida de la bomba no presente segregación y no ejerza presiones excesivas que puedan averiar la bomba. Deben considerarse la consistencia (asentamiento), la cohesividad (contenido de finos y aglomerante mínimo), la granulometría (tamaño máximo del agregado: 1/4 del diámetro de la cañería y granulometrías continuas), y es indispensable el empleo de aditivos que incrementen la fluidez; siempre deben tenerse en cuenta las características de la bomba y del elemento estructural.
- **Bombas estacionarias o “de arrastre”:** tienen características de funcionamiento similares a las anteriores, pero deben armarse las cañerías antes del colado. Hay que prestar especial atención a la fijación de cañerías horizontales y verticales, sus codos y curvas, para que resistan adecuadamente las presiones y sea fácil su limpieza y eventual desatascamiento. En muchas provincias, son más empleadas que las bombas “pluma”. Al igual que para las bombas móviles, los bombistas estarán adecuadamente capacitados y debe restringirse la incorporación de agua durante el trabajo de bombeo, bien sea para facilitar la colocación o para el lavado de las canaletas de camiones y



⚡ F1: Descarga convencional por canaleta

⚡ F2: Descarga por bombeo

canastas de la bomba (salvo que esta porción se bombee fuera de la estructura).

- **Baldes de hormigonado y grúas:** si están bien diseñados y manejados, proporcionan uno de los métodos más satisfactorios para manipular el hormigón, pudiéndose emplear con grúas, cablevías y plumas (Figura 3). Las grúas, si existen en una obra, pueden ser provechosamente utilizadas para manipular el hormigón; debe preverse si se emplearán para hormigón, ya que de lo contrario la capacidad de la pluma puede ser insuficiente y sólo podrán transportar 1/4 m<sup>3</sup>. También presentan gran versatilidad para la colocación en lugares inaccesibles, pudiéndose transportar los baldes en helicópteros u otros medios.
- **Cintas transportadoras:** sirven para transportar el hormigón al mismo nivel, más arriba o

más abajo; es un elemento muy versátil, y existen camiones-cinta de unos 12 metros de alcance que pueden llenar pequeñas losas desde la vereda (Figura 4). No pueden emplearse asentamientos elevados y deben ser guiados a su punto de descarga mediante una manguera flexible a la salida de la tolva. En grandes obras, pueden instalarse cintas transportadoras de importante longitud, teniendo en cuenta que para condiciones de tiempo caluroso deberá protegerse el hormigón fresco de la desecación mediante cubiertas específicas. La velocidad de la cinta y su pendiente serán tales que no exista segregación del hormigón fresco al descargarlo.

- **Tuberías verticales:** las tuberías usadas para el transporte vertical del hormigón, de una cota superior a una inferior, deben estar constituidas por caños de sección circular, que pueden ser metálicos o plásticos. Deben tomarse todas las medidas posibles para evitar su obstrucción; por ejemplo, emplear tamaños de agregado de un máximo de 1/8 del diámetro de los caños.
- **Carretillas y volquetas:** sirven para el transporte corto y plano en todo tipo de obra. Son muy lentas y de trabajo intensivo, e incompatibles con el hormigón elaborado. Además, el transporte a grandes distancias o por caminos no nivelados segrega de manera considerable al hormigón, reduciendo su calidad.
- **Pavimentadoras:** se emplean hormigones de consistencia seca, con un sistema de encofrados deslizantes para secciones constantes como pavimentos, pantallas de presas y canales sección tolva. Distribuyen, compactan y terminan superficialmente (y, en algunos casos, curan) el hormigón, presentando un muy alto rendimiento. Las pavimentadoras con tecnología de alto rendimiento (TAR) son muy empleadas en el país para los principales proyectos viales por su versatilidad y productividad. El estudio continuo de la dosificación y comportamiento del hormigón y la logística de los materiales son vitales para obtener un buen resultado.
- **Lanzadores (H proyectado):** el hormigón



↗ F3: Descarga con baldes de hormigonado



↗ F4: Descarga por cinta transportadora

↗ F5: Empleo de proyectadores

proyectado es una técnica que consiste en “lanzar” un hormigón sobre un paramento y que quede adherido a éste, lográndose espesores considerables, sin emplear una de las caras del encofrado (Figura 5). Existen dos procedimientos, por vía seca y vía húmeda, y son empleados para estabilizar taludes, reparaciones estructurales, revestimientos de »

obras hidráulicas, construcción de túneles, tabiques de subsuelos, piscinas, etc.

- Hormigonado bajo agua (Tremie):** las técnicas de colocación bajo agua se basan en evitar el flujo de agua a través de la masa fresca de hormigón en el sitio de colocación. El procedimiento más empleado se denomina "Tremie" y debe garantizar que el hormigón que se coloca se ubique desde dentro del hormigón fresco ya colado, a partir de una cantidad inicial que funciona como tapón, de modo que la mayor parte del hormigón no se ponga en contacto con el agua. Al iniciar la colocación, debe vencerse la presión hidrostática, y la tubería siempre debe estar inmersa en el hormigón fresco. El hormigón debe poseer una relación a/c máxima de 0,45, categoría resistente mínima 30 MPa; el TM recomendado es 1", debe emplearse aire incorporado (criterio de cohesividad) y son obligatorios los superfluidificantes, ya que el asentamiento requerido es de 16 a 20 cm. Todas estas especificaciones redundan en un hormigón cohesivo y sin tendencia a segregarse; es muy recomendable el empleo de fibras plásticas y, en aplicaciones de mucha exigencia, especificar aditivos antideslave (anti wash-out), para lo cual deben realizarse ensayos específicos.
- Otros métodos:** la enumeración precedente de métodos no es excluyente. Cualquier otro que sea ingenioso, ágil y no segregue el hormigón puede emplearse cuando no se disponga en obra de los medios anteriores. Un ejemplo son las palas cargadoras o similares, como se ejemplifica en la Figura 6. En la Figura 7 se muestran "balsas hormigoneras" en la isla de Murano (Venecia).

## 2. Recomendaciones generales para la colocación del hormigón

Para poder lograr estructuras monolíticas y homogéneas con hormigones convencionales (no autocompactantes), debe prestarse especial atención a lo siguiente:

- Reducir las caídas libres del hormigón desde alturas considerables, que pueden provocar su segregación y corrimientos laterales de la masa, formando rampas y desacomodando



➤ F6: Otros métodos de colocación

➤ F7: Balsas hormigoneras

la mezcla que se coloca a continuación. En caso de caídas superiores a 5 m, el hormigón será adecuadamente diseñado para que presente una adecuada cohesividad. En el punto 3 se detalla la temática de la caída libre del hormigón.

- La hormigonada debe hacerse por tongadas horizontales que completen la superficie a llenar entre encofrados, y cuyo espesor dependerá de los medios de compactación disponibles, pero no es recomendable superar los 40 a 80 cm, de acuerdo con el elemento estructural.
- Cada tongada deberá ir compactándose de inmediato, estimando el tiempo de modo que, al colocar la siguiente, la anterior conserve un estado plástico suficiente como para permitir el trabajo conjunto entre ambas. El constructor debe estar seguro de

que, al colocar la capa superior, en la capa inferior no se haya iniciado el proceso de fragüe; en caso contrario, se deberá actuar como se señala en “juntas no previstas”.

Algunas reglas generales para casos típicos y para hormigones convencionales:

- Para el caso de losas, el hormigonado debe comenzarse desde el perímetro en un extremo, descargando luego sobre el hormigón ya colado. No se debe verter en pilas separadas para después nivelarlo. Es muy recomendable el hormigonado conjunto de vigas y losa, llenando y vibrando, en primer lugar, las vigas.
- Para el caso de muros, tabiques y losas de fundación de gran espesor, el hormigón debe colarse en capas de entre 30 y 50 cm sobre capas ya completamente vibradas. Se puede elevar el espesor de la capa a 1 m, para el caso de columnas y vigas de gran altura, verificando la efectividad del vibrado. La colocación debe ser lo suficientemente ágil para que la capa inferior no haya iniciado su fragüe cuando se coloque la capa superior, debiendo consolidarlas en conjunto (al menos que el vibrador penetre 5 a 15 cm en la capa inferior).
- Para el caso de elementos de fundación en contacto con el suelo, debe prepararse adecuadamente el terreno y luego recubrirlo con una capa de hormigón de limpieza de espesor de al menos 5 cm, de la misma calidad del hormigón del elemento de fundación (especificación del Reglamento CIRSOC 201:05). Es recomendable que los elementos de fundación se llenen en una sola operación continua. Si por razones constructivas esto no fuese posible, deberán presentarse memorias de cálculo sobre transferencias de esfuerzos. Para moldear elementos sobre fundaciones, deben transcurrir al menos 48 horas del hormigonado de éstas.
- Para todos los casos, no debe depositarse una gran masa en un solo punto y esperar que por su propio peso o con ayuda de algún elemento para correrlo (como vibradores) se vaya deslizado lateralmente hasta alcanzar la altura que corresponde y



▲ F8: Alturas de caída de hormigonado

se llene el encofrado. Estos deslizamientos producen segregación del hormigón fresco y exudación del agua y lechada de cemento, dejando separado el agregado grueso. Para desplazar el hormigón, no se debe tratar de arrojarlo con palas a gran distancia, ni tratar de distribuirlo con rastrillos. Tampoco hacerlo avanzar desplazándolo varios metros dentro de los encofrados.

Las recomendaciones anteriores en lo que respecta al vertido y consolidación no deben ser tenidas en cuenta al trabajar con hormigones autocompactantes, presentando ventajas competitivas notables en la velocidad de construcción y monolitismo de las piezas de hormigón, como se estudió en el artículo anterior de *Hormigonar*.

### 3. Altura de caída del hormigón

Un tema controvertido en el país es la altura máxima de caída del hormigón. En primer lugar, cabe destacar que en la mayoría de los hormigones estructurales (columnas, tabiques, fundaciones, pilotes) no se cumple que la caída máxima del hormigón sea de 1,5 m, tal como establece el Reglamento CIRSOC 201:05 siguiendo el lineamiento y la especificación prescriptiva de la versión de 1982. En contadas obras se realizan las “ventanas” para verter el hormigón a 1,5 m (Figura 8), vibrarlo, cerrar la ventana y continuar el vaciado, ya que dificulta todas las tareas y baja la productividad. El Código ACI 318 establecía en versiones antiguas alturas máximas de caída, pero en la actualidad, como en el Eurocódigo 2, no figura ninguna disposición para la caída máxima. Estos cambios vienen dados, principalmente, a »

partir de los avances en los aditivos y la tecnología del hormigón de las últimas décadas, con lo cual se logran hormigones cohesivos y con riesgos muy reducidos de segregación, en conjunto con el diseño de fórmulas de cada planta de hormigón elaborado. Para el caso de hormigones *in situ* o cuando no se emplean aditivos para darle fluidez al hormigón, sí existe un riesgo de segregación notorio ante caídas de más de 2 m. Pero, en la actualidad, se aceptan alturas de caída considerables y en general se logran excelentes resultados (ver parte inferior de Figura 8). En caso de que se encuentren defectos de colocación o consolidación atribuibles a la elevada caída libre del hormigón, deberán reestudiarse el diseño de fórmula del hormigón y técnicas de manipuleo, colocación y compactación del hormigón hasta lograr buenos resultados.

En 1999, la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos eliminó toda limitación de caída libre del hormigón (lo permitido era hasta 8 m). A pesar de que los sondeos fueron realizados en fundaciones bajo el agua, los resultados pueden aplicarse a otros elementos estructurales como tabiques, columnas y losas de piso con malla de refuerzo. El estudio más extenso en Estados Unidos consistió en tomar

más de cien muestras a diferentes alturas de hormigón de fundaciones de hasta 46 m de profundidad de los últimos treinta años, que no mostraron ninguna evidencia de segregación o debilidad en el hormigón, sin haber tomado previsiones especiales al colarlo. La recomendación ACI 304 establece que, si la disposición de armaduras y encofrados es adecuada para que el hormigón no sea interrumpido en su caída vertical, es deseable una descarga directa sin el uso de tolvas, mangas o canaletas, ya que no se reduce la calidad del hormigón endurecido.

Experiencias más cercanas publicadas por el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile demostraron –mediante la construcción de muros circulares, vaciando el hormigón en el molde desde 5,5 m de altura– que no existieron problemas de ningún tipo. Con este procedimiento, no hay juntas de hormigonado, por lo que mejora la calidad estructural, funcional (por ejemplo, reducción de filtraciones) y estética del muro. Con esto se concluye que, en la actualidad, es más recomendable emplear encofrados comunes, sin ventanas de llenado a media altura. Además, la velocidad de construcción es más rápida, con el consecuente ahorro en los plazos y en los costos asociados. «

# Soluciones prácticas para la consolidación del hormigón fresco

**Ms. Ing. Maximiliano Segerer**

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

Una de las principales debilidades que tienen los hormigones convencionales es que la calidad final del elemento estructural depende de la mano de obra, especialmente en lo que concierne a la compactación. Hormigones elaborados de excelente calidad, si no son adecuadamente colocados y vibrados en obra, pueden resultar en estructuras defectuosas. La consolidación es la operación que, bien ejecutada, hace llegar el hormigón a su máxima compacidad, llenando perfectamente los encofrados y recubriendo de manera total las armaduras de refuerzo. El método de compactación debe ser escogido en función de distintos factores, entre los que se destacan:

- Consistencia del hormigón fresco (medida por el asentamiento o extendido para HAC).
- Métodos de manipuleo y colocación disponibles.
- Disposición y complejidad de armaduras de refuerzo y sus recubrimientos reales.
- Diseño de encofrados y su accesibilidad para el llenado.
- Tecnologías disponibles en el medio.

De forma genérica, existen tres métodos para consolidar el hormigón fresco:

1. Consolidación manual
2. Compactación mecánica
3. Empleo de hormigones autocompactantes

**Fig. Defectos en caras encofradas (nidos de abeja)**



El no realizar adecuadamente la consolidación puede traer aparejada la formación de varios defectos, entre los que se destacan los conocidos nidos de abeja o avisperos (Figura 1), en los cuales el agregado grueso se segrega y no posee la pasta de cemento que debe recubrirlos. Sin embargo, la formación de estos defectos tan comunes e indeseables en el hormigón también depende de otros parámetros, como tamaño máximo del agregado no compatible con las separaciones y recubrimientos de armaduras, consistencia (asentamiento) del hormigón inadecuado, recubrimiento de armaduras no respetado en obra, incorporación de agua en obra, adición de cantidades excesivas de aditivos o mal diseño de la mezcla del hormigón, entre otros. Por ello, cuando se presentan nidos de abeja, a veces se los confunde con defectos de compactación y ésta puede ser una de las causas, pero no es excluyente. La solución: estudiar todos los parámetros en conjunto para realizar un adecuado pedido del hormigón elaborado y contar con los medios para su adecuada compactación en obra.

Tal como se describirá al final del artículo, debido a que estos defectos siempre son molestos a la vista y en algunos casos traen serios problemas funcionales (filtraciones en cisternas, aspecto estético en hormigones vistos), deben ser reparados.

Por ello, desde hace más de una década se han introducido exitosamente en el país los hormigones autocompactantes, que eliminan el “factor humano” de la colocación del hormigón.

Antes de describir los diferentes métodos de consolidación, cabe destacar que existen contados elementos estructurales que, si bien “en teoría” deben vibrarse, ello no es factible en la práctica (Figura 2). Ejemplos de estos elementos: hormigonado bajo agua, pilotes excavados previamente con altura superior a 5 metros en el caso de pilotes que se llenan al ir retirando la pilotera o en encofrados metálicos de tabiques. La imposibilidad de disponer de equipos de vibrado con largas mangueras, el riesgo de rotura de éstos al retirarlos y la autocompactación que brinda la caída del hormigón de alturas considerables, sumado a las experiencias favorables de obra, han llevado a que en la práctica no sea necesario vibrar o consolidar este tipo de elementos. Esto, bajo la condición de que se empleen hormigones bien cohesivos (no segregables) y con asentamiento óptimo entre 15 y 20 cm, empleando aditivos superfluidificantes.

### 1. Consolidación manual

Respecto de la compactación manual, las mezclas con asentamiento superior a 15 cm pueden consolidarse con varillado o apisonado manual; es decir, insertando repetidamente una barra u otra herramienta similar en el hormigón fresco para compactarlo. Este procedimiento casi no es empleado por ser poco práctico. Para estas mezclas es indispensable el uso de aditivos superfluidificantes. El Reglamento CIRSOC 201:05 establece que debe realizarse con una barra de diámetro de 16 mm con superficie lateral lisa y punta redondeada; su largo será el suficiente para alcanzar a compactar la totalidad del espesor de las capas del hormigón. Una técnica mucho más efectiva referida a la consolidación manual, y muchas veces empleada en hormigones vistos como complemento de la vibración interna, es acompañar con golpes de una maza de madera o martillo con cabeza de goma en los encofrados laterales, sean éstos de madera o metálicos (Figura 3). Con consistencias fluidas y espesores de hasta 30 y 40 cm, si se aplican golpes enérgicos en el encofrado de manera ordenada (por cada capa, de abajo hacia arriba y en todas las caras), sumado a la caída del hormigón, se logran por lo general muy buenos resultados. Esta técnica es empleada para columnas de sección reducida o muy armadas, como también para hormigón arquitectónico.

### F.2 Elementos en los cuales no es factible la consolidación manual o mecánica



### F.3 Compactación manual por golpes en los encofrados



### 2. Compactación mecánica

La vibración interna o externa es el método más empleado para la consolidación del hormigón en la actualidad, y que poco a poco en muchos países se va reemplazando por el empleo de HAC. El principio básico es reducir durante unos segundos la fricción interna entre las partículas que constituyen el hormigón, para que fluya tomando la forma de los encofrados, eliminando las oquedades y recubriendo las armaduras. Al retirar el efecto de la frecuencia de vibrado del hormigón, vuelve a su estado inicial con cierta fricción interna, pero ya ocupando todos los lugares del molde y envolviendo las armaduras. Los métodos más empleados para la consolidación mecánica son vibradores de inmersión, las reglas vibratorias y los vibradores de superficie o de encofrados. Debe recordarse también que un exceso de vibración hará ascender los finos y la lechada de cemento hacia la superficie, y enviará los agregados gruesos hacia abajo, lo que convierte el hormigón en heterogéneo y con distintas características, incluso de resistencia, en diferentes alturas de la »



estructura. Una consolidación excesiva con reglas vibratorias puede traer como consecuencia una superficie más débil y poco resistente al desgaste.

### 2.1. Vibradores de inmersión

Son los más empleados y son aplicables a casi todo tipo de elementos (Figura 4). Consisten en una cabeza vibratoria, conectada a un motor por medio de una manguera flexible; dentro de la cabeza, un peso desbalanceado gira a alta velocidad en órbita circular, transmitiendo vibraciones al hormigón. En tabiques y columnas, deben introducirse verticalmente y penetrar entre 5 y 15 cm la capa inferior del hormigón fresco para asegurar su vinculación, debiendo vibrar toda la masa de hormigón. En losas y pavimentos, el vibrador se debe colocar inclinado u horizontalmente para que toda la cabeza del vibrador quede inmersa. El tiempo y la forma adecuados de vibrado se juzgan básicamente por la experiencia y por el cambio de apariencia superficial del hormigón. Debe vibrarse un tiempo óptimo, ya que:

- si el vibrado es insuficiente, existirán zonas no debidamente consolidadas, o
- si el vibrado es excesivo, se provocará segregación perjudicial del hormigón fresco.

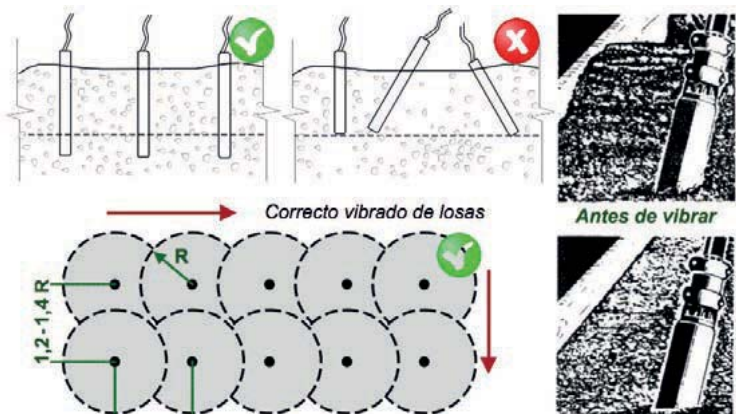
El encargado de vibrar el hormigón debe ser conocedor de la técnica (Figura 5), ordenado y metódico, para que todo el hormigón sea consolidado y para que no existan zonas sin compactar, las que crearán defectos y puntos débiles en los elementos estructurales. Durante el vibrado, debe evitarse el contacto del vibrador con los encofrados y las armaduras, y que no se produzca desplazamiento de éstas de su posición original. En elementos muy congestionados, como nudos de pórticos o en el caso de hormigón visto arquitectónico, es muy recomendable complementar la vibración suave (ya que se emplean hormigones fluidos) con golpes de martillos de goma o mazas de madera en el encofrado, o bien emplear hormigones autocompactantes.

Se presenta a continuación una tabla que aparece en los comentarios del Reglamento CIRSOC 201, que recomienda cómo elegir el vibrador en función de la consistencia del hormigón; además, su diámetro debe permitir su introducción en los encofrados y entre las armaduras fácilmente, sin entrar en contacto con ellos.

F4 Vibradores de inmersión



F5 Recomendaciones generales de uso de vibradores de inmersión



F6 Reglas vibratorias empleadas en pavimentos y losas



T1

Ámbito de consistencia	Diámetro de aguja (mm)	Valores sugeridos			Radio de acción (cm)
		Frecuencia (Hertz)	Fuerza centrífuga (kg)	Amplitud (mm)	
Muy seca	80 a 150	130 a 180	680 a 1.800	0,80 a 1,50	30 a 50
Seca	50 a 90	130 a 200	320 a 900	0,60 a 1,30	18 a 36
Plástica	30 a 60	140 a 210	140 a 400	0,50 a 1,00	13 a 25
Muy plástica	20 a 40	150 a 250	45 a 180	0,40 a 0,80	8 a 15
Fluida	20 a 40	150 a 250	45 a 180	0,40 a 0,80	8 a 15
Muy fluida	20 a 40	150 a 250	45 a 180	0,40 a 0,80	8 a 15

## 2.2. Vibradores de superficie o reglas vibratorias

Son muy empleadas para consolidar pisos, losas y pavimentos de 10 a 20 cm de espesor y proveen una adecuada nivelación y terminación de superficies (Figura 6). Para el buen funcionamiento de las reglas vibrantes convencionales, son recomendables asentamientos de entre 6 y 12 cm. En la actualidad se dispone de reglas vibrantes láser, las cuales realizan la nivelación automáticamente con buena precisión (mediante sensores previamente colocados y programados) y la consolidación del hormigón; son muy versátiles (Figura 7), ya que poseen un rendimiento muy elevado (superficies mayores a 1.500 m<sup>2</sup> en el día). Son muy empleadas para consolidar pisos industriales y pavimentos de 10 a 15 cm de espesor y proveen una adecuada nivelación.

## 2.3. Otros métodos

Existen otros métodos como equipos de compactación de suelos (HCR, hormigón compactado con rodillo), mesas vibratorias (elementos prefabricados) o vibradores de encofrados. Estos últimos son aplicables a elementos estructurales corrientes, pero no son tan empleados en el medio; la consolidación por este método consiste en la transmisión de vibraciones por motores excéntricos adheridos y bien fijados a los encofrados.

## 3. Empleo de hormigones autocompactantes (HAC)

El objetivo de reducir o eliminar los errores involuntarios de vibrado y la incidencia de la mano de

## E7 Reglas vibratorias láser de gran rendimiento para pisos industriales












obra en las estructuras terminadas es una tendencia nueva y creciente, lo cual se logra con éxito mediante el empleo de HAC (hormigón autocompactante). La designación de HAC es algo restrictiva, ya que se pierde la noción de la gran cantidad de ventajas de su aplicación, que no sólo se basan en su facilidad para fluir y la no necesidad de vibrado.

Como todo hormigón elaborado especial, 1 m<sup>3</sup> de HAC es más costoso que 1 m<sup>3</sup> de hormigón elaborado convencional a igual categoría resistente. Sin embargo, el empleo de hormigones convencionales puede ser más costoso que emplear HAC, si se analiza el costo de la obra o elemento estructural. El HAC, como los demás hormigones especiales, presenta una cantidad muy importante de ventajas competitivas si se lo compara con un hormigón convencional. La





























visión de estas ventajas competitivas se comprende si se analiza el HAC como un sistema constructivo y no sólo como un material de construcción. La aceptación del costo unitario adicional del HAC está fuertemente influenciada por los beneficios económicos de emplear el "sistema constructivo HAC". Una calificación cualitativa de estas ventajas competitivas se muestra en las tablas 2 y 3.

Para explotar al máximo sus ventajas competitivas, los hormigones especiales deben ser considerados desde la concepción misma del proyecto; de todas maneras, si no se ha considerado, puede resultar muy valioso su empleo una vez que la obra ha comenzado. Desde el punto de vista constructivo, es fundamental una evaluación económica considerando no sólo el costo del material (m<sup>3</sup> de hormigón) sino también el de las ventajas asociadas a su utilización. Es muy relevante difundir en el medio el uso apropiado de hormigones especiales y cuáles son sus beneficios directos e indirectos, tanto para las diferentes partes involucradas en el diseño, construcción y proveedor de hormigón, como para la estructura. Para finalizar, y existe un consenso generalizado en el medio, los HAC probablemente se constituyan en la tecnología del hormigón del futuro y jugarán un rol protagónico en la industria de la construcción, con lo que el hormigón ganaría aún más confiabilidad como el material más empleado en el país y en el mundo. «

**T.2 Costos directos (cuantitativos)**

1) Costo del m <sup>3</sup> de hormigón	 
2) Tareas de compactación (equipos y mano de obra)	  
3) Tareas de armado (material y mano de obra)	
4) Encofrados (material y mano de obra)	
5) Tareas de desencofrado, protección y curado	
6) Andamiaje y áreas de circulación	 
7) Tareas de "maquillaje" (material y mano de obra)	

**T.3 Costos indirectos (cualitativos)**

8) Dosificación, mezclado y transporte	
9) Especialización de la mano de obra	 
10) Calidad de terminaciones el hormigón visto	  
11) Aumento de productividad y avance de obra	  
12) Disminución global de la mano de obra	 
13) Menor costo financiero de pagos	 
14) Disminución de presiones de bombeo	
15) Incremento de la altura de bombeo para un equipo	 
16) Disminución de defectos involuntarios de vibrado	 
17) Solución al problema de refuerzos congestionados	  
18) Mayor control de calidad de materiales y del hormigón	
19) Mejoras del ambiente de trabajo (ej.: ruidos)	  
20) Disminución de lesiones de espalda y brazo	 
21) Mayor seguridad y prevención de accidentes	  
22) Aseguramiento de un hormigón en obra de calidad	  
23) Menores costos de mantenimiento en la vida útil	 

# Soluciones prácticas para la terminación de superficies de pisos y pavimentos

**Ms. Ing. Maximiliano Segerer**

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

En un artículo publicado en *Hormigonar* sobre defectos en pisos y pavimentos, se estudió cuáles son los síntomas típicos de debilidades superficiales como ampollas, delaminaciones, empolvamiento superficial y fisuración en mapa, y cómo evitarlos. En todos los casos, su presencia disminuye la serviciabilidad, la estética, la funcionalidad, la vida útil y/o la resistencia al desgaste del pavimento, entre otros; por lo que deben tomarse las medidas necesarias para prevenirlas, las cuales no son complejas, pero sí muchas veces olvidadas. Los defectos superficiales en pisos y pavimentos están condicionados principalmente por los siguientes parámetros:

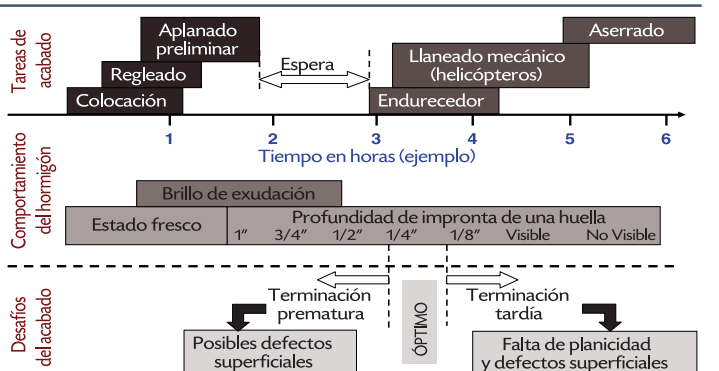
- Tareas de terminación superficial: una terminación prematura con el hormigón aún exudando, o empleando técnicas inadecuadas, provocará seguramente debilidades superficiales.
- Exudación del hormigón fresco: una excesiva exudación de agua en la cara expuesta del piso suele traer aparejados ciertos problemas, siendo fundamental su estudio desde la dosificación misma del hormigón, como por ejemplo minimizando la cantidad de agua de mezclado.
- Condiciones ambientales: las condiciones del ambiente durante la colocación y algunas

horas siguientes influyen de manera determinante la calidad final de las superficies y su posterior resistencia al desgaste.

Para reducir la probabilidad de defectos, las tareas de terminación superficial deben realizarse dentro de la llamada "ventana de acabado" que se esquematiza en la Figura 1.

- Todas las tareas de manipuleo, colocación, vibrado, regleado y fratachado deben ser realizadas lo más rápido posible antes de que el hormigón comience a exudar, para evitar incorporar el agua de exudación a la superficie.
- Las tareas de espolvoreo final de endurecedores y llaneado mecánico o manual deben ser postergadas lo más posible, sin que ello implique el riesgo de no obtener buenas terminaciones superficiales.

F.1 Ventana de acabado y ejemplo de tiempos recomendados para diferentes tareas



### 1. Tareas generales de nivelación y terminación de superficies

- Nivelación o enrasado: es el primer proceso por el cual se elimina el hormigón en exceso por encima de un nivel fijo y se rellenan eventuales oquedades. Su objetivo es que las losas queden al nivel deseado. Si se realiza manualmente, la herramienta empleada es la regla y se mueve como un aserrado (Figura 2). Mecánicamente, cuando se utilizan reglas vibratorias o láser, sirven también para la tarea de enrasado. Estas reglas, además, consolidan el hormigón, siendo muy empleadas para pisos industriales y pavimentos.
- Aplanado o fratachado preliminar: se emplean herramientas especiales o fratachos de madera o magnesio (Figura 3), siendo los últimos los más recomendados; inmediatamente después del enrasado. El aplanado preliminar debe concluir antes de que comience la exudación visible en la cara superior del hormigón.
- Bordeado: en algunos casos se requiere bordeado a lo largo del perímetro del encofrado y de las juntas de construcción. Se densifica el hormigón cerca del encofrado, donde el alisado es menos efectivo, aumentando su durabilidad y disminuyendo su vulnerabilidad al descascaramiento.
- Emparejado o alisado definitivo: en algunos casos en los que se requiere gran lisura, se realiza un emparejado o alisado que se lleva a cabo con llanas. Estas tareas siempre se realizan una vez que ha desaparecido el agua de exudación y cuando el operario casi no deja huellas.
- Texturado: es la última tarea en pisos y pavimentos donde se desea brindarle alguna textura para evitar el resbalamiento o aumentar la fricción. En paseos peatonales suele realizarse con herramientas manuales, mientras que en pavimentos lo más empleado es la tela de arpillerera (Figura 4).

### 2. Recomendaciones para pisos llaneados

En el caso de pisos industriales, suelen emplearse en esta etapa llaneadoras mecánicas denominadas helicópteros. Se logra una excelente

F.2 Nivelación o enrasado



F.3 Aplanado o fratachado preliminar



F.4 Texturado de pavimentos



terminación y lisura y generalmente se emplean acompañadas de endurecedores superficiales (Figura 5). Para lograr una superficie uniforme, debe procurarse que no existan diferenciales de evaporación de agua superficial del hormigón en zonas expuestas a corrientes de aire (galerías, aberturas, portones) o la insolación y zonas de sol y sombra; como así también cuidar el manejo de aditivos para que no existan retrasos de fragüe en algunos sectores.

En la bibliografía figura la regla práctica de que el piso debe terminarse superficialmente con llana cuando una huella de una persona sobre el hormigón deja una marca de profundidad de entre 6 y 3 mm. Una profundidad mayor a 6 mm indica

## F.5 Aplicación de endurecedores y llaneado



que se sellará prematuramente la superficie, pudiendo aparecer las debilidades ya estudiadas. Una profundidad menor a 3 mm dificulta llegar a la planicidad requerida, o también defectos superficiales. La regla práctica de esperar a que no sea apreciable el brillo superficial del agua de exudación puede no ser correcta, porque debido a condiciones atmosféricas adversas puede parecer que el hormigón ha terminado de exudar, pero es un fenómeno sólo superficial y continúa exudando, y al sellar su superficie prematuramente pueden aparecer defectos en el hormigón endurecido, tales como ampollas.

En el primer alisado deben mantenerse las hojas de la llana horizontales para evitar ondulaciones, el arrastre de mortero o la formación de “cáscaras” debido a la compactación prematura. En las siguientes, a medida que la superficie se endurezca se deben inclinar las hojas gradualmente para obtener una terminación apropiada y, de ser posible, emplear hojas más pequeñas para incrementar la presión. La elección dependerá de la aplicación, mejorando en todos los casos la resistencia a la abrasión e impacto, mayor impermeabilidad, mejora estética y reflectividad, mejora de higiene y salubridad, incremento de la durabilidad y disminución de costos de mantenimiento. Las cantidades a aplicar dependen del producto y de las características del piso, oscilando entre 5 y 10 kg/m<sup>2</sup>, debiendo consultar las especificaciones del fabricante. Existen básicamente dos grandes grupos:

- Endurecedores minerales: mejoran aproximadamente dos veces la resistencia a la abrasión de un hormigón convencional y están compuestos por agregados no

metálicos (por lo general, cuarcíticos), los cuales se mezclan a veces con cemento y se van aplicando manual o mecánicamente en la superficie.

- Endurecedores metálicos: mejoran 6 a 8 veces la resistencia a la abrasión y están compuestos por óxidos metálicos con aglomerantes (cemento y adiciones) de alta resistencia y aditivos en polvo. Al emplear sólo óxidos (por ejemplo, ferrite), se mezclarán en seco con cemento antes de aplicarlos.

Se aplican sólo superficialmente en el hormigón, en un tiempo estratégico dentro de la “ventana de acabado”, debiendo aplicarle luego un llaneado mecánico enérgico mediante los denominados “helicópteros”. Deben seguirse las instrucciones del fabricante para su dosificación y aplicación, pudiendo:

**1)** Aplicarlos en dos partes: inmediatamente después de las tareas de fratachado se coloca la mitad (pisos normales) o la tercera parte de la cantidad especificada (pisos de elevado tránsito) y luego se pasa nuevamente el fratacho sobre la superficie; sin que nunca exista agua de exudación. Luego, cuando ésta desaparece totalmente, se aplica la mitad o las dos terceras partes restantes y se realiza el llaneado mecánico.

**2)** Aplicar toda la cantidad al final: cuando haya concluido ya la exudación y la huella de un operario deja una impronta de entre 1/4” y 1/8”, se aplica todo el endurecedor superficial e inmediatamente se llanea de manera mecánica. Rara vez los constructores de pisos en nuestro país emplean esta segunda alternativa.

Con respecto al curado, es mejor usar membranas de base acuosa una vez endurecida la capa y terminadas todas las tareas, y no láminas plásticas o curado por inundación, que pueden decolorar la superficie.

### 3. Técnicas constructivas para reducir defectos superficiales

- No acabar prematuramente el hormigón, ya que puede sellarse la capa de lechada superficial o debilitar la superficie debido a la terminación cuando aún existe agua de exudación en la superficie.

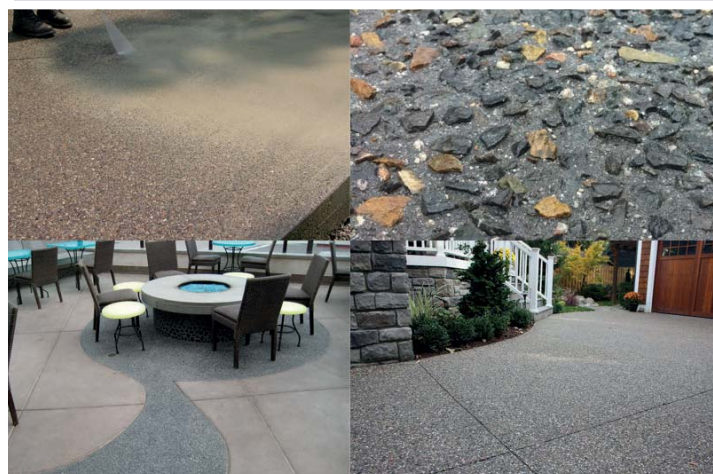
»

- No sobretrabajar el hormigón, ya que puede promoverse la aparición de una capa superficial “ajena” al hormigón y más débil, resultando en delaminaciones.
- Nunca espolvorear cemento sobre las superficies de hormigón fresco, ya que sella superficialmente la capa y genera una superficie de mucha mayor contracción por secado que el interior del hormigón.
- Nunca “rociar” con agua la superficie del hormigón para facilitar el trabajo de acabado, ya que seguramente el piso presentará alguna debilidad. En caso de ser muy difícil terminar superficialmente estos elementos, es debido a un inadecuado asentamiento, terminación fuera de los tiempos estipulados en la “ventana de acabado” o no se poseen herramientas adecuadas.
- No espolvorear prematuramente los endurecedores superficiales (toda la cantidad), y nunca cuando el hormigón continúe exudando. En varios casos, los fabricantes especifican espolvorear en dos partes: una después del fratachado y la otra cuando ha terminado la exudación, pero nunca toda la cantidad al inicio.
- Vibrar adecuadamente el hormigón, ya que el vibrado excesivo puede generar una capa de lechada superficial que provoque futuros defectos.
- Realizar las tareas de colado, vibrado, regleado, fratachado lo más rápido posible para que, cuando comience a exudar el hormigón, nunca se trabaje el hormigón hasta que se evapore el agua de exudación, no incorporándola a la capa superficial del piso o pavimento.
- Realizar adecuadamente todas las tareas de protección y curado, teniendo en cuenta si el piso será o no llaneado mecánicamente. Para el caso de pavimentos no llaneados, se recomiendan membranas solventadas.
- Evitar la súbita evaporación del agua de exudación, ya que opaca rápidamente la superficie mientras el hormigón en el interior continúa exudando.
- Ventilar los espacios cerrados, ya que el contacto del aire muy cargado en dióxido de carbono con la superficie de hormigón en sus primeros días puede provocar el empolvamiento superficial.
- Minimizar los gradientes de temperatura entre la base o encofrado y el hormigón fresco. En condiciones de tiempo frío, es recomendable calentar la base antes de colocar el hormigón.
- No es recomendable emplear endurecedores superficiales en hormigones con aire incorporado (mayor al 3%) o pisos que estarán sujetos a ciclos de congelación.

#### 4. Terminaciones especiales con finalidades estéticas

- Agregado expuesto mediante hidrolavado: consiste en la aplicación de un producto auxiliar químico que retarda fuertemente el fragüe del hormigón de los primeros milímetros superficiales. Al día siguiente, cuando el hormigón inferior ya ha finalizado su fragüe, se realiza un hidrolavado enérgico de la superficie retirando el producto químico y la capa superior de mortero, dejando el agregado expuesto, pero unido firmemente al hormigón de la base. La textura final dependerá del tipo y cantidad de aditivo químico rociado y principalmente de la granulometría y tipos de agregados. Se emplea mucho en veredas y accesos peatonales (Figura 6). »

F.6 Hormigón con agregado expuesto



- **Hormigón estampado:** es una técnica muy empleada en el mundo desde hace décadas y cada vez más en nuestro país (Figura 7). Consiste en hormigonar normalmente un piso, trabajando con juntas con espaciamientos adecuados y aplicando productos desmoldantes especiales en la superficie. A continuación, se “estampan” las formas mediante moldes de goma con diferentes patrones que se van uniendo y repitiendo en toda la superficie. El estampado debe realizarse en el momento indicado, para lograr el “relieve” y diseño esperado y no muy pronto para no causar defectos superficiales.
- **Lithocrete:** se trata de una patente comercial de un sistema en el cual, mediante la incorporación de agregados especiales y piezas metálicas de baja dureza, pueden obtenerse texturas únicas a partir de un correcto pulido (Figura 8).

### 5. Recubrimientos especiales para necesidades funcionales

Cada vez se demandan más los revestimientos especiales, principalmente por condiciones de mejora de la durabilidad, funcionalidad y estética de pisos industriales. Si bien existen numerosos productos y una gran variedad de marcas comerciales, los más empleados actualmente son los de base epoxi, acrílicos y poliuretánicos (Figura 9). En todos los casos es indispensable una adecuada preparación de superficies con escarificación o pulido, además de una intensa limpieza. Nunca debe existir agua antes de aplicarlos y después, seguido de ciertas imprimaciones, se van aplicando con herramientas manuales, tratándose muchas veces de productos autonivelantes. De forma genérica se pueden enumerar entre las principales ventajas:

- Mejora notoria de la higiene, asepsia y facilidad de limpieza.
- Gran planicidad y lisura final, mejorando la funcionalidad del piso.
- Elimina y penetra fisuras si son adecuadamente colocados.
- Realza el valor estético con amplia variedad de terminaciones y colores.

F.7 **Hormigón estampado**



F.8 **Pavimentos con el sistema Lithocrete**



- Mejora la durabilidad y resiste ataques ácidos y otras sustancias corrosivas y ataques químicos.
- Mejora notablemente la resistencia al impacto y al desgaste.

De los tres grupos antes citados, pueden mencionarse particularmente:

- **Acrílicos:** excelente resistencia al agua, rayos UV y alta resistencia a variaciones de temperatura, presentando menores resistencias mecánicas, químicas y de adhesión que otros sistemas. Pueden habilitarse en cuatro horas desde su aplicación.
- **Epoxídicos:** excelente adhesión a los sustratos y mejores propiedades mecánicas y resistencia química que los otros grupos. Sus



propiedades son muy variables y dependen de los polímeros que lo componen. Son los de mayor aplicación actualmente y los mejores cuando se requiere inocuidad alimentaria.

- Poliuretánicos: muy buena resistencia química (ácidos y álcalis), adhesividad moderada, buena flexibilidad y contracción nula. Pueden habilitarse rápidamente y tienen excelente resistencia a la abrasión y al impacto. Son los más resistentes a la exposición del agua, alta humedad relativa, temperaturas extremas y ataques biológicos como hongos. Generalmente son más costosos que los revestimientos epoxídicos.

Entre las aplicaciones de estos revestimientos especiales, se encuentran plantas procesadoras de alimentos, hospitales, plantas de ensamblado de automotrices, grandes cocinas, quirófanos, cisternas, clínicas, laboratorios, cámaras de refrigeración, plantas de purificación, pisos industriales de alto tránsito, talleres, bodegas, etc. «

F.9

### Recubrimientos epoxídicos y poliuretánicos



# Soluciones prácticas para la protección y curado del hormigón

**Ms. Ing. Maximiliano Segerer**

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

Las tareas de protección y curado lamentablemente son olvidadas y subestimadas en una gran cantidad de obras, lo cual trae consecuencias muy relevantes en lo que concierne a la durabilidad futura de la obra y a su seguridad y aptitud. Muchas veces se cree que el curado del hormigón “sólo consiste en aportarle agua” y que sirve para darle un plus al hormigón o “mejorar sus propiedades”. Además, existe un desconocimiento sobre el término “protección del hormigón”, que en muchos casos se confunde con el curado. El período de protección del hormigón fresco es aquel anterior o simultáneo al período de curado, tal como se define a continuación:

- **Protección del hormigón:** brindarle condiciones propicias durante la colocación y sus primeras horas. Fundamentalmente debe procurarse evitar una pérdida de *performance* del hormigón, antes y durante su fragüe, que se verá traducida luego en defectos en el hormigón endurecido; evitar las condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa, lluvia, viento, nieve, congelación) y ciertas acciones (sobrecargas, movimientos de encofrados, fuego, vibraciones, sustancias agresivas, agua en movimiento) que puedan llegar a fisurar o degradar el hormigón o alterar el normal desarrollo de las reacciones de hidratación.
- **Curado del hormigón:** brindar al hormigón de las estructuras condiciones adecuadas de humedad (evitar toda pérdida de agua del hormigón) y temperatura, para que se desarrollen normalmente las reacciones de hidratación al hormigón endurecido durante cierto período y que el hormigón de la estructura alcance la *performance* (resistencia, durabilidad, resistencia al desgaste,

etc.) requerida en el proyecto. El curado se debe realizar en todas las estructuras, con independencia de la clase de hormigón y el tipo de obra.

## 1. Protección del hormigón en sus primeras horas

Inmediatamente después de su colocación, el hormigón debe ser protegido, durante el período en el que permanece en estado plástico y en sus edades tempranas, contra las acciones que pudieran agredirlo. Las protecciones que al efecto se materialicen deben permanecer hasta tanto el hormigón adquiera la resistencia suficiente, para no ser afectado por esas agresiones. El hormigón debe ser especialmente protegido de los efectos que a continuación se detallan, pudiendo –de lo contrario– aparecer defectos en el hormigón (Figura 1).

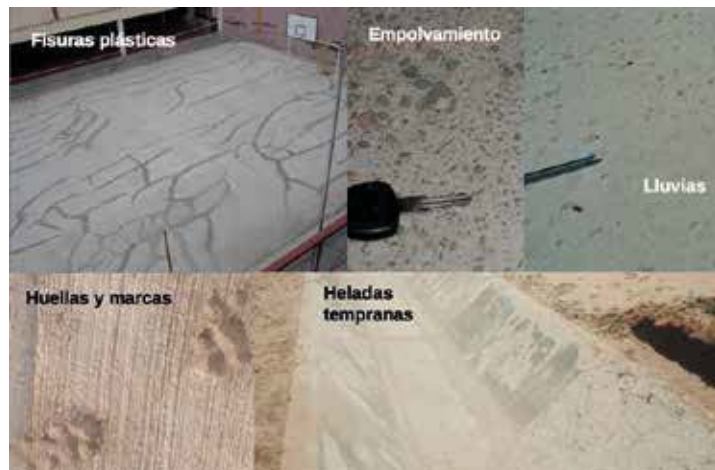
- **Secado prematuro por la acción del sol, baja humedad relativa y del viento:** en el caso de estructuras con grandes superficies no encofradas y expuestas, como losas, pisos y pavimentos. Las medidas de protección a aplicar son las que se describieron en “Hormigonado en tiempo caluroso”; entre ellas, crear una niebla de agua sobre la losa inmediatamente después de la colocación y antes del acabado y curado, aplicar películas para retener la humedad, como membranas en base solventada, o proteger el hormigón con láminas de polietileno cuando no interese el acabado superficial. Asimismo, pueden tomarse medidas para que efectos climáticos como viento y asoleamiento no sequen prematuramente la superficie, mediante toldos, cortavientos u otros métodos.
- **Secado prematuro por acción de la circulación del aire:** particularmente en túneles, conductos, galerías y estructuras similares, donde debe evitarse la circulación de aire por su interior, manteniéndolos cerrados durante el mayor tiempo posible.

- Contacto directo con lluvia y/o nieve: ciertas lluvias muy finas suelen no perjudicar los elementos de hormigón en general ni los encofrados, como tabiques y columnas. Si hay lluvias de mayor intensidad, en el caso de losas o pisos es recomendable contar con cubiertas plásticas para prevenir el lavado de la capa superficial, que será la que resistirá el desgaste (por ejemplo, en pavimentos).
- Aguas, líquidos, suelos o sustancias agresivas para el hormigón que puedan existir en el lugar de emplazamiento de la estructura: los fluidos se deberán conducir momentáneamente hasta que concluya el período de curado y que el hormigón posea la resistencia y compacidad necesarias para no ser atacado.
- Acciones mecánicas, oscilaciones, vibraciones o sobrecargas: deberán ser evitadas hasta lograr la resistencia requerida. Ejemplos de ello son la habilitación muy temprana de pisos y pavimentos o la remoción antes de tiempo de puntales en elementos sometidos a flexión.
- Acción de temperaturas extremas: tal como se analizó en los números pasados de *Hormigonar*, en los artículos relacionados con “Hormigonado en tiempo caluroso” y “Hormigonado en tiempo frío”, el aspecto más relevante es proteger el hormigón de temperaturas de congelación durante las primeras 48-72 horas.
- Acción de transeúntes, vehículos, animales, escrituras sobre el hormigón y otras similares: se debe señalar el área para reducir la probabilidad de ocurrencia mediante un vallado, al menos durante el primer día.

## 2. Métodos de curado convencionales

El curado se debe iniciar tan pronto el hormigón haya endurecido lo suficiente como para que su superficie no resulte afectada por el método de curado elegido. Cuando el hormigonado se realice en condiciones medioambientales que puedan afectar el hormigón, éste deberá ser convenientemente protegido hasta que se inicie el curado. Por ello, existen algunos casos en los cuales el método de protección aplicado en estado fresco también actúa como medio de curado, como ser las membranas de curado en base solventada y

Fig. Defectos asociados a una pobre protección en sus primeras horas



las láminas plásticas. Ambos métodos son, quizás, los más versátiles en la actualidad, y bien aplicados previenen adecuadamente la pérdida de humedad en estado fresco y estado endurecido. Sin embargo, no previenen de la pérdida de temperatura en condiciones de tiempo frío. La temática de la protección del hormigón contra las bajas temperaturas fue abordada con varios ejemplos en el número anterior de *Hormigonar*.

Existe una gran cantidad de métodos de curado para evitar la pérdida de humedad, los cuales a veces se combinan; pero si son aplicados adecuadamente, con uno de ellos es suficiente. Debido al carácter tradicionalista de los constructores y, en algunos casos, de pliegos de especificaciones, en muchas circunstancias se aplica el curado con agua con el perímetro de bordos o diques. Desde el punto de vista teórico, el curado con agua es efectivo, pero desde los puntos de vista práctico, económico y ambiental, no lo es. Requiere una cantidad considerable de mano de obra y supervisión durante un tiempo próximo a una semana (que muchas veces no se cumple); a veces se emplea agua de calidad dudosa que puede traer defectos en el hormigón y desde el punto de vista ambiental se consumen recursos, como agua potable, que serían más útiles para otros fines.

Podemos citar un ejemplo muy habitual: el caso de las viviendas o losas convencionales, que casi con exclusividad son curadas por inundación. Cabe preguntarse: ¿los fines de semana y feriados se continúa el curado? ¿No existen fisuras que puedan filtrar agua a la parte inferior de la losa y aumentar las molestas eflorescencias? ¿El agua ha sido ensayada previamente? Si es agua potable, ¿no podría ser aprovechada con una finalidad mejor? Con todo »

ello, ¿por qué no curar con láminas plásticas reutilizables? Otro ejemplo que aún se observa es el curado de pavimentos con agua, que incrementa los recursos económicos a utilizar; la arena de los bordos dificulta la limpieza posterior del pavimento y ensucia las juntas, complicando las tareas posteriores; si se desea hormigonar carriles adyacentes a otros que están siendo curados con agua, no se podrán apoyar las reglas vibratorias e incomodarán notoriamente las técnicas constructivas. Como un último ejemplo, es sabido que el curado se realiza sobre las caras expuestas de los elementos de hormigón y éstas serán las que estén en contacto con ambientes agresivos y en una zona próxima a las armaduras (recubrimiento). Con lo cual, si se emplea agua no apta, ello puede dañar el hormigón en sus primeros días (debido a que es el momento que se presenta como más permeable) e impedir que alcance su vida útil. Esto no ocurre con los otros métodos de curado, ya que no ingresan al hormigón y son no invasivos. Por lo expuesto, si bien no niega que el curado con agua sea efectivo técnicamente, en la mayoría de los casos no es el más conveniente.

**2.1. Encharcamiento o inmersión:** consiste en formar bordos o diques de arena, y entre ellos inundar el área periódicamente (Figura 2), para que nunca quede la superficie sin humedad superficial, en un lapso acorde con lo que se indicará más adelante. El agua empleada debe cumplir con los requisitos de IRAM 1601. Este método no impide que el hormigón se fisure en estado fresco, debido a que en general se aplica cuando el hormigón “puede pisarse”, es decir, ya finalizado el estado fresco y cuando las fisuras pueden haber aparecido. En ciertas estructuras masivas, es indispensable el curado por inundación durante un período prolongado, para que actúe como “amortiguador” de temperaturas entre el núcleo de las piezas masivas y la temperatura ambiente, reduciendo así el riesgo de fisuración por contracción térmica.

**2.2. Rociado o aspersión:** este método es similar al estudiado para la protección del hormigón en tiempo caluroso y consiste en pulverizar agua sobre las superficies. No existe una regla fija para determinar el número de riegos de elementos en el día, pero la superficie debe presentarse visualmente “más que húmeda”. Es un método efectivo (escala de horas) para protección, pero demanda mucha mano de obra especializada para el período de curado (escala de días).

**2.3. Riegos con agua:** es uno de los métodos más empleados y poco eficaces si no existen controles

### E2 Curado por inundación en pavimentos y problemas asociados



### E3 Láminas plásticas para el curado del hormigón



periódicos. Los riegos deberían espaciarse para que la superficie de hormigón siempre se aprecie como húmeda.

**2.4. Coberturas húmedas:** consiste en emplear cubiertas saturadas de agua, como la arpillera, la que debe ser enjuagada y saturada antes de la aplicación. Se deben aplicar cuando el hormigón ya no es erosionable. Se utilizan en todo tipo de elementos, que deben ser cubiertos por completo. Pueden decolorar las superficies.

**2.5. Papeles impermeables:** consisten en papeles o cartones comerciales de varias hojas, cementadas por material bituminoso reforzado con fibras como el papel kraft. En general, se lo humedece una vez y no necesita riegos periódicos. Son preferibles los colores claros para clima caluroso.

**2.6. Láminas plásticas:** las láminas de polietileno cada vez son más empleadas por su versatilidad, siendo un método muy efectivo de curado

(Figura 3). Es necesario aclarar que no protegen de las bajas temperaturas. Tienen peso reducido y se pueden adaptar a cualquier forma. Deben cubrir la totalidad del elemento y complementarse con riegos para columnas y tabiques; también deben ser aplicadas cuando no marquen el hormigón y procurar que no se circule sobre ellas para no dañarlas. No son recomendadas en pisos con terminaciones especiales, ya que pueden decolorar o formar el denominado “efecto invernadero” por condensaciones entre el plástico y la superficie llaneada. Deben solaparse al menos 40 cm y el espesor de las láminas debe ser de al menos 100 cm. Debe preverse que no se levanten con el viento, ya que éste deseca rápidamente la superficie del hormigón. Para sumar la protección de bajas temperaturas, puede usarse el “pluribol” (polietileno con burbujas para embalajes). Además, cabe destacar que es uno de los pocos métodos de curado reutilizables.

**2.7. Encofrados dejados en el lugar:** los encofrados dejados en su posición ofrecen una buena protección contra la pérdida de humedad, principalmente en tiempo caluroso. Las caras en los encofrados deben mantenerse húmedas, mediante riegos o rociado. Al desencofrar, si no se ha cumplido la edad indicada de períodos mínimos de curado, debe continuarse el curado con algún otro método descrito.

**2.8. Membranas de curado:** actualmente es uno de los métodos más empleados, pero en muchos casos no se tienen los cuidados requeridos para lograr su máxima efectividad. Su objeto es formar una membrana adherida a la superficie del hormigón y así impedir la pérdida de humedad (no protege de bajas temperaturas, ya que es tan pequeño su espesor que no puede ser aislante). Es un método práctico, que necesita poca mano de obra (aunque capacitada). No son aplicables los tiempos indicados de períodos mínimos de curado, ya que con la correcta aplicación impide la pérdida de humedad durante varias semanas (Figura 4). Respecto al momento de aplicación de las membranas de curado:

- › En pavimentos, debe ser inmediatamente después de texturada la superficie, sin que exista una cantidad considerable de agua de exudación en superficie, pero antes de que se opaque (pérdida de brillo superficial).
- › En pisos industriales, después de concluir el llaneado mecánico.

F4 Adecuada aplicación de membranas de curado



F5 Incorrecta aplicación de membranas de curado



- › En tabiques, columnas y vigas, inmediatamente al desencofrar.

Nunca deben diluirse y se colocan mediante dispositivos apropiados que formen una película continua sobre el hormigón, debiendo destapar los picos de aplicación permanentemente; de lo contrario, las membranas no serán eficientes para retener el agua dentro del hormigón (Figura 5). No es recomendable su aplicación para elementos que luego recibirán algún revestimiento o tratamiento superficial, ya que deberá eliminarse mediante cepillado o arenado antes de aplicar el revestimiento. Conceptualmente, existen dos tipos de membranas químicas:

- › Membranas en base acuosa: son aplicables cuando el hormigón ya se encuentra endurecido (pisos industriales, columnas, tabiques). Su dosis recomendada es de unos 0,2 l/m<sup>2</sup>. Si bien son más económicas y tienen »

una gran cantidad de aplicaciones, en algunos casos son indispensables las membranas en base solventada; si existen condiciones de rápida evaporación de agua (viento, baja humedad y/o elevada temperatura), la membrana no podrá formarse de manera continua, debido a que el agua que constituye su base también se evaporará, perdiendo su efectividad.

- › Membranas en base solventada: son indispensables para pavimentos, y más aún cuando existen condiciones de tiempo caluroso, ya que además brinda protección al hormigón fresco. Su aplicación debe ser rápida y adecuada, pudiendo optar por pulverizadores tipo fumigadores, ya que con las mochilas convencionales suelen taparse los picos, ser muy lentos y hacer ineficaz la doble finalidad de la membrana solventada: protección y curado. Su dosis media es del orden de 0,1 l/m<sup>2</sup>. Si bien son más costosas, el consumo es cercano a la mitad que en el caso de membranas en base acuosa.

### 3. Períodos de curado para métodos convencionales

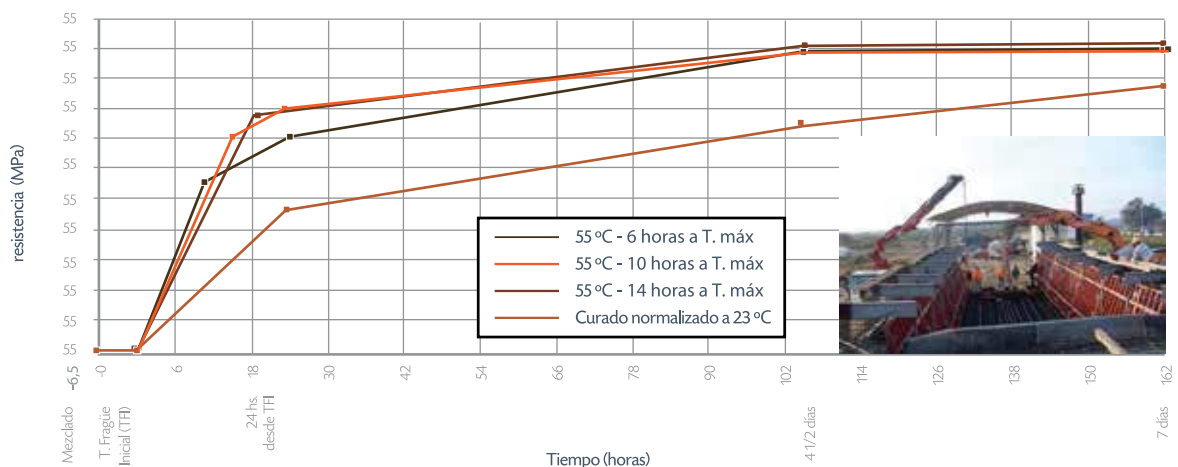
Como se mencionó en la definición, el concepto de curado involucra dos parámetros fundamentales: humedad y temperatura. Las primeras 48 a 72 horas, el hormigón generalmente se presenta con resistencias mecánicas bajas, aspecto que

está condicionado directamente por la porosidad de la pasta cementicia. Es decir, los procesos de hidratación y endurecimiento son progresivos y van disminuyendo la porosidad con el tiempo, incrementando así la resistencia y durabilidad (reducción de la permeabilidad). Las formas para evitar la pérdida de humedad fueron estudiadas anteriormente, mientras que las prácticas corrientes para lograr temperaturas adecuadas para el desarrollo de las reacciones de hidratación se abordaron en el artículo "Hormigonado en tiempo frío".

Durante el período mínimo de curado, deben mantenerse las condiciones de humedad adecuadas; se considera suficiente cuando el hormigón de obra alcanza el 70% de la resistencia especificada. El tiempo mínimo de curado dependerá del material cementicio empleado, las proporciones de la mezcla, el tamaño y la forma de los elementos, la temperatura media ambiente y el sitio de exposición futuro (diseño por durabilidad). Los períodos varían entre tres días, para hormigones con cementos ARI, hasta algunas semanas, para estructuras masivas, como presas o plateas de fundación. Es muy relevante que el curado sea continuo, debiéndose tomar todas las medidas necesarias para que no se suspenda el curado en días feriados o no laborables.

Para los cementos más empleados en nuestro país –que son de categoría CP 40–, el período de curado reglamentario es de ocho días, excepto para ambientes no agresivos de exposición, en los que podría reducirse a cinco días. Para el caso de cemento CP 30, hay que sumar tres días a los valores indicados anteriormente, y para cementos CP 50, los períodos son de dos días menos que para CP 40.

F.6 Curado por inundación en pavimentos y problemas asociados



Se deben computar como días válidos de curado aquellos en los que la temperatura media del aire en contacto con la estructura sea igual o mayor que 10 °C. Para condiciones de tiempo frío, se debe computar un día de curado por cada dos días en que la temperatura media esté entre 5 y 10 °C, debido a que se retrasa la velocidad de endurecimiento. Para temperaturas menores a 5 °C, las velocidades de las reacciones de hidratación disminuyen, con lo cual debe extenderse el período de protección para brindar temperaturas mayores en el ambiente que rodea la estructura.

#### 4. Curado acelerado

En los casos en que deben obtenerse resistencias muy elevadas a edades tempranas (menores a 48 horas), se aplican ciclos de curado acelerado con vapor de agua de forma controlada. Se pueden lograr resistencias del 65% al 75% a las 24 horas en estructuras, resistencias logradas en condiciones normales a los cinco o siete días (Figura 6). Para asegurar el método, es muy importante el control y registro estricto y continuo de humedad relativa y temperatura en las inmediaciones de los elementos. Además, es indispensable realizar ensayos de laboratorio antes de comenzar una línea de producción con curado acelerado para poder optimizar el ciclo, tanto en duración de etapas como en temperatura máxima a alcanzar. Es recomendable limitar esta última a 65 o 70 °C como máximo, por potenciales problemas de ataque interno de sulfatos (formación de etringita diferida) que, junto con otros factores en

forma simultánea, pueden traer serias consecuencias a las estructuras. De manera conceptual, es posible indicar cinco etapas relevantes en los ciclos de curado acelerados:

- › 1° etapa de espera: hasta iniciar el fragüe (3 a 6 horas) a temperatura no menor a 15 °C.
- › 2° etapa de calentamiento: con gradientes de ascenso entre 10 y 30 °C/hora.
- › 3° etapa o plafón a temperatura máxima: entre 50 y 70 °C de 5 a 10 horas, definido por ensayos.
- › 4° etapa de enfriamiento: con gradientes de descenso entre 10 y 30 °C/hora.
- › 5° etapa de curado complementario: se efectúa curado húmedo a temperatura ambiente al menos 3 días.

La aplicación de vapor de agua sin controles de temperatura o tiempo ni ensayos previos de caracterización puede aparejar consecuencias indeseables en las estructuras, o directamente que no sean efectivas y cometer errores al aplicar tensiones tempranas a una estructura que no haya alcanzado el grado de endurecimiento deseado. Es decir, no sólo basta con tener una caldera y una carpa para proteger la estructura, sino que debe haber planificación y control de manera continua. Si bien son métodos casi exclusivos para grandes obras o plantas de premoldeados, pueden ser aplicables a obras convencionales si se evalúan económicamente y aumentan la productividad y/o la rápida habilitación de estructuras. «

# Soluciones prácticas para el tratamiento de juntas constructivas

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

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

No sólo el tratamiento de juntas constructivas suele ser un tema controvertido en las obras, sino además qué consideramos junta constructiva. En primer lugar, cabe definir como junta de trabajo, constructiva o también llamada "junta fría" a aquellas superficies en las cuales se pone en contacto un hormigón fresco con uno que ya inició el fragüe, generalmente en días diferentes de colado. Por ello, las juntas constructivas son inevitables en las obras y es recomendable que estén indicadas en los planos de proyecto, donde el diseñador estructural considere más conveniente; también es muy útil especificar qué tratamiento previo hay que darles a éstas antes de recibir un nuevo hormigón. Hormigonado de grandes losas, columnas y tabiques de diferentes niveles, distintas jornadas en pisos industriales son ejemplos en los que aparecen estas juntas constructivas en todas las obras. Su origen es la secuencia de hormigonado propia de cada obra, la disponibilidad de encofrados, las alturas de llenado acotadas y la capacidad en obra para recibir y descargar determinado volumen de hormigón elaborado en una misma jornada. No obstante, muchas veces pueden aparecer imprevistos en obra, como lluvias, accidentes, desperfectos en los encofrados, roturas de plantas o equipos del proveedor de hormigón, que lleven a detener los trabajos fuera de las zonas indicadas en planos de obra. Estas situaciones deberán ser valoradas en cada caso particular.

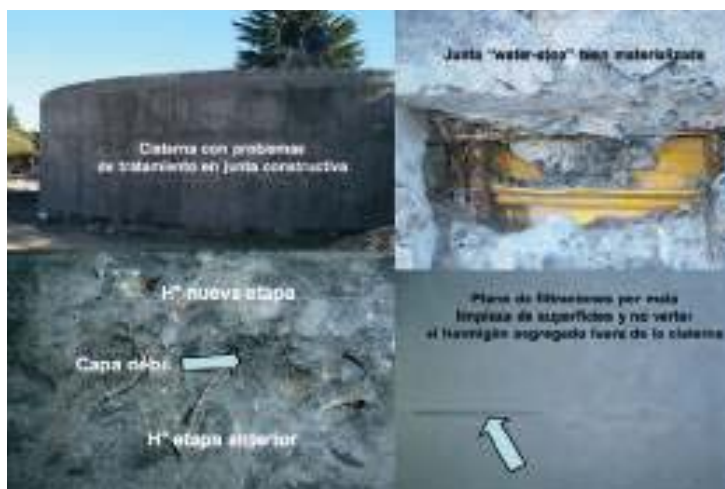
En muchos casos, se piensa erróneamente que las juntas de trabajo aparecen cuando existe una demora de más de 60 ó 90 minutos entre un camión y otro. Tal como ha sido publicado en artículos anteriores de *Hormigonar*, como "Tiempo inicial de fragüe y su aplicación en obra", el inicio de fragüe de los hormigones convencionales es muy superior a estos tiempos y debe determinarse para cada caso en particular según Norma IRAM 1662. Sólo a título de referencia, pueden tomarse los siguientes valores de forma preliminar:

- Tiempo muy caluroso: entre 2 y 4 horas
- Tiempo caluroso: entre 3 y 5 horas
- Tiempo normal: entre 4 y 8 horas

De lo anterior resulta que si en la misma jornada un hormigón se vierte sobre otro que no ha iniciado su fragüe (tiempos arriba ejemplificados), no existirá una "junta fría" ni tampoco dudas u objeciones sobre el comportamiento estructural. Sin embargo, existen ciertos casos en los cuales, aunque se trabaje dentro de los tiempos recomendados y no exista daño estructural, estas demoras pueden acarrear problemas funcionales. Pisos y pavimentos: demoras en la logística del proveedor pueden traer como consecuencia fisuras entre ambos viajes, que podrán ser superficiales o penetrar la totalidad del espesor. Estructuras de conducción o contención de agua: pueden existir filtraciones en correspondencia con coladas de viajes diferentes por demoras prolongadas, lo cual afecta la funcionalidad de la obra (Figura 1). »

## Problema funcional en cisterna por mal tratamiento de juntas constructivas

F.1





Hormigón visto arquitectónico: en tabiques o losas vistas, de existir demoras importantes puede “marcarse” la diferencia entre ambos hormigones y traer un problema estético, aunque no exista ninguna discontinuidad o problema estructural (Figura 2).

Por ello, la reunión previa a obra, con el compromiso de una adecuada logística por parte del proveedor y una descarga rápida y ágil por parte del cliente, es clave para lograr el mejor resultado en todo proyecto.

### Tratamiento de superficies en caso de esperas prolongadas en obra en la misma jornada

El CIRSOC 201 establece que 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. El problema se presenta cuando en el mismo elemento estructural debe colarse y consolidarse un nuevo hormigón 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:

- Si no son tratadas adecuadamente, pueden no transferir esfuerzos como fue concebido originalmente, alterando su 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.
- 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.
- Si las juntas no son tratadas, muchas veces se forman fisuras que pueden alterar la durabilidad o funcionalidad (por ejemplo, filtraciones de agua).

En todos los casos, cuando se esté próximo al fragüe o transcurran más de 30 a 45 minutos entre diferentes camiones, debe vibrarse superficialmente el hormigón de la capa anterior, para apreciar visualmente si se fluidifica de manera momentánea 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 ésta en algunos segundos aquél fluidifica aún el hormigón, no es necesario ningún otro tratamiento más que consolidarlos en conjunto. El caso anterior, que es el más frecuente, debe realizarse cuando llega a obra el viaje “retrasado” de hormigón. Con esta medida, por más que el hormigón “aparentemente haya fraguado” y esté dentro de los tiempos ya ejemplificados, vuelve a

fluir y puede recibir perfectamente el nuevo viaje de hormigón. Además de la previsión tecnológica anterior muy útil, es recomendable contar en obra con los medios para tratar estas juntas imprevistas, que nunca son deseables, pero si ocurren al menos se garantiza una adecuada transferencia de esfuerzos para no poner en riesgo la capacidad resistente de la estructura. La estética de las estructuras será difícilmente restituida.

#### F.2 Juntas en tabiques vistos por demora excesiva entre viaje



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” y que puedan ser aplicados fácilmente. Una recomendación es preparar en un balde una lechada modificada con látex con una parte de agua, 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. Nunca hay que picar un hormigón colado en la misma jornada ni hidrolavarlo, ya que en el período de fragüe el hormigón es más susceptible a daños que en cualquier otra etapa.

### Disposiciones reglamentarias sobre juntas constructivas

La clave es planificar las juntas constructivas en lugares estratégicos y realizar planos constructivos para evitar que esta tarea quede dejada al azar o en manos de personal no especializado.

El caso más común es que se respeten las disposiciones de juntas constructivas brindadas por el Director de Obras o que figuren en los planos del proyecto, tal como indica el Reglamento CIRSOC 201: “Las interrupciones de las operaciones de hormigonado deben estar previstas en la documentación del proyecto y ser ejecutadas en los lugares especialmente establecidos con anterioridad en los planos, salvo que la interrupción se produzca excepcionalmente en forma accidental o por causa de fuerza mayor. Las juntas de construcción no consideradas en los planos, con origen accidental o por fuerza »

mayor, se deben ejecutar en la forma que menos perjudique a la resistencia, durabilidad y aspecto de la estructura, y en general disponiéndolas normalmente a la dirección de los esfuerzos principales de compresión". Asimismo, se resumen algunas disposiciones útiles:

- Se recomienda hormigonar las columnas hasta el nivel de fondo de vigas sin colocar las armaduras de las vigas. Posteriormente se tratarán las juntas constructivas, se colocarán las armaduras de vigas y se continuará con las operaciones constructivas.
- En las vigas placas, el nervio y la losa se deben hormigonar en forma simultánea, con el objeto de garantizar la absorción del esfuerzo de corte que se produce entre ambos. En caso contrario, se deben disponer elementos de transferencia del esfuerzo de corte.
- Las bases de fundación se deben ejecutar preferentemente en una sola operación continua. Cuando por razones constructivas ello no fuera posible, se permite subdividir su hormigonado, tratando las superficies.
- Las vigas, ménsulas cortas, ábacos y capiteles se deben hormigonar monolíticamente como parte del sistema de losas, a no ser que se indique lo contrario en los planos del proyecto.
- Las juntas de construcción de los pisos se deben ubicar dentro del tercio medio o central de las luces de las losas y vigas. Asimismo, para el caso de vigas principales se deben desfasar una distancia mínima igual a dos veces el ancho de las vigas secundarias que se interceptan.
- Las vigas y losas que se apoyen en columnas o en tabiques no se deben hormigonar hasta tanto el hormigón de los elementos verticales de apoyo haya dejado de ser plástico y haya desarrollado la resistencia necesaria.
- Los elementos estructurales que apoyen sobre las bases se deben moldear, como mínimo, después de transcurridas 48 horas de la ejecución de éstas.

Si se interrumpiese la construcción de la estructura por un período mayor a tres meses,

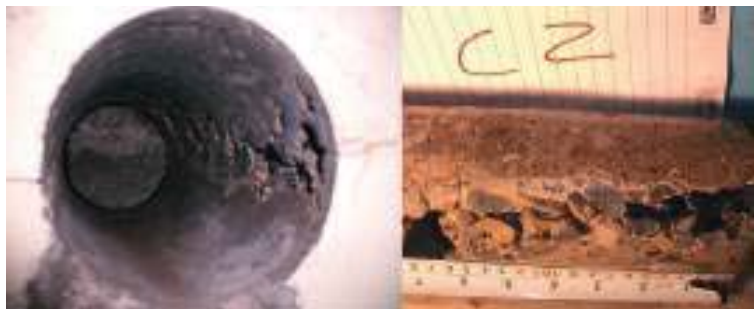
se deben proteger las armaduras salientes en espera, destinadas a vincular la futura ampliación, contra los efectos de la corrosión, utilizando una capa continua de pasta de cal protegida con un mortero de cemento. No se pueden proteger las armaduras salientes en espera utilizando hormigón pobre o mampostería, sin antes realizar sobre las barras las protecciones establecidas precedentemente. Al reiniciar la construcción de una estructura, se deben limpiar en forma cuidadosa las armaduras salientes mediante arenado, retirando todo vestigio del material de protección y el acero que se hubiere transformado en óxido. Antes de proceder a utilizar la armadura en espera se debe verificar su estado, en especial en la parte empotrada, inmediatamente por debajo de la interfase hormigón-aire, y en caso de que se observen signos de corrosión avanzada, deberán ser reemplazadas total o parcialmente. A este efecto se debe considerar corrosión avanzada cuando, luego de la limpieza de la barra, se constata una disminución de cualquier sección transversal igual o mayor que el 10%.

### Tratamiento de juntas constructivas

En caso de no ser tratada adecuadamente la junta antes de recibir el nuevo hormigón, habrá muy poca adherencia. Muchas veces en estas juntas, si no se cuida además el verter la primera parte de la descarga fuera del elemento hasta que comience a ser homogéneo, también pueden aparecer efectos localizados de segregación. Esto puede manifestarse en superficie o en el interior del elemento, con un aspecto de fragmentos de agregado sólo adheridos por una delgada lámina de pasta de cemento, pero son bastante incoherentes (Figuras 3 y 4).

Para el caso de juntas constructivas previstas (hormigonado en jornadas diferentes) y de

F.3 Testigos en junta constructiva deficiente y mal tratada



acuerdo con el grado de endurecimiento del hormigón, así como el tamaño de la junta de construcción, la limpieza de su superficie se debe realizar mediante rasqueteo con cepillos de alambre, chorro de agua a presión, o combinando chorro de arena y agua a presión. Esta operación se debe continuar hasta eliminar la lechada, mortero u hormigón poroso y toda sustancia extraña, dejando al descubierto hormigón de buena calidad y las partículas de agregado grueso de mayor tamaño, cuya adherencia no debe verse perjudicada, obteniendo una superficie rugosa. La superficie de la junta debe ser lavada enérgicamente luego de la limpieza hasta eliminar los materiales sueltos. Este tratamiento nunca debe ser realizado mediante herramientas cortantes o martelinado con martillos de elevado peso.

Antes de colar el nuevo hormigón, la superficie debe estar humedecida, pero no encharcada. La adherencia entre el hormigón fresco a colocar y el hormigón endurecido existente se alcanza colocando aquél en forma directa sobre el hormigón endurecido, debiendo tener el primero la cantidad de mortero necesaria y evitar cualquier fuente de segregación.

#### Falta de limpieza en junta constructiva que

#### F.4. imposibilita adherencia, sumado a signos de segregación



El Reglamento CIRSOC 201 establece que sólo “cuando sea necesario mejorar la adherencia entre ambos hormigones a unir, dado los esfuerzos a que estará sometida la estructura, o para lograr una mayor estanqueidad, se deben emplear en la superficie o junta de construcción adhesivos específicos, denominados puentes de adherencia, basados en resinas epoxi o morteros de cemento con polímeros, sobre los que exista fehaciente información, a través de ensayos y sobre su comportamiento satisfactorio en obra para el uso al que se los destina. Esta técnica se debe utilizar sólo en casos de excepción y para solucionar juntas constructivas no previstas en el proyecto y producidas durante la marcha de la obra”. Lo anterior se condice con las prácticas constructivas frecuentes, de no aplicar en todas las juntas constructivas entre diferentes jornadas productos denominados “puentes de adherencia”, pero sí es muy relevante y muchas veces se olvida el tratamiento preliminar de limpieza de juntas constructivas, más aún en ciertas obras como las destinadas a contener o conducir fluidos.

En lo que concierne al colado del hormigón, es muy importante tener en cuenta los dos aspectos siguientes, que pueden manifestar defectos considerables en estructuras de contención o para el caso de hormigones de relevancia arquitectónica:

- No verter el primer hormigón descargado del camión o la bomba en la capa inferior, ya que puede manifestar mayor segregación. Lamentablemente es muy común el lavado de canaletas dentro de la canasta de la bomba o el “ablandar” con agua el hormigón, lo cual conlleva a que una parte del hormigón llegue segregada a la estructura y, como es la primera parte de la descarga, estará en la superficie de contacto con los encofrados o con el hormigón de la etapa anterior, provocando defectos de consideración (Figura 5).

- Además, debe emplearse un hormigón con una consistencia apropiada, no recomendando para la mayor parte de las aplicaciones asentamientos bajos, y debe vibrarse adecuadamente el hormigón en toda su profundidad, evitando caídas de importante altura en estructuras de contención o similares, salvo que el hormigón se encuentre adecuadamente

»

diseñado y presente una buena cohesividad, como son los hormigones autocompactantes.

- En caso de necesitar impermeabilidad o capacidad de retener líquidos, es recomendable usar juntas plásticas tipo omega en las juntas constructivas, tal como se describe a continuación.

Un caso particular y a evaluar en cada caso son las juntas entre piezas de hormigón premoldeado y hormigón elaborado, debiendo especificarse el tratamiento. En algunos casos, deberá preverse el empleo de aditivos expansivos para reducir la contracción y fisuración consecuente en la zona de unión, pudiendo provocar esto problemas funcionales en ciertas estructuras (Figura 6).

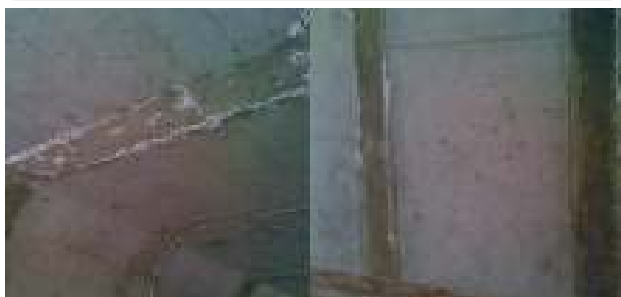
### Juntas constructivas en estructuras de contención de agua o pasivos ambientales

Si el volumen de hormigón de la estructura no es muy elevado, puede realizarse una estrategia de llenado de solera y tabiques en forma conjunta, lo que disminuye la probabilidad de defectos. En primer lugar, se llena la losa con un hormigón que no posea demasiado asentamiento y luego, a la 1 a 3 horas, sin que exista riesgo de juntas frías en función del tiempo inicial de fragüe, se vierte el hormigón fluido o autocompactante en los tabiques, logrando un buen monolitismo y reduciendo el tratamiento de juntas.

Sin embargo, en la mayor cantidad de estructuras, es difícil realizar las tareas en una sola jornada. Para ello, en las diferentes juntas constructivas debe colocarse una junta omega o water-stop (Figura 7), con la finalidad de reducir las filtraciones por la junta, por más que exista continuidad de armaduras. La junta debe estar bien posicionada en la parte central de la losa o tabique y, en caso de poseer armaduras, es preferible que la junta esté entre las dos mallas de repartición. «

### Filtraciones y eflorescencias en alcantarillas con módulos premoldeados

F.6



### Segregación de la primera parte de volumen del hormigón colado en la capa superior

F.5



### F.7 Juntas tipo "water-stop" en estructuras impermeables



# Soluciones prácticas para la habilitación temprana de estructuras

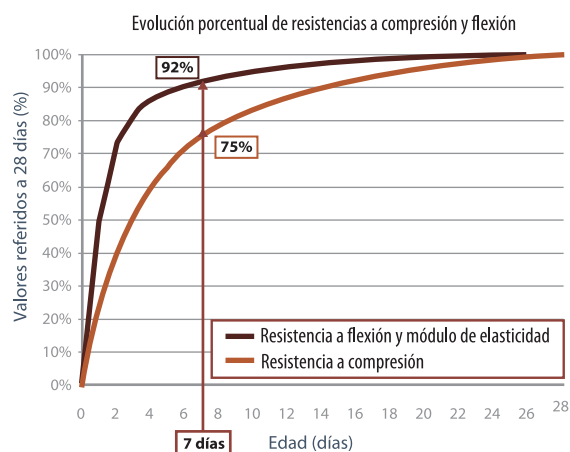
Ms. Ing. Maximiliano Segerer

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

Si bien la remoción temprana de puntales o la habilitación rápida de pavimentos se controlan indirectamente mediante ensayos de resistencia a compresión, este parámetro no es el determinante. Los factores más importantes son la deformabilidad del hormigón, cuantificada mediante su módulo de elasticidad para retirar los elementos de sostén, y la resistencia a flexión efectiva, para el caso de losas apoyadas en el terreno. Tanto la resistencia a flexión como el módulo de elasticidad tienen un crecimiento mucho más rápido a cortas edades que la resistencia a compresión. Por ejemplo, si para condiciones normalizadas a la edad de 7 días se tiene una resistencia del orden del 75% de la resistencia a compresión a 28 días, la resistencia a flexión está en el orden del 90%, que es la más determinante para las aplicaciones referenciadas. En condiciones de temperatura inferiores a las normalizadas, las resistencias a compresión a 7 días pueden ser del 65% al 70% respecto de la resistencia a 28 días, y la resistencia a flexión será del 85% al 90% de su resistencia a flexión de diseño. El crecimiento de la resistencia a flexión y del módulo de elasticidad, que cuantifican la oposición a la deformación de los materiales en el campo elástico, tienen leyes de evolución muy similares, y siempre están por encima de la evolución de la resistencia a compresión, que es el parámetro que casi con exclusividad se controla en obra. En la mayor parte de las obras se establece que los pavimentos no deben ser habilitados o “no pueden ser pisados” antes de los 28 días, o que los puntales de toda losa, incluso de alcantarillas de 3 metros de luz, deben permanecer 3 semanas. Estas afirmaciones no tienen ningún sustento técnico y el

## Evolución comparativa de resistencias a compresión y a flexión

F.1



pensamiento de que el hormigón tiene un “calendario” o un “reloj interno” y que si se lo habilita antes de los 28 días se producirán fisuras o se reducirá su vida útil, se basa en la costumbre y no en experiencias con tecnologías teniendo en cuenta los materiales actuales. Lamentablemente, este tipo de especificaciones termina retrasando el avance de las obras y la habilitación temprana de estructuras, con todos los costos que ello trae aparejado.

### 1. Evolución de resistencias a compresión y a flexión y módulo de elasticidad

En las curvas de la figura 1, se presentan a título referencial las relaciones entre evolución de resistencias a compresión y a flexión para probetas normalizadas. Se muestra sólo un caso

para cementos convencionales, con una resistencia a 7 días del orden del 75% de la resistencia a 28 días, lo cual es el caso de una gran cantidad de cementos en nuestro país que presentan relaciones del 72% al 80%. Existen algunos cementos puzolánicos o de alto horno en los cuales esta relación de resistencias entre 7 y 28 días es del 65% al 70%, con lo que varían levemente las curvas presentadas, colocándose un poco por debajo de éstas.

Las curvas de evolución de resistencia a flexión –que es equivalente a la del módulo de elasticidad– han sido estimadas sobre la base de una gran cantidad de ensayos con materiales locales. La evolución de módulos de elasticidad puede estimarse con simpleza, conociendo la ley de evolución de resistencias para diferentes edades en un hormigón determinado. Esta ley (o porcentaje) elevado a la potencia (0,28) a (0,30) brinda una excelente aproximación para estimar módulos de elasticidad de los hormigones, como así también su resistencia a flexión relativa. Se estima el porcentaje del módulo de elasticidad a la edad considerada, como el porcentaje de la resistencia (valor corrientemente disponible) elevado a (0,28). Ejemplificando, si se posee un hormigón con un cemento que a los 7 días tiene una resistencia del 75% de la de 28 días, el módulo a los 7 días tomará un valor del orden del 92% ( $= 0,75^{0,28}$ ), mientras que para un cemento de evolución mucho más lenta que presenta una resistencia a 7 días del 68% el módulo de elasticidad es del 90% a 28 días, diferencia no significativa.

## 2. Disposiciones reglamentarias

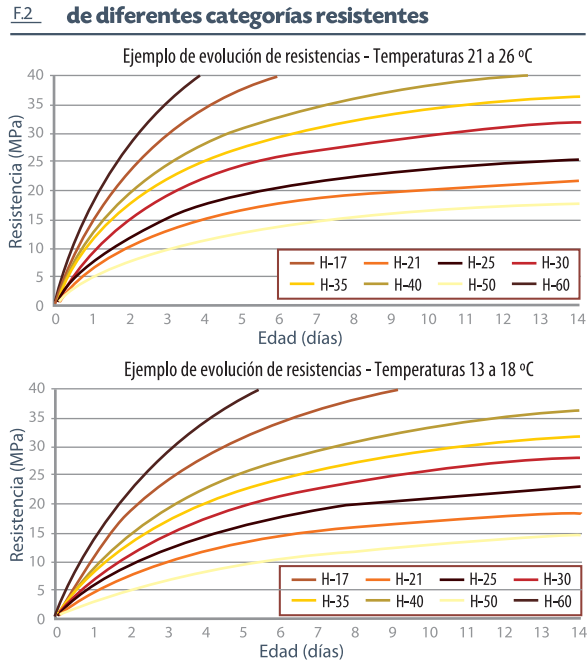
Los reglamentos modernos establecen que el proyectista de la obra tiene la oportunidad de definir la edad de diseño en función del tiempo para el cual se aplicarán las solicitaciones, que será la edad a la que deben realizarse los ensayos de las probetas de control de rutina. Por ejemplo, si un canal de riego debe ser habilitado a los 7 días, la resistencia de diseño y control de las probetas será a esta edad, pudiendo especificar un H-20 a los 7 días. El proveedor de hormigón ajustará sus fórmulas para cumplir los requisitos del cliente, despachando, por ejemplo, un H-25 a la edad a 28 días, y pudiendo aplicar los criterios de diseño por durabilidad a la edad de 28 días.

El otro punto relevante es que la mayor parte de las disposiciones establecen que para retirar puntales se debe:

- Aplicar plazos prescriptivos que figuran en tablas de doble entrada, los cuales son muy conservadores.
- Poseer al menos el 70% de la resistencia especificada o categoría resistente del hormigón para el caso de probetas moldeadas y curadas en la misma condición que la estructura.

El reglamento permite acortar los plazos que figuran en tablas si se realizan ensayos y se establece que es técnicamente factible realizarlo; es decir, demostrando mediante ensayos en

## Evolución de resistencias de diferentes categorías resistentes



condiciones de la estructura que se posee el 70% de la resistencia a compresión de diseño, que equivale aproximadamente al 90% del módulo de elasticidad. La medición por resistencia a compresión es la solicitada, debido a la simplicidad de su ensayo y a que muchas veces no es práctico poder realizar ensayos para determinar el módulo de elasticidad. El caso anterior es de muy sencilla aplicación. Si, por ejemplo, una losa está calculada con hormigón H-25 y un par de probetas moldeadas y curadas en las mismas condiciones de humedad y temperatura que la estructura arrojan un valor superior a 17,5 MPa a la edad que sea, pueden retirarse los puntales. Esta resistencia de 17,5 MPa muy probablemente se logrará a una edad próxima a 6 a 10 días empleando un hormigón H-25, mientras que si se emplea un hormigón H-40, casi con seguridad se tendrá esta resistencia a las 72 horas o menos. La edad de ensayo será definida por el Director de Obras y puede ser recomendable moldear tres pares de probetas e ir las ensayando a las 72 horas, 7 días y 14 días, para conocer la ley de evolución para ciertas condiciones de temperatura. Sin embargo, para edades de desapuntalamiento bajas, deben dejarse puntales de seguridad en el centro de las luces, no porque esté en juego la seguridad de la estructura, sino para evitar flechas excesivas.

## 3. Empleo de categorías resistentes superiores a la de diseño

Una de las principales aplicaciones de los hormigones de alta *performance* o de alta resistencia está dada con el objeto de la habilitación temprana de estructuras o para acelerar el ritmo productivo con una rápida rotación de encofrados. En la figura 2 se muestra la evolución de resistencias de diferentes »

categorías de hormigones para el caso de probetas normalizadas a una temperatura de 23 °C. En la misma figura, se observa una evolución teórica corregida para temperaturas medias del orden de 13 a 18 °C, las cuales son más representativas de las temperaturas que pueden presentarse en obra. En este tipo de figuras de simple visualización, es fácil estimar de forma preliminar a qué edades se poseen las resistencias finales de diseño o el 70% de la resistencia requerida para desapuntalar losas empleando categorías resistentes superiores, edades que deberán ser corroboradas mediante ensayo de probetas con materiales locales y en las condiciones de exposición de la obra desde su hormigonado.

Como base para los siguientes ejemplos, se tomará una categoría resistente de diseño igual a H-25 a 28 días. Cuando se desee lograr la resistencia final de diseño, empleando un hormigón H-30 se la obtiene a los 9 a 11 días, para un H-40 a los 6 días, para un H-50 a los 3 a 4 días y para un H-60 a la corta edad de 48 a 72 horas. En el caso de que se deba tener al menos una resistencia del 70% (17,5 MPa), con un hormigón H-25 se tendrían esas resistencias a los 7 a 10 días; empleando un hormigón H-40, a los 2 a 4 días, y con un hormigón H-50, a las 48 horas. Para el caso de estos hormigones y con la finalidad de emplear contenidos de cemento muy elevados, lo más efectivo es el empleo de reductores de agua de base policarboxilato. En la figura 3 se muestra un ejemplo de este tipo de aditivos para lograr resistencias de 25 a 30 MPa a las 48 horas para la rápida habilitación de una pista de aeropuerto. En caso que se desee habilitar una estructura antes de las 48 horas, lo más recomendable es:

- Recurrir a ciclos de curado acelerado, como se analizó en el artículo anterior de *Hormigonar*.
- Emplear morteros comerciales o *grout cementicio* para trabajos de habilitación rápida.
- Realizar ensayos específicos con acelerantes de fragüe de comprobada eficacia.

#### 4. Habilitación temprana de pisos y pavimentos

Para el caso de pavimentos de hormigón o pisos industriales (figura 4), no existe un consenso establecido, pero a partir de los 14 días no existe un crecimiento de más de un 5% de la resistencia a flexión hasta la edad de diseño habitual de 28 días, con lo cual son edades aceptables para habilitar pavimentos. Pero, si se incrementa la categoría resistente de diseño, el piso puede habilitarse más rápidamente.

A continuación, se presenta un caso con un simple análisis económico. Se desea hormigonar un piso industrial de una estación de servicio con un volumen próximo a 40 m<sup>3</sup>. Está diseñado con hormigón H-25 y se permite inicialmente habilitarlo a los 21 días. Si se emplea un hormigón H-35, la habilitación podrá llevarse a los 7 días (corroborado con ensayos de probetas

#### F3. Habilitación de pista del aeropuerto de Corrientes con H-30 a las 48 horas



#### F4. Hormigonado de pisos industriales y pavimentos



curadas en las mismas condiciones que el piso industrial). La diferencia de costos entre un H-25 y un H-35 está dada sólo por el valor del hormigón elaborado, ya que todas las otras tareas de colocación, terminación, llaneado, curado y aserrado son análogas, sin importar el tipo de hormigón. Esta diferencia económica puede estar entre u\$s 8 y u\$s 14/m<sup>3</sup>, con lo que, para el volumen total de la obra, el "incremento" de costos es del orden de u\$s 400 en total. Si este valor lo comparamos con habilitar dos semanas completas antes la estación de servicio, claramente el negocio tendrá una ganancia mayor a estos u\$s 30/día del "incremento" de precios inicial al modificar la categoría resistente. Además, sin duda el piso tendrá una mayor durabilidad y menores costos de mantenimiento.

Si se desea transitar un puente de acceso a una empresa de transporte en la cual sólo tenemos 72 horas para habilitar la obra, se puede especificar un hormigón H-25 a los 3 días y el proveedor garantizará esta resistencia; por ejemplo, despachando un hormigón H-50 convencional a 28 días. La pequeña diferencia de costos del volumen de hormigón permitirá utilizar la estructura mucho antes de lo que originalmente podría pensarse. Para finalizar con estos ejemplos, existen experiencias de empresas constructoras que a su costo incrementan la categoría resistente del hormigón, y en lugar de emplear un

Elemento estructural	Temperatura superficial del hormigón			
	< 24 °C	16 °C	8 °C	2 °C
Tabiques, columnas y laterales de vigas	9 horas	12 horas	18 horas	30 horas

hormigón H-25 utilizan hormigones H-30, con el objetivo de poder habilitar a los 10 a 14 días el pavimento urbano y con ello reducir una gran cantidad de costos: serenos, señalización, “reclamos” de vecinos, seguros asociados, reducción del período de curado, rapidez productiva, reducción de los plazos de obra y una mejora de la imagen ante la repartición pública o municipio para la cual están prestando sus servicios, ya que se permite a los vecinos usar antes la obra.

Por todo ello, queda claramente demostrado que la postura de dejar transitar vehículos en un pavimento o piso industrial sólo a partir del día 28 desde su colocación es un concepto obsoleto y que no puede coexistir con la celeridad que exige la industria de la construcción actualmente.

### 5. Desencofrado de encofrados laterales

Las disposiciones del antiguo reglamento CIRSOC 201:82 que siguen plasmadas en la mayor parte de los pliegos especifican tiempos de desencofrado de tabiques y columnas del orden de 72 a 96 horas, los cuales probablemente eran compatibles con los materiales de la época. Sin embargo, con los cementos actuales, la utilización de aditivos y principalmente el empleo masivo del hormigón elaborado en toda obra, se logran resistencias a las 24 y 36 horas superiores, con lo cual los lapsos de desencofrado del reglamento con versión de más de 30 años no son compatibles con los ritmos de productividad actuales ni con los materiales presentes en el mercado actual. En todos los casos, la remoción debe realizarse cuidadosa y gradualmente, utilizando métodos y procedimientos que se traduzcan en esfuerzos estáticos, sin aplicación de golpes ni vibraciones, garantizando no dañar la estructura y mantener la seguridad y prestación en servicio proyectada. Por ello, el reglamento CIRSOC 201 vigente especifica tiempos de desencofrado de laterales que dependen de la temperatura superficial del hormigón, ya que es sabido que a menor temperatura del hormigón el inicio y fin de fragüe se retrasan. En la tabla se especifican estos tiempos

recomendados; para el caso de temperaturas intermedias, puede interpolarse linealmente. Para el caso de elementos que sólo deban soportar su peso propio al remover los laterales, como tabiques, vigas y otros elementos, la remoción de encofrados debe realizarse una vez finalizado el fragüe, que es cuando comienza a tomar resistencia el hormigón.

Para el desencofrado de laterales en tiempo caluroso, se permite remover los encofrados a las 9 horas del colado del hormigón, con lo cual hormigonando de 8 a 10 de la mañana pueden retirarse en la misma jornada. Aun para condiciones de tiempo frío y manteniendo la temperatura del hormigón a unos 10 °C durante la primera noche, se puede desencofrar a las 18 horas, es decir que, en estas condiciones, hormigonando a las 15 horas, el reglamento admite que se pueden retirar los encofrados laterales al día siguiente, al comenzar las tareas diarias. Tiempos muy extendidos de desencofrado pueden ser contraproducentes, como en el caso de los encofrados metálicos u hormigón visto, ya que dejarlos de 2 a 3 días puede afectar superficialmente el hormigón y dificultar su limpieza posterior, reduciendo su potencial vida útil. Como excepción, para ciertos casos de estructuras como las masivas, en las cuales la protección y el curado deben ser muy cuidadosos, es recomendable que los laterales se mantengan de 4 a 10 días para reducir los gradientes térmicos que incrementan el riesgo por fisuración térmica. Para encofrados especiales, como los deslizantes, los plazos de desencofrado se determinarán experimentalmente de acuerdo con las condiciones generales establecidas anteriormente, debiendo asegurarse en todo momento la estabilidad de la estructura compatible con el grado de seguridad deseado.

### 6. Remoción de encofrados y puntales en losas y vigas

Es conocido que el ítem de encofrados en obras civiles es uno de los más relevantes en la obra gruesa, con lo cual su rápida rotación, aumento »



de productividad o reducción de su plazo de alquiler redundan en beneficios económicos considerables en cualquier obra (figura 5).

El reglamento vigente establece que los documentos de proyecto deben establecer la resistencia efectiva que tiene que alcanzar el hormigón para que se pueda iniciar la remoción de los encofrados, apuntalamientos y elementos de sostén. La resistencia efectiva se determina mediante el ensayo de resistencia de probetas cilíndricas moldeadas y curadas junto a la estructura en sus mismas condiciones. Si en los documentos no figura esta resistencia, para el caso de condiciones de temperatura media por encima de 10 °C, se podrá tomar:

Cuando posea el 70% de la resistencia característica especificada, lo cual indicaría un módulo de elasticidad y resistencia a flexión del orden del 90% de los valores a 28 días.

Y al menos el doble de la resistencia necesaria para resistir las máximas tensiones producidas en la remoción.

De no contar con la información anterior, pueden aplicarse los plazos orientativos de la tabla.

E.5

### Ejemplos de obras que se benefician con el retiro temprano de puntales



después de realizada la remoción de encofrados. Los puntales de seguridad, apoyos y demás elementos permanecerán colocados durante todo el tiempo que sea posible, particularmente en el caso de los elementos estructurales que

Elemento estructural		Si la sobrecarga estructural es	
		Menor que el peso propio de la estructura	Menor que el peso propio de la estructura
Túneles y conductos circulares		3 días	2 días
Claves de los arcos		14 días	7 días
Vigas principales y secundarias	Luz libre ≤ 3 metros	7 días	4 días
	Luz libre 3 a 6 metros	14 días	7 días
	Luz libre 6 a 9 metros	17 días	10 días
	Luz libre ≥ a 10 metros	21 días	14 días
Losas armadas en una dirección	Luz libre ≤ 3 metros	4 días	3 días
	Luz libre 3 a 6 metros	7 días	4 días
	Luz libre 6 a 9 metros	10 días	7 días
	Luz libre ≥ a 10 metros	14 días	10 días
Sistemas de losas armadas en dos direcciones		Momento en el cual pueda ser reapuntalada	

Para aplicar los plazos anteriores, los cuales son conservadores, se deberán proteger y curar de manera adecuada los elementos de hormigón. Se computarán como válidos exclusivamente los días en los que la temperatura media del aire en contacto con la estructura sea mayor a 10 °C. Se computará un día de curado cada dos días, en caso de que la temperatura media del aire esté comprendida entre 5 y 10 °C.

Con el objeto de reducir las flechas y deformaciones debidas al efecto de la fluencia lenta y de la contracción del hormigón, algunos puntales y elementos de sostén permanecerán colocados, o se los volverá a colocar inmediatamente

inmediatamente después de desencofrados se encuentren sometidos a la mayor parte de las cargas de cálculo, o que sean desencofrados a corta edad. Siempre es recomendable dejar puntales de seguridad en la zona central de las luces durante un período más prolongado (14 a 21 días). Para luces de entre 3 y 8 metros, basta con un apoyo central, mientras que para luces mayores hay que contar con más puntales de seguridad. Sin embargo, pudiendo reutilizar los encofrados de fondo y retirando la mayor parte de los puntales, puede trabajarse cómodamente en la planta en cuestión y continuar la construcción del nivel superior. «



# ¿CÓMO DEBEN EMPLEARSE CORRECTAMENTE LOS ADITIVOS EN OBRA?



POR MS. ING. MAXIMILIANO SEGERER  
Control y Desarrollo de Hormigones  
[www.cdormigones.com.ar](http://www.cdormigones.com.ar)

Los aditivos en la actualidad son considerados, junto con el cemento, el agua y los agregados, como componentes indispensables en el hormigón elaborado de calidad. Han sido uno de los principales factores con los cuales ha avanzado la tecnología del hormigón en los últimos 30 años y participe fundamental en el desarrollo de hormigones especiales, como los hormigones autocompactantes y los de alta resistencia. Pese a ello, en la actualidad algunos profesionales e idóneos relacionados con las construcciones tienen cierto escepticismo a su utilización y, en otros casos, no se conoce cómo emplearlos de manera adecuada. Así, muchas veces se “culpa” a los aditivos como responsables de algunos inconvenientes en las obras.

Hay que tener presente que los aditivos no solucionan defectos de un hormigón de mala calidad sino potencian diferentes propiedades del hormigón elaborado de calidad, facilitando y ampliando sus aplicaciones. Sin embargo, deben tenerse ciertos “cuidados” para evitar que una mala manipulación de aditivos en obra pueda perjudicar al hormigón, siguiendo algunas sencillas reglas que se describen

en el presente artículo. En el próximo número de Hormigonar se ejemplificará cuáles son algunos de los inconvenientes que pueden aparecer en nuestras obras si no tenemos en cuenta estas reglas o condiciones, así como también algunas medidas prácticas de cómo evitarlos y solucionarlos.

## CONDICIONES A CUMPLIR PARA EL EMPLEO DE ADITIVOS EN OBRA

- [1] *Deben estar adecuadamente acopiados e identificados y ser manipulados por personal competente*
- [2] *No todos los aditivos pueden ser incorporados cuando el mixer llega a la obra*
- [3] *Se debe conocer la dosis adecuada para alcanzar el fin deseado*
- [4] *Debe medirse con precisión la cantidad de aditivo que se incorpore al hormigón según la dosis establecida*
- [5] *Debe conocerse siempre el volumen de hormigón que trae el mixer o estimar el volumen remanente, así como también las características del hormigón que transporta*
- [6] *La distribución del aditivo dentro de la masa de hormigón debe ser*

*uniforme, lo que se logra mediante un mezclado eficiente*

- [7] *En obras de magnitud y hormigones especiales debe estudiarse la compatibilidad entre los diferentes aditivos y el cemento y adiciones empleados en el hormigón*

Antes de estudiar y brindar ejemplos de cada una de las condiciones anteriores cabe destacar que en el presente artículo se describirán fundamentalmente los aditivos que se incorporan en obra.

## PRIMERA CONDICIÓN ACOPIO, IDENTIFICACIÓN Y MANIPULACIÓN

Entre otras precauciones para tener en obra, preliminarmente se debe tener en cuenta:

- ▶ En el envase de los aditivos debe figurar la marca, tipo de aditivo, fecha de fabricación y fecha de vencimiento, no debiendo emplearse recipientes de aditivos que carezcan de esta información
- ▶ Los aditivos deben ser manipulados por personal que esté capacitado para estas tareas y se recomienda que una persona por obra sea la responsable del empleo de aditivos

- ▶ Deben evitarse los derrames de aditivos (figura 1), por lo cual es recomendable acopiarlos dentro de pequeñas piletas de mampostería que permitan un lavado periódico
- ▶ Deben ser conservados en sus envases originales herméticamente cerrados
- ▶ El acopio se debe realizar al reparo del sol y de las bajas temperaturas, separando e identificando cada marca, tipo y fecha de recepción, debiendo ser acopiados siempre en un lugar previamente determinado
- ▶ En caso de no emplear el aditivo del tacho o contenedor por tiempos prolongados el mismo debe agitarse mediante algún medio de manera vigorosa, siempre que aún no haya vencido
- ▶ Poseer la hoja técnica de especificaciones del fabricante y que la misma esté disponible en la obra
- ▶ Disponer en la obra la hoja de seguridad de los aditivos diferente de la anterior por si aparece algún inconveniente relacionado con la salud o el ambiente

## SEGUNDA CONDICIÓN ADITIVOS A INCORPORAR EN OBRA

Según el Reglamento CIRSOC 201 los únicos aditivos que pueden incorporarse en obra son los superfluidificantes. Estos aditivos son empleados principalmente para incrementar la fluidez del hormigón en obra y facilitar su colocación, evitando así la nefasta incorporación de agua. Pueden ser redosificados cuando existe pérdida de asentamiento, bien sea por tiempos de transporte o espera en obra prolongados o cuando se pierde el efecto del superfluidificante y cae



Figura 1 - Acopio de aditivos en obra en contenedores y tachos

el asentamiento con el tiempo (30 a 45 minutos).

Sin embargo, muchas veces por desconocimiento del constructor y/o desconfianza al proveedor, ya que “no se ve” si el hormigón tiene o no aditivos, se decide incorporarlos en obra. Aditivos como incorporadores de aire, retardadores de fragüe y plastificantes empleados como reductores de agua son algunos de los ejemplos de aditivos que no deben ser incorporados en obra, ya que siempre deben agregarse en conjunto con el agua de mezclado durante la elaboración del hormigón. De emplearlos en obra, su efecto seguramente no será el deseado y, en algunos casos, será incluso contraproducente.

Respecto a otros aditivos, como fluidificantes, acelerantes de endurecimiento, algunos hidrófugos y para el caso de fibras plásticas, se han obtenido buenos resultados al incorporarlos en obra, siempre que el hormigón presente una consistencia plástica a fluida. Para estos casos deben extremarse las precauciones, ya que, por ejemplo, la incorporación de aditivos fluidificantes en lugar de superfluidificantes en obra incrementa el riesgo de varios inconvenientes potenciales de manera apreciable.

## TERCERA CONDICIÓN DOSIS ADECUADA

Pueden emplearse las hojas técnicas provistas por el fabrican-

te, pero siempre es recomendable realizar ensayos con los materiales locales para verificar y optimizar técnica y económicamente las dosis empleadas.

**Ejemplo 1:** Se desea elevar el asentamiento en obra de 6 a 16 cm; el fabricante establece como recomendable dosis entre el 0,5 y el 1,4% en peso del cemento, equivalente para un hormigón de 320 Kg de cemento/m<sup>3</sup> a cantidades 1,6 a 4,5 Kg de aditivo/m<sup>3</sup>. Midiendo asentamientos en obra en cuatro diferentes viajes antes y después de incorporar el aditivo superfluidificante, se obtiene que:

- ▶ 1,5 Kg de aditivo/m<sup>3</sup>:  
lo incrementa de 5,0 a 12,0 cm
- ▶ 2,5 Kg de aditivo/m<sup>3</sup>:  
lo incrementa de 6,0 a 15,5 cm
- ▶ 3,5 Kg de aditivo/m<sup>3</sup>:  
lo incrementa de 5,5 a 18,0 cm
- ▶ 4,5 Kg de aditivo/m<sup>3</sup>:  
lo incrementa de 6,5 a 19,0 cm

De haber elegido a ciegas 3,5 Kg, por ejemplo, se gastaría un 40% más de aditivo para lograr la misma finalidad.

**Ejemplo 2:** En el caso de incorporadores de aire a emplear en planta la situación es aún más crítica, ya que las dosis recomendadas por los fabricantes varían en un espectro muy amplio. Por ejemplo, para un aditivo incorporador de aire en »



el cual se recomienda su empleo entre 0,03 y 0,10% del peso del cemento se obtuvieron los siguientes resultados en pastones de laboratorio:

- ▶ 0,10% del peso del cemento: contenido de aire 9,5%
- ▶ 0,08% del peso del cemento: contenido de aire 7,0%
- ▶ 0,06% del peso del cemento: contenido de aire 6,5%
- ▶ 0,05% del peso del cemento: contenido de aire 5,5%
- ▶ 0,04% del peso del cemento: contenido de aire 4,5%

Sería sólo coincidencia si con las dosis especificadas y sin ensayos previos se obtuviera el contenido de aire deseado, pudiendo cometer errores muy importantes. Para el caso de estudio, la dosis establecida para obtener un contenido de aire de 5,0% fue del 0,045% en peso del cemento, que para un contenido unitario de cemento de 400 Kg/m<sup>3</sup> equivale a sólo 180 g de aditivo por m<sup>3</sup> de hormigón.

Otro aspecto a destacar es que para establecer las dosis no debe partirse de extrapolaciones, como, por ejemplo, que a doble dosis doble es el efecto del aditivo.

**Ejemplo 3:** Para el caso de aditivos superfluidificantes incorporados en obra, si 2,0 litros incrementan 8 cm de asentamiento, 4,0 litros no incrementarán 16 cm.

**Ejemplo 4:** Si para una dosis de 0,8 litros/m<sup>3</sup> de retardador de fragüe incorporado en planta de hormigón elaborado se retrasa dos horas el fragüe, no deberá extrapolarse que para 1,6 litros/m<sup>3</sup> se retrasarán cuatro horas y para 3,2 litros/m<sup>3</sup> el retraso no será de ocho horas y hasta podría ser inhibido.



Figura 2 - Baldes y bidones graduados para la incorporación precisa de aditivos en obra

#### CUARTA CONDICIÓN MEDICIÓN DEL ADITIVO

Se recomienda emplear baldes o bidones graduados, bien sea tarados en obra o comprados (figura 2). Las marcas de las graduaciones no deben ser borradas por el aditivo. En obra siempre conviene realizar mediciones por volumen, debiendo considerar que al peso del aditivo obtenido debe dividírsele por la densidad del aditivo que figura en las especificaciones técnicas (varía entre 1,00 y 1,20 Kg/litro).

**Ejemplo 5:** Para una dosis de aditivo fluidificante igual a 1,1 Kg de aditivo/m<sup>3</sup> con una densidad del aditivo de 1,18 Kg/litro deberá emplearse:

- ▶ 1,1 Kg de aditivo/m<sup>3</sup> (1,1 / 1,18) → 0,95 litros de aditivo/m<sup>3</sup>
- ▶ Para camiones de 7 m<sup>3</sup> será necesario (7 x 0,95) 6,5 litros/mixer

Según CIRSOC, la precisión requerida es ( $\pm 3\% \times 6,5$  litros)  $\pm 0,20$  litros

Será suficiente emplear un balde o bidón de 8 a 10 litros, graduado al 0,50 litros, para que pueda apreciarse la mitad de esta división; que es de 0,25 litros

**Ejemplo 6:** Para una dosis de aditivo superfluidificante igual a 2,7 Kg de aditivo/m<sup>3</sup> con una densidad del aditivo de 1,09 Kg/litro se empleará:

- ▶ 2,7 Kg de aditivo/m<sup>3</sup> (2,8 / 1,09) → 2,5 litros de aditivo/m<sup>3</sup>

- ▶ Para camiones de 7 m<sup>3</sup> será necesario (7 x 2,5) 17,5 litros/mixer

Según CIRSOC, la precisión requerida es de ( $\pm 3\% \times 18,2$  litros)  $\pm 0,50$  litros

Se deberá emplear un bidón o balde de 20 litros o dos cargas con balde de 10 litros, graduado al 1,00 litro, para que pueda apreciarse la mitad de esta división (0,50 litros). También puede graduarse al 0,50 litros para mayor precisión, principalmente si se emplea en dos cargas (baldes de 10 litros).

#### QUINTA CONDICIÓN VOLUMEN Y CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN TRANSPORTADO

La cantidad de aditivo es incorporada por m<sup>3</sup> y no por camión. Esto cobra vital importancia en los "cortes" o mixers que transportan menor capacidad de la nominal, donde pueden cometerse errores de importancia si se considera que la cantidad de aditivo es para cada camión y no por m<sup>3</sup>.

**Ejemplo 7:** Si todos los mixers que se reciben en obra son de 6,0 m<sup>3</sup> y el corte es de 1,5 m<sup>3</sup> trabajando con una dosis de 2,0 litros de aditivo/m<sup>3</sup> »



- ▶ Para los mixer de 6,0 m<sup>3</sup> la dosis será (6,0 x 2,0) 12,0 litros/camión
- ▶ Para el corte de 1,5 m<sup>3</sup> la dosis será (1,5 x 2,0) 3,0 litros/camión

De no tener este cuidado podría cuadruplicarse la dosis de aditivo en el corte, lo que acarrea severos inconvenientes, que en algunos casos, como el retraso muy prolongado del fragüe o incorporación excesiva de aire, son irreversibles. En algunos casos, de no detectar estos problemas en el momento del colado del hormigón los elementos estructurales no tendrán la seguridad requerida.

Asimismo, es de vital importancia conocer el tipo de hormigón y consultar al proveedor de hormigón elaborado el contenido de cemento. Por ejemplo, para hormigones H-13 y H-35 puede variar el contenido de cemento en casi el doble, y la dosis de aditivo, al estar relacionada con éste, variar en similar proporción.

Para finalizar, es importante consultar si el hormigón trae algún aditivo incorporado de planta a fin de evitar posibles incompatibilidades con los aditivos que se incorporen en obra.

### **SEXTA CONDICIÓN DISTRIBUCIÓN UNIFORME Y MEZCLADO EFICIENTE**

Si los mixers no poseen tanques y dosificadores automáticos de aditivos, en obra debe incorporarse el aditivo por la boca de carga del mixer con medidas de seguridad adecuadas (figura 3), debiendo:

- ▶ Completar el volumen remanente del balde o bidón con agua para que ingrese diluido
- ▶ Con la manguera del camión limpiar el aditivo que queda “pegado” en la boca con una cantidad de agua de unos



Figura 3 - Incorporación de aditivos superfluidificantes en obra



20 litros con el objetivo de incorporar todo el aditivo y evitar el deterioro de los camiones

### **SÉPTIMA CONDICIÓN ENSAYOS DE COMPATIBILIDAD**

Luego de la incorporación lo más importante es un mezclado eficiente para la distribución homogénea del aditivo, el cual dependerá de las condiciones del mixer y de la consistencia que posea el hormigón, ya que para asentamientos muy bajos es difícil que los aditivos actúen. Como regla general, puede recomendarse:

- ▶ Mínimo 5 minutos
- ▶ Más de 5 m<sup>3</sup>, 1 minuto por cada m<sup>3</sup>

**Ejemplo 8:** Para un mixer con 8 m<sup>3</sup> debe incorporarse el aditivo, lavarse la boca de carga y colocar el mixer a velocidad de mezclado al menos 8 minutos controlados por reloj; recién después descargar.

Para hormigones especiales es recomendable que laboratorios especializados o las hormigoneras estudien la compatibilidad entre aditivos y cemento y/o adiciones para definir las dosis óptimas de aditivos mediante distintas pruebas. Existen diferentes ensayos, como el Cono de Marsh o el Cono de Kantro, para definir dosis óptimas y apreciar el comportamiento del aditivo en pastas cementíceas antes de realizar los pastones de prueba. Mediante estos ensayos y los siempre indispensables ensayos complementarios a escala industrial en obra puede lograrse mediante un balance técnico-económico el mejor aditivo para cada aplicación. ¶

Segunda parte

# ¿Qué problemas pueden aparecer si no utilizamos correctamente los aditivos?

Como complemento del artículo de aditivos publicado en el número anterior de Hormigonar se brindarán en forma de ejemplos las causas y consecuencias de un empleo no eficiente de aditivos



Combinación de dos aditivos (anticongelante y fluidificante) que inhibieron el fragüe. Los ensayos no destructivos a 10 días indicaron "0" de índice esclerométrico

**Ms. Ing. Maximiliano Segerer**

Control y Desarrollo de Hormigones  
[www.cdormigones.com.ar](http://www.cdormigones.com.ar)

## POSIBLES CAUSAS DE UN EMPLEO INCORRECTO DE ADITIVOS

### Incorporación de todos los aditivos en obra

Salvo los aditivos superfluidificantes, es recomendable que todos los otros aditivos sean incorporados en planta. Tal como se reseñó en el número pasado de Hormigonar, existen ciertos aditivos que para que tengan el efecto deseado deben ser siempre incorporados en planta. Agregar aditivos en obra como incorporadores de aire, sumado a un insuficiente mezclado y a que las dosis a



utilizar son muy pequeñas (en general de 0,15 a 0,30 litros/m<sup>3</sup>), puede provocar una concentración del aditivo en la cola de descarga, obteniendo un pastón claramente no uniforme. Esto se genera en algunos casos por desconfianza al proveedor, si éste incorporó o no en planta el aditivo. Cabe recordar que el cliente debe controlarlo obligadamente (por ejemplo, con el Aparato de Washington), con lo cual verificará la calidad del hormigón provisto.

#### Dosificaciones mal calculadas

Aun realizando ensayos previos pueden cometerse errores al pensar que la cantidad en kilos (dosificación teórica) es idéntica a la cantidad en litros (dosificación en la práctica). Sin embargo, difieren, ya que el peso específico de los aditivos oscila entre 1 y 1,25. De no considerar este 'pase de unidades', al incorporar la misma cantidad en kilos pero en litros al camión se incrementará, por ejemplo para un aditivo de densidad relativa 1,20, un 20% más de aditivo, difiriendo de los estudios realizados con anterioridad. De esta manera pueden presentarse, en grado leve, algunos de los inconvenientes que se ejemplificarán más adelante.

#### Mezcla de aditivos de diferente tipo y/o marca

Existe la creencia generalizada de que cuando es necesario incorporar más de un aditivo al hormigón (por ejemplo, retardador de fragüe en planta y superfluidificante en obra) nunca pueden emplearse aditivos de marcas diferentes. El empleo de más de un aditivo debe ser estudiado con los materiales locales y para las dosis de aplicación en el laboratorio a fin de intentar

↗ Efectos del tiempo frío combinado con exceso de aditivos fluidificantes

*Si bien los aditivos aumentan notablemente la versatilidad del hormigón y han sido unos de los principales precursores de los avances de la tecnología del hormigón en los últimos años, si no se emplean adecuadamente pueden ocasionar serios inconvenientes que pueden involucrar la demolición de elementos de hormigón.*

inferir su compatibilidad si no produce ningún efecto perjudicial en las propiedades del hormigón fresco (por ejemplo, retraso prolongado de fragüe) y del hormigón endurecido (resistencias más bajas a diferentes edades que empleando un solo aditivo).

Sin embargo, lo más crítico en obra suele aparecer cuando se mezclan aditivos de diferente tipo, bien sean de la misma o de diferente marca. Ciertas combinaciones de aditivos pueden generar inconvenientes severos en obra, como algunos de los que se detallan en el presente artículo. Esto »



3 | Diferencia notoria en período de exudación e inicio de fragüe de pastones diferentes

no debe significar que no puedan utilizarse dos o hasta tres aditivos en un mismo hormigón, pero sí merece un estudio previo para no ‘encontrarse’ con el problema en la obra, lo cual siempre involucra costos adicionales e incertidumbre sobre la calidad final de las estructuras (fotografía 1). En algunas especificaciones de aditivos figuran posibles incompatibilidades, aunque no todas las que pudiesen aparecer.

#### **Mezclado insuficiente después de incorporar el aditivo y/o dosis excesivas de aditivos**

Ambos pueden traer las mismas consecuencias: hormigones sobredosificados de aditivos. Como se mencionó en el artículo anterior, la dosis se refiere siempre al volumen de hormigón que transporta el camión o al volumen remanente en el caso de una redosificación. En el caso de los cortes, cobra mucha importancia debido a que de incorporar la misma cantidad de aditivo que para un camión con su capacidad total cargada la cantidad de aditivo por  $m^3$  puede multiplicarse por dos a cuatro. Algo similar ocurre cuando se realiza un mezclado en sólo un par de minutos, en el cual no puede lograrse una homogeneidad del

pastón y la ‘cola’ o inicio de la descarga puede presentar una cantidad de aditivo muy superior a la deseada.

#### **Acopio o identificación inadecuada de aditivos**

Desafortunadamente, la mayor parte de los aditivos son ‘idénticos’ a simple vista y no pueden reconocerse fácilmente, salvo que se conozca el envase del cual provienen y por ende sus características. En el caso de existir una confusión del tambor o contenedor de aditivo (personal no capacitado, etiquetas borrosas, etc.), pueden aparecer errores importantes que lleven a la demolición del hormigón colado en obra. Por ejemplo, si se confunde el tambor de aditivo incorporador de aire con el de superfluidificante, al tener las dosis aproximadamente una razón de 10 (mayor para el segundo caso) traerán los efectos nocivos imaginables. Un caso similar es cuando se empleen aditivos fluidificantes o plastificantes en las dosis establecidas para superfluidificantes, pudiendo llegar a inhibir el fragüe en estos casos. De allí la importancia de la identificación adecuada de los aditivos y la capacitación del personal a cargo de su manipuleo. »



### Aplicar directamente las “recetas” que figuran en las especificaciones de los aditivos

Este es quizás el punto más sensible del análisis, y en algunos casos pueden aparecer inconvenientes aplicando directamente los porcentajes en función del peso del cemento que figura en las especificaciones brindadas por el proveedor. Es más, en algunos casos el intervalo de dosis propuesta es tan amplio que no se sabe qué porcentaje aplicar. Es por ello que es necesario realizar ensayos previos para verificar la dosis óptima para alcanzar la finalidad deseada, que podría ser cierto porcentaje de aire, retraso de fragüe en tantas horas o aumento del asentamiento en obra X centímetros. La norma IRAM 1663 brinda las definiciones, requisitos y métodos de ensayos para evaluar los aditivos para hormigones.

Para evitar un sinnúmero de posibles combinaciones se establece que los ensayos deben realizarse siempre bajo condiciones bastante estrictas. Entre

*Desafortunadamente, la mayor parte de los aditivos son “idénticos” a simple vista y no pueden reconocerse fácilmente, salvo que se conozca el envase del cual provienen y por ende sus características.*

ellas pueden mencionarse: empleo de cemento Pórtland normal, agregado fino con módulo de finura entre 2,4 y 2,6, tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1”, relaciones específicas entre el agregado grueso y el agregado total, contenido de cemento fijo de 300 Kg/m<sup>3</sup> y asentamiento de 6 cm, entre otras. Esto lleva a la conclusión de que estos ensayos pueden no ser representativos de diferentes condiciones particulares, partiendo de que el CPN se emplea poco en el país y la mayor parte de los aditivos reaccionan con el cemento. Los agregados no siempre cumplirán con las condiciones arriba referidas, y tanto el contenido de cemento como el asentamiento no coincidirán casi en ningún caso con alguna aplicación de obra. Es por ello que las dosis establecidas por los fabricantes que sí cumplen con la norma IRAM 1663 no son directamente extrapolables a nuestro hormigón. Es indispensable, en primer lugar, verificar la compatibilidad con el cemento empleado para evitar imprevistos.

El otro aspecto es el intervalo muy amplio de dosificaciones. Por ejemplo, para aditivos superfluidificantes se suele especificar de 0,50 a 1,40%, para aditivos incorporadores de aire de 0,02 a 0,04% y para retardadores de 0,15 a 0,30 por ciento. Pero siendo estos intervalos tan amplios, ¿qué porcentaje aplico para que el aditivo tenga el efecto deseado? ¿El mayor, el menor, el promedio? La respuesta es sencilla: deben realizarse ensayos, los cuales son de fácil ejecución, para determinar la dosis adecuada.

### Considerar que al incorporar un aditivo no deben evaluarse otros aspectos

Se podría mencionar una gran cantidad de ejemplos, pero se describirán dos. Si se solicita un aditivo hidrófugo para un hormigón categoría H-13, poco podrá hacer el hidrófugo, ya que el hormigón de por sí es muy permeable, con lo cual debe partirse siempre de una ‘buena base’ para que estos aditivos puedan actuar. Otro caso es el de los anticongelantes, que muchas veces se piensa que al incorporarlos no se debe proteger al hormigón de las bajas temperaturas. Tanto el reglamento como las especificaciones provistas por el fabricante de los aditivos anticongelantes establecen claramente que “el uso del aditivo anticongelante no dispensa de la aplicación de las normas y recomendaciones de orden general para la elaboración de un hormigón de calidad. En especial, deben observarse las disposiciones para el hormigonado en tiempo frío”.

### POSIBLES CONSECUENCIAS DE UN EMPLEO INCORRECTO DE ADITIVOS

#### Segregación del hormigón fresco y/o incorporación excesiva de aire

El exceso de la mayor parte de los aditivos puede traer como consecuencia la segregación del hormigón fresco o la incorporación no controlada de aire. En algunas ocasiones, ambas causas van superpuestas. En cualquier caso, el hormigón de la estructura no poseerá la calidad requerida, ya que visiblemente se podrán apreciar los efectos de la segregación (separación del agregado grueso del mortero) y un contenido de aire más elevado del convencional, que disminuirá la performance de la estructura. Si bien la mayor parte de los aditivos fluidificantes y superfluidificantes incrementan levemente el contenido de aire (entre 1 y 2%), los efectos que se describen son cuando existe »



una dosis excesiva de aditivos. Asimismo, de la mano de la segregación se incrementa la exudación y ciertas estructuras, como pavimentos y pisos, que podrán quedar con una capa superficial mucho más débil debido a estos efectos nocivos derivados del mal uso de aditivos.

Con aditivos superfluidificantes convencionales pueden obtenerse asentamientos del orden de 20 cm, que son suficientes para la mayor parte de las estructuras. Si se sigue incorporando aditivo con el objetivo de incrementar más aún el asentamiento, que, vuelve a reiterarse, rara vez es realmente necesario, el hormigón comenzará a segregarse y con una exudación excesiva que manchará las superficies del elemento. La segregación se hace más notoria en mezclas con bajos contenidos de cemento y finos.

En otros casos, cuando se emplean incorporadores de aire combinados con otros aditivos, puede existir una pérdida del contenido de aire en el tiempo y en el manipuleo y colocación del hormigón.

#### Retraso de algunas horas del fragüe inicial

La incorporación excesiva de algunos tipos de aditivo (por ejemplo, para el doble de la dosis para aditivos fluidificantes) puede retrasar el fragüe algunas horas. Estos problemas se ven siempre agravados con condiciones de tiempo frío y/o mala protección del hormigón fresco de bajas temperaturas (fotografía 2). En estructuras encofradas, como vigas y columnas, el inconveniente se ve manifestado en el retraso en una jornada del desencofrado de laterales, no teniendo efectos nocivos generalmente en la obra.

Sin embargo, en pisos industriales y pavimentos el tema es mucho más crítico. De allí la importancia de planificar de manera conjunta con la planta

↗ Exceso de aditivos en losa de edificio, con marcada exudación y probetas mostrando estos efectos, los cuales motivan caídas de resistencias

de hormigón elaborado, asegurando cierta constancia de asentamientos. De no ser así, a hormigones con asentamientos bajos se incorporará una dosis elevada de aditivo, mientras que a hormigones que lleguen con consistencia muy plástica a la obra no se incorporará aditivo, resultando en un decalaje en el fragüe de los diferentes viajes. Asimismo, en estas circunstancias el hormigón permanece en estado fresco más tiempo, con lo cual se agrava el riesgo de fisuración por contracción plástica y probabilidad de defectos superficiales por un acabado prematuro al no brindarle el tiempo necesario al hormigón colocado. También existe riesgo de defectos en juntas por un aserrado temprano. Otro costo adicional es que las medidas de precaución de protección de bajas temperaturas deberán extenderse algunos días en el tiempo por este retraso en el fragüe, que modifica el endurecimiento los primeros días del hormigón, aunque más adelante no afectará la performance de la estructura.

En pisos industriales llaneados, la diferencia de fragüe entre diferentes pastones trae inconvenientes con la terminación superficial, ya que algunos viajes ya han iniciado el fragüe y los contiguos aún no, siendo muy difícil definir un tiempo óptimo para espolvorear endurecedores y llanear mecánicamente el piso, ya que se corre el riesgo de no lograr la planicidad en los pastones que han fraguado más rápidamente. Bajo ciertas condiciones ambientales, el hormigón de la superficie puede apreciarse como visualmente apto para recibir los tratamientos superficiales, pero el hormigón subyacente puede permanecer aún en estado fresco y por ende exudando, con lo cual cualquier material aplicado en superficie sellará a ésta y el agua de exudación, al migrar a la superficie, quedará atrapada bajo esta capa promoviendo defectos. Es por ello que para »

pisos industriales es ampliamente recomendable el empleo en obra de aditivos superfluidificantes, ya que difícilmente retrasarán el fragüe, comparativamente con aditivos plastificantes o fluidificantes que sí afectan el inicio de fragüe del hormigón (fotografía 3). Se reitera que este efecto es más frecuente con temperaturas ambiente bajas, como condiciones de tiempo frío u hormigonado nocturno.

### Retraso considerable del fragüe y/o caídas de resistencia

En el caso de dosis muy elevadas de aditivos fluidificantes (dos a cuatro veces la dosis establecida debido a un error grosero en la medición, mezclado insuficiente o incorporación de dosis total de un mixer a un corte) o incompatibilidad entre aditivos o del aditivo y el cemento, el fragüe puede ser decalado entre 24 y 48 horas y en algunos casos más, presentando el hormigón un aspecto que aún continúa en estado fresco, siendo muy fácil de desgranar con cualquier medio (fotografía 4). En estos casos, deben investigarse las causas y posibles consecuencias en colaboración con el proveedor de hormigón elaborado.

Es recomendable esperar dos a tres días brindando condiciones adecuadas de temperatura para apreciar si visualmente ha pasado al estado endurecido, verificando esta evolución con ensayos no destructivos en la estructura, siendo recomendable contrastar con la extracción de testigos a una edad superior a 20 días. En estos casos, el endurecimiento siempre se verá retrasado de manera considerable, lo cual debe ser considerado para la habilitación de estructuras o carga de la misma. Si la situación continúa por más de cuatro a seis días con medidas de protección contra las bajas temperaturas, es recomendable demoler estos elementos.

### Decoloraciones

En la bibliografía especializada aparecen casos de decoloraciones amarillentas provocadas por el empleo de aditivos a base de cloruro de calcio, los cuales actualmente no son empleados. Asimismo, cuando existe un exceso de aditivo fluidificante o superfluidificante puede apreciarse como manchas marrones en la superficie, ya que el exceso de aditivos migra a la superficie con el agua de exudación. Esto se hace más notorio en superficies expuestas como losas, pero también puede aparecer en superficies encofradas.

*En pisos industriales llaneados la diferencia de fragüe entre diferentes pastones trae inconvenientes con la terminación superficial.*

### Rápidas pérdidas de asentamiento

La pérdida de asentamiento del hormigón fresco en un tiempo dado es un fenómeno normal y derivado de la hidratación misma del cemento y la evaporación de agua, lo que nunca debe ser confundido con el inicio del fraguado. Normalmente, existe una pérdida de asentamiento despreciable durante los primeros 30 minutos, pero a medida que transcurre el transporte, espera y descarga de los camiones en obra puede ser significativo, variando corrientemente entre 2 a 4 cm por hora. Los factores más influyentes son: tipo de cemento, tipo y dosis de aditivos, condiciones climáticas, relación agua/cemento, incompatibilidad entre cemento y aditivos y condiciones de transporte. Tal como se ha descrito, los aditivos superfluidificantes son los más recomendables para incorporar en obra e incluso los únicos admitidos por el Reglamento CIRSOC 201. El efecto no deseado que presentan es que su efecto dura entre 30 y 60 minutos y el hormigón reviene a un asentamiento similar al inicial antes de la incorporación del aditivo. Si la pérdida de asentamiento se produce antes de los 30 minutos o es tal de llevar al hormigón repentinamente a una consistencia seca (asentamiento menor a 5 cm), podría existir una incompatibilidad con el cemento empleado o con otros aditivos. La pérdida de asentamiento rápida resulta en reducida trabajabilidad y menos tiempo para colocar el hormigón, lo que es agravado para elevadas temperaturas, aumentando así el riesgo de incorporación de agua en la obra si no se manipulan adecuadamente los aditivos.

La eventual pérdida de asentamiento debe ser compensada antes de descargar mediante la incorporación de un aditivo superfluidificante en obra para lograr el asentamiento requerido para una adecuada colocación, con todas las recomendaciones estudiadas precedentemente. En el caso en que se pierde el efecto del superfluidificante, deberá redosificarse *a priori* entre el 25 y el 50% de la dosis inicial para el volumen remanente en el mixer, sin superar las dosis máximas recomendadas, sumando todas las veces que se incorpora. Si el aditivo presenta un buen comportamiento, dos redosificaciones no traen ningún problema. «



# PLATEAS DE FUNDACIÓN Y HORMIGÓN ELABORADO



Ms. ING. MAXIMILIANO SEGERER -  
Responsable de Control de Calidad  
de Hormicón S.A. ([maxisegerer@hotmail.com](mailto:maxisegerer@hotmail.com))

Es sabido que cuando se deben hormigonar estructuras masivas es necesario adoptar varios recaudos adicionales para lograr el éxito de la obra. El Proyecto de Reglamento CIRSOC 201-05 define como estructuras masivas a aquellas que tienen todas sus dimensiones superiores a 75 cm, al tiempo que brinda una gran cantidad de recomendaciones para la realización correcta de los trabajos. La característica distintiva de este tipo de obras radica en que dentro del hormigón se desarrollan importantes temperaturas que pueden llegar a fisurarlo.

Sin ahondar en detalles técnicos, esta elevación de temperatura está dada por las reacciones de hidratación y fragüe del cemento, que al ser exotérmicas liberan calor. Este incremento de temperaturas tiene que disiparse, pero en el caso de estructuras de importantes espesores el proceso tarda varios días y si no se adoptan las medidas adecuadas la diferencia de temperatura entre el interior del hormigón y el ambiente exterior puede generar tensiones de tracción que fisurarán al hormigón endurecido. Si adicionalmente se presentan factores que tiendan a incrementar esas temperaturas, como el hormigonado en tiempo caluroso, el riesgo de fisuración también aumentará, siendo estas fisuras muy difíciles de subsanar una vez producidas.

La experiencia demuestra que si se planifican las tareas de una semana para la siguiente, si no se rea-

lizan ensayos o si no se involucran todas las partes interesadas, entre otros aspectos, sólo por casualidad se llegará a buenos resultados tanto en lo técnico como en lo económico.

## PLATEAS DE FUNDACIÓN

Las plateas de fundación son muy empleadas como sustento de edificios de altura, tanques, reservorios, superestructuras de puentes y otras obras civiles; presentando en general una gran superficie y un espesor que muchas veces supera los 75 cm e incluso llega a sobrepasar los 2 m. Además, la mayor parte de las veces se decide hormigonar en una sola etapa con el objeto de evitar juntas frías y este tipo de fundaciones requiere volúmenes de hormigón que pueden superar los 500 m<sup>3</sup>, por lo que no sólo cumplen un rol relevante los requisitos técnicos »

sino también la implementación de una logística integral.

Es por ello que el proveedor de hormigón elaborado juega un papel muy significativo en este tipo de obras, ya que sobre él recae una gran parte de la responsabilidad, debiéndose involucrar al máximo tanto en el diseño del hormigón como en recomendaciones para contrarrestar los efectos del tiempo caluroso, la planificación de la logística de despacho, las tareas de hormigonado y los ensayos durante todas las etapas.

### **PARTICIPACIÓN DESDE EL DISEÑO**

Siempre es recomendable que el calculista o consultor de la constructora realice estudios y cálculos estimando las temperaturas máximas y su evolución durante las primeras edades para optimizar recursos y encontrar la solución más económica cumpliendo con los requisitos técnicos. Para el desarrollo de esos procedimientos se sugieren las recomendaciones ACI 207.1R a 4R, respetando también las disposiciones del CIRSOC 201-05.

De ese estudio, en el que se tiene en cuenta una gran cantidad de parámetros tales como tipo de estructura, su vinculación con el terreno, tipo de cemento, dosificación del hormigón y temperaturas del hormigón y del ambiente, surgirá una temperatura máxima admisible del hormigón fresco cuando llegue a obra. Mientras más elevada sea la misma mayor será el gradiente térmico y, con ello, se incrementará el riesgo de fisuración.

A partir de ese dato, del que lamentablemente muchas veces no se da cuenta, el proveedor de hormigón elaborado deberá interactuar con el cliente mediante la realización de ensayos para asegurar que se cumplan las condiciones establecidas, que se refieran no sólo a su temperatura en fresco sino también a su resistencia, consistencia, contenido

de aire incorporado y tiempos de fraguado, entre otras variables.

Asimismo, el proveedor puede intervenir en el diseño, recomendando, por ejemplo, un cambio de la edad de diseño del hormigón, tal como se hizo en algunas plateas de magnitud en el gran Mendoza, donde se sugirió y se cambió la edad de diseño del hormigón de 28 a 90 días aprovechando el incremento de resistencias que ciertos cementos poseen. En esas obras se empleó cemento Pórtland puzolánico, que posee un incremento de resistencias del orden del 20% entre 28 y 90 días. Así pudo disminuirse un 10% el contenido de cemento, logrando no sólo una reducción del 5% en el costo de los importantes volúmenes de hormigón sino también una importante merma en la temperatura que se desarrolla en el mismo.

### **CONDICIONES CLIMÁTICAS**

En la mayoría de estas obras de envergadura no se pueden elegir las horas del día de menor temperatura para hormigonar, ya que las tareas de hormigonado continuo suelen superar las 12 horas e incluso las 24 horas. En ese caso, se deben prever las condiciones climáticas del día de hormigonado. Esta previsión sirve para tener una idea de cuáles

serán las temperaturas a diferentes horas del día y se realiza mediante el análisis estadístico de temperaturas medias diarias del mes en que se hormigonará y su variación a lo largo del día. Esta es una manera fiable de intentar “pronosticar” cuáles serán las condiciones climáticas del día del operativo con suficiente antelación, obteniendo como resultado un “día tipo”.

Si bien la temperatura ambiente no condiciona unívocamente la temperatura del hormigón fresco, la realización de una importante campaña de ensayos midiendo la temperatura del hormigón fresco y la temperatura ambiente es de suma utilidad. A mayor temperatura ambiente se produce un mayor asoleamiento de los materiales componentes y el incremento de su temperatura se verá directamente reflejado en la temperatura del hormigón fresco. Es así como se puede obtener un gráfico o relación temperatura ambiente vs. temperatura del hormigón fresco. Con ayuda del “día tipo” y de este gráfico pueden estimarse las temperaturas del hormigón fresco que se presentarán en el día del hormigonado para condiciones que estadísticamente son las más probables.

Así se tendrá una curva de cómo evolucionará la temperatura del hormigón fresco el día del hormigonado. »



Platea masiva de 1.900 m<sup>3</sup> de volumen hormigonada en 20 horas



No obstante, como no se posee seguridad de las condiciones se deberá tener un margen de seguridad de 2 a 4°C para evitar cualquier tipo de imprevisto. Obtenidas la evolución y la temperatura máxima que alcanzará el hormigón fresco se comparan con las máximas admitidas de los estudios preliminares y si cumplen, incluyendo el margen de seguridad, no será necesario tener en cuenta medidas adicionales para reducir su temperatura.

En el caso de que la temperatura máxima admisible del hormigón fresco esté por debajo de la máxima estimada para el día del hormigonado, se deberán tomar todas las medidas necesarias para bajar la temperatura máxima estimada y que cumpla con la máxima admisible. Entre esas acciones se pueden recomendar: emplear arena lavada (lo que disminuye entre 3 y 4°C), riego continuo de los acopios de agregados y/o colocarlos bajo toldos y en algunos casos emplear hielo como reemplazo del agua de mezclado y para refrigerar las piletas de agua.

Una o más de estas medidas deben ser llevadas a cabo para disminuir la temperatura del hormigón fresco y que la misma no sobrepase el máximo admisible en ninguna hora del día. Así, probablemente en las horas de la madrugada no será necesario incorporar hielo, mientras que en las horas de máxima temperatura se deberá agregar la mayor cantidad posible dependiendo de ensayos previos; es decir, las dosificaciones son completamente variables a lo largo del día, ya que la cantidad de hielo en escamas será variable con el objeto de mantener la mayor homogeneidad posible de las propiedades del hormigón fresco.

### ENSAYOS A REALIZAR

Como base para los estudios mencionados deben realizarse ensayos de calor de hidratación del cemento y elegir el mismo para



minimizar no sólo la temperatura máxima alcanzada sino para que su liberación sea lo más lenta posible en las primeras horas. Por ello, son muy recomendados cementos con adiciones como puzolanas o escorias de alto horno. El empleo de aditivos retardadores de fraguado y fluidificantes debe ser evaluado como alternativa, principalmente para retrasar el tiempo inicial de fraguado y evitar las juntas frías imprevistas.

Además de los ensayos para determinar la dosificación del hormigón entra en juego el aseguramiento de una temperatura del hormigón fresco no perjudicial, ya que si sólo se cumplen las temperaturas máximas admitidas en los reglamentos de 30°C aproximadamente existen altas posibilidades de que la obra fracase.

En el caso de tener que descender la temperatura del hormigón

fresco existen fórmulas para estimar su temperatura en función de las temperaturas y calores específicos de sus materiales componentes; fórmulas que también incluyen la incorporación de hielo. Por experiencias locales, estas fórmulas (que figuran en los comentarios del CIRSOC y en la recomendación ACI 305) no han traído buenos resultados y, por ello, se recomienda realizar ensayos en camiones hormigoneros, describiéndose a continuación una metodología propuesta citando como ejemplo el empleo de hielo, pero aplicable a cualquiera de los otros métodos que ayudan a disminuir la temperatura del hormigón fresco.

En un día cualquiera de despacho medir la temperatura de un pastón y al inmediato siguiente, de la misma categoría, se incorpora cierta cantidad de hielo, por ejemplo 30 kg/m<sup>3</sup>. Al pastón siguiente se le pueden incorporar 60 y al tercero 90 kg/m<sup>3</sup> de hielo en reemplazo del agua de mezclado. Por último, se mide la temperatura de un pastón siguiente sin la incorporación de hielo. Así, se puede evaluar cuál es el poder reductor de la temperatura del hormigón fresco en función de diferentes medidas que pueden adoptarse con valores más realistas que los calculados con la fórmula empírica.

Durante todo el hormigonado deben realizarse ensayos tanto en planta como en obra, determinando las propiedades del hormigón fresco, moldeando probetas y llevando un registro continuo de las condiciones climáticas. Antes del hormigonado de la platea es muy recomendable que se coloquen una o más termocuplas en la mitad del espesor de la platea y realizar un seguimiento de la temperatura en su interior durante la primera semana después de hormigonada; datos que corroborarán o refutarán las hipótesis empleadas y que serán más que valiosos para próximos trabajos en estructuras masivas (de otra manera se perderían). »



## LOGÍSTICA

No sólo es suficiente tener un hormigón que cumpla con todos los requerimientos sino también hay que evaluar la manera más práctica para colocar estos grandes volúmenes en la obra, que pueden requerir para verse más de 24 horas consecutivas: el montaje del operativo de hormigonado es esencial. Al hormigonar en horas de la noche deben poseerse en obra las medidas de seguridad necesarias para evitar accidentes.

En cuanto a la logística, debe estudiarse el número óptimo de camiones para cada hora del día; de nada sirve tener un exceso de camiones si forman largas colas para descargar y entorpecen las tareas. Además, hay que tener en cuenta la rotación de los choferes y que en horas de la noche existirá menor tráfico, por lo que debe disminuirse la frecuencia de camiones y colocar el máximo en las horas pico de congestión de tránsito. Para aliviar esta situación puede ser conveniente hormigonar los días de fin de semana y solicitar el corte del tránsito en

el perímetro, lo que conlleva la publicidad en diarios y noticieros para comunicar a la población. Todas estas tareas conducen a que la planificación deba realizarse al menos con un mes de anticipación.

También se deberá estudiar el número óptimo de bombas dependiendo de las cuadrillas disponibles, siempre teniendo una bomba de repuesto estacionada en la obra por cualquier inconveniente que pueda surgir. Estos aspectos deben coordinarse de manera conjunta con el constructor, debiendo concurrir los bombistas a la obra para fijar los lugares óptimos para la descarga de camiones y bombeado posterior del hormigón.

Con respecto a los materiales constituyentes, debe poseerse la logística necesaria para que nunca falten agregados, cemento, agua ni aditivos, y que los primeros en particular sean tratados eventualmente para disminuir su temperatura. Si se emplea hielo, se preverá con antelación, ya que las cantidades pueden ser muy significativas y es preciso asegurarse que los camiones que lo transporten lleguen al iniciarse las tareas de hormigonado.

Se debe asesorar al constructor respecto al *planning* de la colocación, como, por ejemplo, optimización del colado en diferentes puntos para evitar juntas en función del tiempo inicial de fraguado, métodos apropiados y cantidad de vibradores disponibles, rotación de cuadrillas, etc.. A todo esto hay que sumar el hecho de que si no funciona alguno de los mecanismos el operativo no servirá: es esencial, por lo tanto, que exista una coordinación entre los encargados de obra, responsables de calidad, bombistas y plantistas; concientizándose a los mismos sobre la importancia que tienen sus roles para que las tareas resulten según lo planificado. Este monitoreo debe realizarse en las tareas previas y de preparación, en todo el hormigonado con gran intensidad y en las tareas posteriores, tales como el seguimiento del comportamiento de la platea y el incremento de temperaturas en su interior.

En el siguiente cuadro se resumen los datos más relevantes de tres plateas de envergadura en el gran Mendoza. ¶

Descripción		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Fecha del hormigonado		4 y 5 de febrero de 2006	20 de agosto de 2006	19 de mayo de 2007
Temperatura máxima ambiente	Registrada	real: 34°C	real: 17°C	real: 23°C
	“Día tipo”	estimada: 35°C	estimada: 19°C	estimada: 21°C
Volumen de hormigón		1900 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup>	790 m <sup>3</sup>
Espesor de la platea		1,90 m	1,90 m	entre 1,30 y 1,60 m
Duración de las tareas		20 horas	13 horas	18 horas
Equipos afectados	Bombas	4 fijas y 1 de repuesto	2 fijas y 1 de repuesto	3 fijas y 1 de repuesto
	Camiones	24	12	15
Parámetros principales de dosificación	Hormigón	H-21 a 90 días		
	Cemento	CPP 40 - 320 kg/m <sup>3</sup>	CPP 40 - 330 kg/m <sup>3</sup>	CPP 40 - 335 kg/m <sup>3</sup>
	Aditivos	Retardador de fragüe incorporado en planta y fluidificante en obra		
	Hielo	75.000 - 0 a 80 kg/m <sup>3</sup>	No se consideró necesario el empleo de hielo	
Temperaturas alcanzadas	H° Fresco	entre 24 y 28°C	entre 16 y 24°C	entre 18 y 26°C
	En la platea	64,7°C a las 48 hs	No se colocaron termocuplas en la platea	

# Soluciones prácticas para el hormigonado en tiempo caluroso

Si bien en *Hormigonar* se han publicado diversas notas sobre hormigonado en tiempo caluroso, presentamos este artículo ahora debido a que en estos meses comienza el período estival en nuestro país. Es un artículo netamente práctico, apoyado con fundamentos para que trabajemos adecuadamente el hormigón y podamos defender criteriosamente nuestro accionar ante nuestros clientes e inspecciones.

---

**Ms. ING. MAXIMILIANO SEGERER**

*Control y Desarrollo de Hormigones*  
[www.cdormigones.com.ar](http://www.cdormigones.com.ar)

---

Al acercarse la época estival en climas con estaciones bien definidas, o en varios meses durante el año en climas calurosos y tropicales, la temperatura ambiente suele sobrepasar los 32 ó 34 °C, y con estas condiciones ambientales generalmente la temperatura del hormigón sobrepasa los 30 °C. Esta temperatura inicial del hormigón estará condicionada por la temperatura ambiente, ya que los acopios de agregados absorberán el calor proporcionado durante toda la jornada e incrementarán la temperatura del hormigón fresco.

Sin embargo, la definición de tiempo caluroso no está vinculada unívocamente con las temperaturas elevadas, pudiendo –según reglamento– haber tiempo caluroso aun en invierno con temperaturas menores a 10 °C si otras condiciones ambientales se presentan al mismo tiempo. Como ejemplo, las medidas precautorias que se requieren en un día calmo y húmedo serán mucho menos estrictas que las requeridas en un día seco y ventoso, y aun si la temperatura del aire y el hormigón son iguales.

Se define tiempo caluroso como “cualquier combinación de alta temperatura ambiente, alta temperatura del hormigón, baja humedad relativa y/o alta velocidad del viento, que

incrementen la velocidad de evaporación de agua y/o aceleren las reacciones de hidratación y fragüe pudiendo perjudicar las propiedades del hormigón fresco o del hormigón endurecido”. Para conocer si se está en tiempo caluroso, es recomendable que en obra –diariamente y a distintas horas– se registre la temperatura y la humedad relativa ambiente, la temperatura del hormigón y la velocidad del viento (este último parámetro, indispensable en el caso de losas y pavimentos) en el mismo lugar de colocación del hormigón.

## **Riesgos asociados al hormigonar en tiempo caluroso**

En tiempo caluroso deben tomarse ciertas medidas preventivas para evitar que el hormigón se dañe a edades tempranas. Éstos son los efectos negativos del tiempo caluroso en el hormigón fresco:

Se incrementa la demanda de agua para igual asentamiento, a razón de 0,8 a 1,0 litros/°C, que debe compensarse aumentando el contenido de aditivos y/o cemento para igualar resistencia y durabilidad, con lo cual suele ser más costoso producir hormigones en tiempo caluroso.

- Se acelera la pérdida de asentamiento, y en consecuencia aumenta el riesgo de incorporación indiscriminada de agua para poder trabajar el hormigón más fácilmente.



- Se dificulta el control de aire en el hormigón fresco cuando se emplean incorporadores de aire.
- Se disminuyen los tiempos de fragüe, con lo cual el inicio de fragüe puede ocurrir entre 2 y 4 horas después del mezclado inicial del hormigón. Como ejemplo, un aumento de la temperatura inicial de 15 °C suele reducir a la mitad el tiempo inicial de fragüe.
- Las tareas de colocación, compactación y terminación superficial deben realizarse mucho más ágilmente.
- Se incrementa el riesgo de fisuración por contracción plástica, lo cual será estudiado en detalle para prevenir su aparición durante las primeras horas después del colado.
- Se incrementa la necesidad de protección y curado tempranos.
- Se aumenta la velocidad de evaporación de agua del hormigón y es indispensable el aserrado temprano, ya que en varias ocasiones aserrar al día siguiente puede ser demasiado tarde.
- Se incrementa el riesgo de fisuras por contracción térmica.
- Se aumenta de probabilidad de ocurrencia de daños superficiales en pisos, pavimentos y losas, tanto por las condiciones climáticas como por el "riego de agua" inapropiado para facilitar las tareas de terminación.
- Se incrementa la posibilidad de aparición de juntas frías, tanto por el fragüe más repentino del hormigón como por la mayor pérdida de consistencia en el tiempo, debiéndose tomar precauciones en la logística de provisión de hormigón, principalmente en estructuras como pavimentos, pisos, hormigones vistos arquitectónicos y estructuras de contención de agua, donde las juntas de trabajo no son admisibles.

De todas formas, si se toman precauciones y recaudos específicos, aun para temperaturas tan elevadas como 40 °C se pueden lograr excelentes resultados. Para mitigar los efectos nocivos del tiempo caluroso, debe proponerse analizar todo

el proceso de construcción de la estructura, partiendo desde las materias primas constituyentes de la mezcla, pasando por la dosificación y elaboración del hormigón, y concluyendo después de transcurrido un tiempo de colocado, ya que las propiedades hacen del hormigón un excelente material de construcción, pero puede ser adversamente afectado por el tiempo caluroso, de acuerdo con lo definido.

### Reducción de la temperatura inicial del hormigón

Para disminuir la temperatura del hormigón fresco, deberá trabajarse para reducir la de sus materiales constituyentes (Figura 1), no existiendo otros aditivos o métodos para disminuir una temperatura inicial elevada:

F.1. Enfriamiento de materiales constituyentes



- Agregado grueso: actuar sobre la fracción gruesa es el mejor camino y el más económico, ya que estos agregados son los que ocupan mayor volumen en el hormigón. Descender la temperatura del agregado grueso en 2 °C disminuye la temperatura del hormigón en 1 °C. Puede llevarse a cabo con riegos o aspersiones periódicas, pudiendo descenderse su temperatura entre 4 y 5 °C, lo cual resultará en 2 a 3 °C del hormigón fresco. Debido a la variabilidad que tendrá el agregado en su contenido de humedad, »

los plantistas y laboratoristas deberán estar muy atentos a la corrección por humedad de agregados y ajuste de asentamientos a la salida de planta.

- Agregado fino: el enfriamiento con agua de esta fracción se torna mucho más complicado, ya que puede empastarse y es muy difícil de manipular. Para el caso de las arenas, puede ser muy útil emplear arenas lavadas, ya que tendrán menor temperatura y absorberán menos el calor durante el día. Una alternativa es techar o colocar mediasombras en los acopios de agregados para reducir el efecto de la radiación solar.
- Agua de mezclado: puede reducirse mediante el empleo de hielo en las piletas de almacenamiento, sistemas de refrigeración tipo *fan-coil* que pueden reducir más de 20 °C su temperatura inicial o medidas de protección como pinturas o toldos sobre las cisternas de agua. El agua es la que posee mayor efecto por unidad de peso entre todos los componentes del hormigón, con un calor específico 4 a 5 veces mayor que el cemento o los agregados. En contrapartida, es el material que menos participa en proporción. Por ejemplo, al reducir la temperatura del agua unos 4 °C se reduce la del hormigón fresco 1 °C; es decir, si se logra bajar 20 °C de forma aproximada, se disminuirá la temperatura inicial del hormigón en unos 5 °C.
- Cemento: es el material sobre el que menos puede intervenir. Medidas posibles serían proteger los silos con pinturas especiales o emplear cementos no recién recibidos, los cuales pueden llegar a veces a las plantas elaboradoras con temperaturas superiores a 75 °C.
- Hielo como reemplazo de parte del agua de mezclado: cuando es imprescindible la reducción de la temperatura en más de 6 a 8 °C, como por ejemplo para estructuras masivas con requisitos especiales, es casi indispensable recurrir al hielo (Figura 2). Sin embargo, además de costoso es muy difícil de manipular, pesar, incorporar y regular asentamientos en planta, con lo cual

debe emplearse cuando estén agotadas las otras formas de bajar la temperatura del hormigón. El hielo que mejor actúa es el que se presenta en escamas y en segundo lugar como “cubitos” o “rolitos”, pudiendo llegar a sustituir el 60% del agua de mezclado. Según experiencias, cada 10 kg de hielo/m<sup>3</sup> en reemplazo de agua de mezclado reducen aproximadamente de 1 a 1,5 °C la temperatura del hormigón fresco. Reemplazando el 50% del agua de mezclado por hielo se reducirá aproximadamente 10 °C la temperatura inicial. Debe tenerse en cuenta que el hielo, para que no pierda su poder refrigerante, tendrá que estar almacenado en camiones frigoríficos en obras de envergadura o conservadores tradicionales o *freezers* para obras de mediana magnitud. La cantidad de hielo a incorporar no será constante durante la jornada, sino que será mayor la proporción durante las horas de mayor temperatura y disminuirá o se eliminará para hormigonado nocturno a fin de mantener una uniformidad de temperaturas.

- Otros medios de enfriamiento: en caso de obras de gran envergadura, puede realizarse un preenfriamiento del camión hormigonero con nitrógeno líquido, pero no es una técnica de uso común.

F.2 Reducción de la temperatura inicial empleando hielo



Todos los valores arriba mencionados son sólo referenciales y siempre deberán realizarse ensayos previos con el fin de evaluar la efectividad de las diferentes medidas para reducir la temperatura del hormigón fresco, tanto desde la facilidad operativa como para un balance económico. No es aconsejable aplicar directamente las ecuaciones de estimación de temperatura según recomendaciones, ya que suelen brindar resultados demasiado optimistas respecto a los resultados de ensayos y experiencias locales. En caso de emplearlas, deberá ser sólo como una aproximación inicial, pero siempre verificados mediante ensayos a escala industrial en camiones mezcladores.

Según la mayor parte de las recomendaciones internacionales, la temperatura máxima del hormigón elaborado al llegar a la obra no debería sobrepasar los 32 °C, con lo cual, si es una exigencia de la obra, deberán tomarse una o más de las medidas arriba referenciadas para lograr el objetivo.

### Medidas para reducir el riesgo de fisuración por contracción plástica

Si bien la temática de fisuración por contracción plástica se estudia en el presente artículo, en condiciones ambientales de bajas temperaturas también puede aparecer este tipo de fisuración, como se detallará más adelante, fundamentalmente en climas áridos y/o ventosos, aun para temperaturas bajas (ambos climas, presentes en nuestro país). Esta fisuración tan “cotidiana y molesta”, que todos los que trabajan con el hormigón habrán padecido, puede prevenirse y evitarse siguiendo sencillas reglas prácticas.

La fisuración por contracción plástica aparece en la superficie del hormigón fresco pocos momentos después de la colocación, mientras se está acabando el hormigón o después de esta tarea, aproximadamente entre 1 a 3 horas del colado del hormigón. Estas fisuras aparecen principalmente en superficies de losas, pavimentos y pisos industriales, y se las puede eliminar si se toman medidas preventivas, sobre todo en lo que respecta a las tareas de protección y curado. Son características de las superficies en contacto con el ambiente, no apareciendo en elementos encofrados como columnas o tabiques; de allí la importancia que tiene en elementos como pisos industriales y losas, ya que su reparación, por más sencilla que sea, insumirá muchos más recursos que

las medidas preventivas que pueden adecuarse a cada caso en particular, además de no restituir la estética.

El mecanismo de fisuración es sencillo de explicar. Las fisuras aparecen cuando el agua se evapora de la superficie más rápidamente que la aparición del agua de exudación, creando un secado rápido y prematuro, y con ello esfuerzos de tracción que el hormigón no puede absorber, ya que no ha iniciado su fragüe. El principio fundamental para comprender su génesis puede resumirse de la siguiente manera:

- Si  $\rightarrow$  Velocidad de Evaporación  $>$  Velocidad de Exudación  $\rightarrow$  Fisuración por contracción plástica

Una losa o pavimento recién terminado presenta un brillo superficial, producto de la presencia de agua de exudación que tiende a perderse luego de un determinado tiempo, que será más o menos extenso dependiendo de las condiciones climáticas en el momento del colado y del grado de protección logrado. Cuando el agua se evapora, la superficie tiende a opacarse, perderá el brillo y se traduce en una pérdida de volumen en la zona cercana a la superficie, cuya consecuencia es una retracción diferencial de la zona superficial respecto del resto del hormigón, que al estar saturado en contacto con una base o encofrados bien humedecidos, no sufre variaciones dimensionales. Si la superficie se seca después de las 3 a 5 horas, cuando el hormigón está próximo o ha iniciado su fragüe, el hormigón no se fisurará, por lo que las medidas deberán focalizarse en proteger el hormigón las primeras horas después del colado.

Ya que la velocidad de exudación se encuentra “limitada tecnológicamente” o, en otras palabras, no puede aumentarse en demasía este parámetro de la expresión del principio de fisuración, deberá estudiarse fundamentalmente el otro factor de la ecuación: la velocidad de evaporación. Las cuatro condiciones o factores que aumentan la evaporación del agua en cualquier condición, no sólo en el hormigón fresco, son:

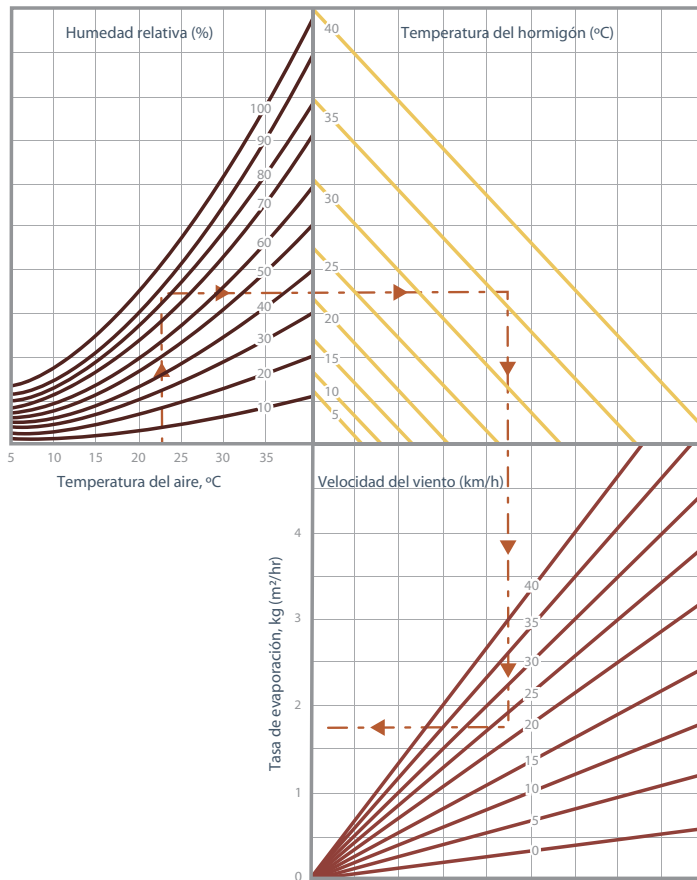
- Elevada temperatura del aire u hormigón.
- Baja humedad relativa.
- Elevada velocidad del viento.

Si bien puede estimarse con ayuda del ábaco adjunto (Figura 3) cuándo existe riesgo de fisuración por contracción plástica, no hay manera de predecir con seguridad suficiente cuándo va a ocurrir la fisuración ni con qué gravedad. También existen programas en los que, entrando los datos de temperatura del aire, temperatura del hormigón, humedad relativa ambiente y velocidad del viento, se estima la tasa de evaporación superficial. Para utilizar el ábaco, es indispensable contar con una pequeña estación meteorológica en el sitio de colado, que registre al menos temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento.

1. Ingrese al ábaco con la temperatura del aire (°C) y muévase hacia la humedad relativa (HR %).
2. Muévase hacia la derecha para la temperatura del hormigón (°C).
3. Muévase hacia abajo con la velocidad del viento (km/h).
4. Muévase hacia la izquierda y léase la tasa de evaporación aproximada (kg/m<sup>2</sup> x hora).

Para apreciar la relevancia de cómo influyen los diferentes factores es útil brindar algunos ejemplos. Si la humedad relativa disminuye del 80% al 30% (o del 90% al 50%), la velocidad de evaporación en la superficie del hormigón (y el consecuente riesgo de fisuración por contracción plástica) se quintuplica. Si la velocidad del viento aumenta de 0 a 15 km/h, la velocidad de evaporación se cuadruplica. Si la temperatura ambiente aumenta de forma importante, se puede llegar a duplicar la evaporación. Como se aprecia, las influencias más perjudiciales son las condiciones de humedad relativa y de velocidad del viento, y no la temperatura ambiente –como se cree–, lo que se demuestra en el ábaco, apareciendo estas fisuras no necesariamente en tiempo caluroso. Por ejemplo, para temperatura ambiente de 4 °C, temperatura de hormigón de 15 °C, humedad relativa 50% y velocidad de viento de 40 km/h en las inmediaciones de la obra, se catalogan como tiempo caluroso desde el punto de vista reglamentario y la velocidad de evaporación resultante por el ábaco es superior a 1 kg/m<sup>2</sup> x hora. Esta velocidad de evaporación obtenida del ábaco debe compararse con la velocidad de exudación. Siempre es recomendable realizar ensayos para determinar la capacidad y la velocidad o

F.3. Abaco de evaporación



tasa de exudación al menos al comenzar la obra y cuando existan cambios de materiales, siguiendo los procedimientos de la Norma IRAM 1604. Debido a que no siempre se cuenta con estos resultados, se toman valores recomendados de la velocidad de exudación para hormigones convencionales. Suele convenirse que:

- Si la velocidad de evaporación está entre 0,1 a 0,5 kg/m<sup>2</sup> x hora → Existe muy poco riesgo de fisuración.
- Si la velocidad de evaporación supera 0,5 kg/m<sup>2</sup> x hora → Existe riesgo moderado de fisuración plástica.
- Si la velocidad de evaporación supera 1 kg/m<sup>2</sup> x hora → Existe riesgo severo de fisuración plástica. »

Como principio general, hay que evitar la pérdida súbita de humedad del hormigón fresco. Una o más de las precauciones listadas abajo pueden minimizar o eliminar la ocurrencia de fisuración plástica y deben escogerse en función de la disponibilidad de medios en la obra, del tipo de estructura y severidad del ambiente:

- Dosificación del hormigón elaborado:
  - › Mantener baja la temperatura del hormigón a través del enfriamiento de los agregados y el agua.
  - › Incorporar fibras de polipropileno al hormigón, lo que ha mostrado muy buenos resultados en el país.
  - › No retrasar en demasía el fraguado, para no prolongar el tiempo en que el hormigón es susceptible a figurarse, por ejemplo, por el empleo indiscriminado de aditivos en obra.

#### F.4 Protección de fisuras de contracción mediante niebla



#### F.5 Otras medidas para evitar fisuras por contracción



- Tareas previas a la puesta en obra:
  - › Humedecer adecuadamente la base de apoyo y los encofrados (Figura 5) y armaduras antes de la colocación del hormigón, sin encharcar, debiendo remover –si existen– excesos de agua antes de colocar el hormigón.
  - › Levantar parabrisas temporarios para reducir la velocidad del viento sobre la superficie del hormigón.
  - › Colocar sombrillas o toldos temporarios para reducir la radiación solar.
- Protección y curado del hormigón:
  - › Crear una niebla de agua sobre la losa inmediatamente después de la colocación y antes del acabado y curado, intentando prevenir la acumulación de agua que reduce la calidad del hormigón en la superficie de la losa (Figura 4). Este método es el más efectivo, ya que aumenta la humedad relativa en la superficie de la losa y disminuye la temperatura y la radiación solar en las inmediaciones del hormigón. No debe aplicarse directamente con mangueras, lo que deja exceso de agua, sino mediante boquillas o aspersores. Se deberá aplicar hasta el inicio del fragüe del hormigón. »
  - › Aplicar películas para retener la humedad, no siendo de aplicación las membranas de base acuosa en condiciones muy severas y siendo siempre recomendables las membranas de curado en base solventada, ya que para el caso de membranas acuosas su base se evaporará y no tendrá el efecto deseado (Figura 5).
  - › Proteger el hormigón con cubiertas temporarias, tales como láminas de polietileno (Figura 5) o mantas de arpillera, cuando no interese el acabado superficial, como en losas de edificios, no siendo aplicables en pavimentos, ya que estas técnicas marcarán la superficie final. »

### Otras precauciones en tiempo caluroso

Además de los cuidados para evitar fisuras por contracción plástica y eventualmente reducir la temperatura inicial del hormigón, debe considerarse lo siguiente:

- Verificar la disponibilidad de elementos de protección y curado antes de comenzar el colado.
  - Reducir el contenido de cemento al mínimo compatible con condiciones de resistencia y durabilidad.
  - No emplear hormigones con contenidos de cemento muy elevados o categorías resistentes altas, salvo que sean estrictamente necesarias por condicionantes del proyecto. Si deben emplearse este tipo de hormigones o para el caso de hormigones masivos, diseñarlos a edades de 90 días, aspecto a consultar con el calculista.
  - No emplear aditivos acelerantes o cementos de alta resistencia inicial.
  - Es recomendable emplear aditivos retardadores de fraguado, ya que postergarán el fragüe inicial y reducirán la necesidad de incorporar agua en obra, además de reducir cierta cantidad de agua de mezclado.
  - Debe programarse la frecuencia de entregas, de modo que haya una demora mínima en el uso del hormigón.
  - Es recomendable siempre solicitar aditivos superfluidificantes para su incorporación en obra, con el fin de poder manejar fácilmente la pérdida de asentamiento en tiempo caluroso, admitiendo siempre su redosificación.
  - Utilizar la consistencia que permita la más rápida colocación, vibrado y terminación de superficies.
  - Programar las tareas de llenado para las horas del día de menor temperatura, evaluando la posibilidad del hormigonado nocturno si se tienen las medidas de seguridad adecuadas (Figura 6).
- Cuidado adicional sobre posibles juntas no previstas y contar con los medios necesarios para actuar si éstas aparecen. Debe colocarse el hormigón en capas de poco espesor, para asegurar que las capas previas todavía respondan al vibrado, evitando por lo tanto las uniones discontinuas.
  - De ser factible, es recomendable el curado húmedo por el período especificado.
  - Cuando se coloca hormigón en moldes, deben enfriarse las armaduras y encofrados, rociándolos con agua; como así también humedecerse la base antes de colar pisos y pavimentos.
  - Para estructuras masivas, se deben extremar las precauciones y estudiar los requisitos del proyecto.
  - Siempre es recomendable organizar reuniones previas al hormigonado. «

*“Para conocer si se está en tiempo caluroso, es recomendable que en obra –diariamente y a distintas horas– se registre la temperatura y la humedad relativa ambiente, la temperatura del hormigón y la velocidad del viento en el mismo lugar de colocación del hormigón”*

F.6. Hormigonado nocturno en tiempo caluroso



# Soluciones prácticas para el hormigonado en tiempo frío

**Ms. ingeniero Maximiliano Segerer**

*Control y Desarrollo de Hormigones*  
[www.cdormigones.com.ar](http://www.cdormigones.com.ar)

En una gran cantidad de ciudades de nuestro país, a partir de los meses de abril y mayo comienzan períodos de tiempo frío; mientras que en otras sólo aparecen en algunos períodos de junio a agosto. La solución simplista muchas veces es no autorizar el hormigonado, imponer “vedas” que duran algunos meses, autorizar el hormigonado “sólo con 4 °C y en ascenso”; alternativas técnica y económicamente erróneas, más aun considerando que a veces se pierde la tercera parte del año al no poder realizar obras de infraestructura que tanto necesita nuestro país. Partiendo de la base de que la elaboración y protección del hormigón involucrarán algunos costos adicionales, los cuales no incrementarán de manera notoria el presupuesto de ninguna obra, técnicamente se cuenta con medios prácticos y accesibles para cualquier obra, para que trabajando en conjunto con el proveedor de hormigón elaborado se puedan alcanzar estructuras más resistentes y durables, incluso más que cuando se trabaja en tiempo caluroso. Lo que es mejor: se cuenta con técnicas de ensayo específicas y muy sencillas, para verificar la efectividad de las medidas tomadas, para que inspección y constructor verifiquen su accionar.

Si, por el otro lado, se habilita construir obras sin ningún control para la protección de bajas temperaturas, es probable que el resultado sean obras de menor durabilidad y una cantidad de defectos inadmisibles. Ello conllevará lamentablemente a la mala inversión de los fondos y a un impacto ambiental notable, si se piensa que muchas estructuras afectadas por no ser protegidas tienen que ser reconstruidas.

Antes de abordar el tema, se define tiempo frío para tareas de hormigonado cuando la temperatura media diaria ambiente es menor a 5 °C, y simultáneamente la temperatura es menor a 10 °C por más de medio día en cualquier período de 24 horas, durante 3 o más días consecutivos. La temperatura media

diaria ambiente se refiere al simple promedio aritmético de las temperaturas máxima y mínima registradas entre dos medianoches, valores que son fácilmente determinados con un termómetro de máxima y mínima en las proximidades de la obra. Por ello, pronosticar el tiempo frío es relativamente sencillo basándose en cualquier pronóstico confiable, lo cual no ocurriría para las condiciones de tiempo caluroso, que son mucho más imprevisibles.

Al igual que todas las tareas relacionadas con el hormigón, no sólo bastará con el esfuerzo de una sola de las partes involucradas. Deberán trabajar estratégicamente entre el proveedor de hormigón elaborado, quien deberá enviar el hormigón con cierta temperatura mínima y cumpliendo con las especificaciones del cliente; y el personal de obra, que deberá proteger el hormigón de las bajas temperaturas los primeros días después del colado.

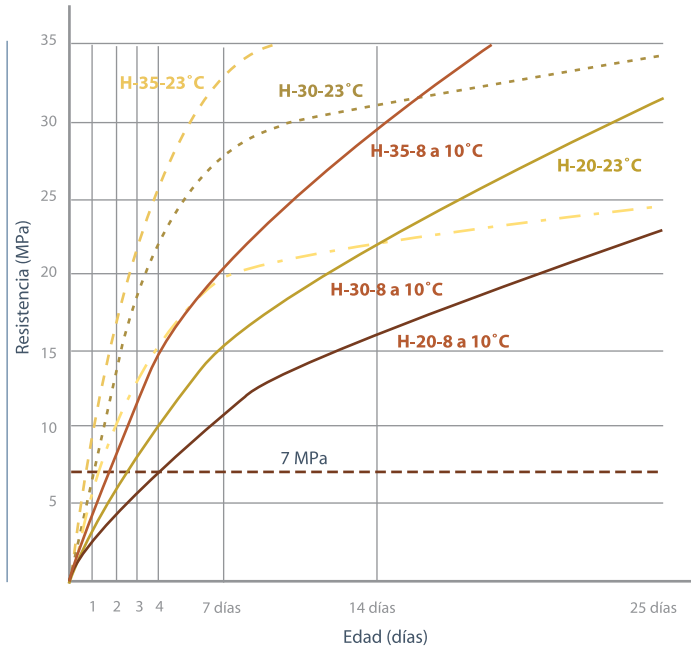
## Controles del hormigón elaborado en obra

Además de los controles de rutina relacionados con la determinación de la consistencia y el moldeo de probetas para el curado normalizado, es relevante tener en cuenta la realización de ensayos de temperatura del hormigón fresco. Según Reglamento CIRSOC 201 y para temperatura ambiente de hasta -1 °C, las temperaturas de aceptación son de entre 13 y 16 °C; mientras que para temperaturas de hasta -18 °C exige temperaturas iniciales de 16 a 18 °C, para estructuras no masivas; no debiendo sobrepasar en más de 10 °C estos mínimos, por riesgos de fisuración por gradiente térmico. Para estructuras masivas, los requerimientos de temperaturas bajan al aumentar el espesor del elemento estructural. Con lo cual, los ensayos de temperatura toman la mayor relevancia en épocas de tiempo frío. Como se describirá, no sólo basta con controlar que la temperatura se encuentre por encima de los valores enunciados, sino que habrá que proteger el hormigón durante los primeros días (fundamentalmente las noches) para que pierda lentamente esta temperatura inicial.

Asimismo, es conocido que en el caso de estructuras en contacto con la humedad durante su servicio y localizadas en climas fríos, es fundamental la incorporación de aire, además de especificar categorías resistentes de al menos H-30 por temas de durabilidad. Al especificar aire, deberá controlarse mediante el aparato de Washington o similar, siendo un criterio de aceptación o rechazo, al igual que todos los otros enunciados. Sin embargo, en zonas de climas cálidos y templados que circunstancialmente experimentan un período de tiempo frío, no es necesario el uso de aditivos incorporadores de aire.

Las medidas de protección de las bajas temperaturas deben realizarse hasta que el hormigón posea cierta resistencia, para que no sea dañado por las bajas temperaturas y/o por las heladas. Si las temperaturas descienden por debajo de los  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  rápidamente en el interior del hormigón, el daño será permanente, debiendo por lo general demoler y reconstruir los elementos. El daño se relaciona con una fisuración irreparable en la matriz de la pasta cementicia, el cual afecta principalmente al hormigón “de piel”, que es el que está en contacto con el ambiente y manejará la vida útil de la estructura (recubrimiento de armaduras o superficie resistente al desgaste en pavimentos). Cabe destacar que siempre se expresa temperatura del hormigón y no temperatura ambiente, ya que puede hormigonarse con temperaturas extremadamente bajas y con muy buenos resultados, contando con vastas experiencias en zonas de alta montaña, en el sur de nuestro país y en emprendimientos mineros.

Volviendo a la temática de los ensayos, se especificó que si el hormigón alcanza cierta resistencia a compresión, éste no es dañado. Por consenso en recomendaciones internacionales, conceptos plasmados en los comentarios del Reglamento CIRSOC 201:05, se especifica una resistencia mínima de 7 MPa (1000 psi) antes de la exposición a temperaturas de congelación, controladas mediante el moldeo de probetas adicionales y curadas en las mismas condiciones de humedad y temperatura que la estructura. El Reglamento establece que el período mínimo de protección para hormigones sin aire incorporado es de 12 días, lo cual difícilmente se cumple en las obras. Conceptualmente el Reglamento es correcto, aunque conservador, ya que toma cierto “coeficiente de seguridad”, mientras que también especifica que ese período puede ser reducido si se demuestra que probetas curadas al costado de la



► F1: Evolución de resistencias de diferentes categorías de Hormigones para condiciones normales ( $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y para condiciones de tiempo frío a temperaturas de protección de 8 a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

estructura adquieren una resistencia de 7 MPa o más, siendo indispensable la realización de estos ensayos, que ayudarán a la productividad de las obras y reducirán los costos de protección.

En la Figura 1 se presentan, sólo como valores referenciales, las evoluciones de hormigones H-20 a H-35 a una temperatura de curado normal ( $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y a una temperatura de protección media de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se aprecia claramente cómo en el segundo caso se retrasa la velocidad de endurecimiento, pero no existe ningún daño; al contrario, a edades tardías las resistencias serán maximizadas y se tendrán hormigones menos porosos que para el colado a temperaturas más elevadas. Un hormigón H-20 alcanzará a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  las resistencias de 7 MPa en 4 a 5 días, mientras que hormigones H-30 lograrán el objetivo en 2 a 3 días, y hormigones H-35 probablemente, a las 24 horas. Con ello, al incrementar la categoría resistente del hormigón, se ahorrará considerablemente el equipo, insumos y personal necesario, para las noches de protección del hormigón en tiempo frío. Sin embargo, tal como se expresó anteriormente, son sólo ejemplos que deberán ser confirmados por ensayos en obra.

### ¿Cómo incrementar la temperatura inicial del hormigón?

Tal cual se había detallado en el artículo sobre tiempo caluroso, la temperatura inicial del hormigón será la sumatoria de las temperaturas de »



sus materiales componentes. Por ello, para elevar su temperatura inicial, se puede proceder a una o más de las siguientes alternativas:

- No trabajar con agregados congelados ni con agregados lavados o con contenidos de humedad elevados.
- Trabajar con cemento a la mayor temperatura posible o recién recibido, pudiendo ser factible aislar térmicamente algún silo de la planta.
- Para temperaturas de producción mayores a  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , generalmente es suficiente calentando el agua de mezclado a  $60\text{-}70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Por ejemplo: para una temperatura de cemento y agregados de  $3\text{ a }4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (próxima a la media ambiente de invierno, siendo poco probable que el cemento esté a tan bajas temperaturas), se eleva la temperatura del hormigón fresco a  $16\text{-}18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , calentando el agua a  $60\text{-}65\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- En condiciones extremas, el proveedor deberá trabajar para elevar la temperatura del agregado en los acopios; pero si éste logra temperaturas arriba de las indicadas, no habrá inconvenientes en la obra.

Para reducir la pérdida de temperatura durante el viaje en condiciones de temperatura muy bajas (inferiores a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), es recomendable proteger los trompos de los camiones hormigoneros con espuma de poliuretano u otros materiales aislantes eficaces y no alterables por la humedad.

### Necesidad y métodos de protección de bajas temperaturas

Hay que prestar especial atención cuando en el mismo día del hormigonado (o las primeras noches) se pueden presentar temperaturas menores a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  y riesgo de heladas en las inmediaciones del elemento estructural, o cuando se pronostica

que la temperatura media diaria de los 3 días consecutivos puede estar debajo de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Sin embargo, y aunque no esté claramente previsto en los reglamentos, para condiciones de temperatura no tan exigentes –por ejemplo, para temperaturas medias de  $7\text{ a }10\text{ }^{\circ}\text{C}$  o temperaturas esperables de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  o inferiores de forma puntual en una sola jornada–, se retrasa notablemente la velocidad de endurecimiento o ganancia de resistencias, aunque no exista ningún daño potencial para la resistencia final o durabilidad. Este aspecto toma mayor relevancia en aquellas estructuras en las cuales deban aplicarse tensiones antes de la edad de diseño (habilitación rápida de pavimentos, movimiento de piezas pre-moldeadas, retiro de puntales). Para este tipo de elementos, aunque no se encuentren en condiciones estrictas de tiempo frío, serán aplicables las recomendaciones que se detallan, con el objetivo principal de agilizar la ganancia de resistencias. En estos casos, y para habilitar tempranamente estructuras a determinada edad, se recomienda realizar ensayos sobre el elemento (por ejemplo, extracción de testigos) o sobre probetas moldeadas y curadas junto a la estructura.

La clave en obra consiste en una adecuada protección del hormigón. Muchas veces se piensa que la única forma de proteger el hormigón de bajas temperaturas es crear ambientes o microclimas en las inmediaciones de las estructuras, lo cual se denomina “protección activa” del hormigón. Sin embargo, existen otros métodos de “protección pasiva” del hormigón, los cuales procuran que el hormigón pierda a una tasa muy lenta su temperatura inicial, previamente controlada, a la que se suma la temperatura de las reacciones de fragüe y primeras horas de endurecimiento. Deberá emplearse una u otra alternativa, ya que si se realizan ambas protecciones –lo cual se ha relevado en algunas obras–, el calor generado por la protección activa no le llegará al elemento, al estar aislado del ambiente por la protección pasiva, desperdiciando así recursos.

El período de protección, bien sea activa o pasiva, será el necesario para cumplir con las resistencias de  $7\text{ MPa}$ , que para hormigones categoría H-25 y superior difícilmente supere las 3 primeras noches. De no realizar estos ensayos, el Reglamento



► F2: Protección activa con recintos cerrados (Antena Aeroespacial Malargüe - Mendoza)





▲ F3: Protección activa en ambientes al aire libre (losas y canales)

especifica 6 días en hormigones con aire incorporado y el doble en hormigones sin aire.

### Protección activa ante bajas temperaturas

Los métodos de protección activa se materializan generalmente por quemadores, salamandras, caloventores de diferentes escalas, turbos o “cañones” a gas, entre otros. Este tipo de medidas de protección deben separarse del hormigón mediante una tarima de madera o similar, para no dañarlo, y generalmente se colocan al finalizar la jornada de hormigonado, lo antes posible que puedan ser aplicados sin causar daños al hormigón. Su espaciamiento debe ser tal, que en el punto más lejano de la fuente se posea una temperatura de 10 a 13 °C como mínimo, lo cual se determina fácilmente con un termómetro. Por ello, el espaciamiento dependerá de las temperaturas más bajas pronosticadas para la noche, pudiendo separarse de 5 a 15 metros. En el caso de caloventores a gas, éstos no deben apuntarse directamente a la superficie del hormigón, ya que pueden deshidratarlo rápidamente y producir fisuras por contracción o futuros defectos superficiales, como el empolvamiento superficial. Una adecuada ventilación y circulación del aire soluciona el problema.

Dependiendo del método escogido y de las inclemencias climáticas, podrá optarse por cerrar los recintos con láminas plásticas y mejorar la eficiencia del método (Figura 2) o aplicarlo al aire libre (Figura 3), lo cual insumirá mayor cantidad de recursos y combustibles. Aunque son métodos muy empleados, presentan ciertas desventajas:

- Impacto ambiental: si se trata de una obra urbana, los “quemadores” con leña, aserrín, gasoil y otros impactan negativamente en la calidad del aire.
- Costos: el precio de los insumos es bastante elevado, y en algunas regiones son difíciles de conseguir; además de estar usando para la protección del hormigón combustibles que podrían generar energía o calefacción.

En zonas muy frías y/o ventosas, los costos se incrementan debido a la necesidad de cerrar el ambiente.

- Mano de obra: son muy demandantes de mano de obra, incluso los fines de semana y feriados.
- Seguridad del control: muchas veces queda la duda de si durante un fin de semana largo con bajas temperaturas el sereno a cargo tuvo la conducta de permanecer toda la noche atento a renovar los combustibles.

### Protección pasiva ante bajas temperaturas

El concepto de protección pasiva del hormigón fresco es mucho más sencillo desde el punto de vista conceptual y consiste en evitar que el hormigón pierda rápidamente su temperatura inicial (Figura 4). Sin embargo, deben tenerse en cuenta algunos aspectos importantes para que el sistema sea efectivo:

- La protección debe realizarse mediante un material aislante térmico, no protegiendo de bajas temperaturas las láminas de polietileno o membranas de curado, ya que éstas impiden la pérdida de humedad, pero al no ser porosos no impedirán la pérdida de temperatura del hormigón.
- El hormigón debe llegar con cierta temperatura mínima, ya que si por ejemplo llega a obra a 3 ó 4 °C, la protección pasiva conservará esa temperatura y el hormigón verá dificultado o imposibilitado su fragüe.
- La aplicación debe realizarse al finalizar la jornada y en lo posible después de algunas horas de asoleamiento y cuando la metodología no dañe superficialmente el hormigón.
- Muchos de los materiales aislantes son livianos y con vientos pueden volarse, por lo cual deben ser protegidos mediante otros materiales pesados (ladrillos, piedras, etc.).



▲ F4: Protección pasiva con aislantes térmicos

- Algunos de los materiales aislantes, como el poliestireno expandido, aplicados en obras fuera de predios privados “despiertan el interés” de las personas que circulan, con lo cual en ciertos casos es necesaria cierta vigilancia adicional al típico vallado.
- Para el caso de probetas testigos de la estructura, éstas deberán colocarse bajo el material aislante de protección para simular las condiciones de curado de la estructura.
- Debe tenerse en cuenta que el carácter aislante del material debe ser inalterable ante la presencia de agua, con lo cual aislantes como la lana de vidrio directamente expuesta al ambiente no serán eficaces; sí lo serán al envolverlos con una lámina de polietileno.

No obstante, presentan ventajas competitivas notables respecto de los métodos tradicionales de protección activa, como ser: sólo requieren mano de obra para su colocación y no durante todo el período de protección; son reutilizables; no consumen fuentes de energía, aprovechando la propia temperatura del hormigón; se disminuyen notoriamente los costos, entre otros. También es sencillo el control de su efectividad, sólo midiendo la temperatura ambiente y la temperatura bajo el material aislante en contacto con la superficie, la cual debe superar los 10 °C.

Las placas de poliestireno expandido de 4 cm, mantas térmicas de diferente tipo, cubiertas de materiales aislantes o “pluribol” (polietileno con burbujas) en 3 pliegues, han presentado excelentes resultados. Además, algunos de estos aislantes,

como el poliestireno expandido, son materiales necesarios en otras etapas de la obra, con lo cual su costo es casi nulo, ya que debe adquirirse igual para el aislamiento en viviendas. Si bien no figura en la bibliografía especializada, se han realizado experiencias en obra con el polietileno con burbujas para embalaje, presentándose como el método más económico y versátil, ya que:

- Su costo por m<sup>2</sup> considerando 3 pliegues es menos de la cuarta parte que el poliestireno expandido en planchas, y viene en rollos de fácil manipuleo y aplicación.
- No necesita grandes espacios de almacenamiento ni problemas relacionados con el flete.
- Es varias veces reutilizable y fácilmente aplicable a todo tipo de superficies.
- Es un material que, al no ser útil para aplicaciones en viviendas o comerciales, no requiere vigilancia y supervisión, ante posibles robos.

#### ¿Qué otras medidas adicionales deben evaluarse?

- No trabajar con asentamientos muy elevados, ya que generalmente los aditivos retardarán el fragüe.
- El empleo de aditivos acelerantes de endurecimiento puede traer resultados

»



▲ Técnicas constructivas en tiempo frío

favorables si son eficaces, o desfavorables, si retrasan el fragüe. Deben realizarse ensayos con cada conjunto de materiales, pero no debe pensarse que la solución para evitar inconvenientes en tiempo frío es el empleo de aditivos acelerantes exclusivamente, los cuales no protegerán en absoluto el hormigón de las heladas.

- Se deben descongelar los encofrados y la sub-base antes del colado. En caso de pisos y pavimentos en tiempo frío, es muy recomendable el empleo de bases de RDC, debiendo protegerlos al menos 36 horas después del colado. Existen numerosos estudios que demuestran que con contenidos de cemento superiores a  $120 \text{ kg/m}^3$  se posee una buena resistencia a los ciclos de congelación y deshielo, debido principalmente a su importante porosidad (porcentaje de vacíos del orden del 22% al 25%). Por ello, las bases de RDC son muy recomendables en climas fríos, debiendo protegerlos principalmente la primera noche después del colado. Los contenidos de cemento recomendables varían entre  $150$  y  $180 \text{ kg/m}^3$ .
- Planificar el hormigonado para los horarios más convenientes. El mejor horario no es el de mayor temperatura ambiente, sino que el preferido es el de las 10 a 13 horas, para lograr que la mayor parte de asoleamiento de la jornada le brinde un período de protección inicial al hormigón, al menos hasta que comience a fraguar. A partir de las 17 a

18 horas, deberán aplicarse las medidas de protección, sin que dañen la superficie o el aspecto de los elementos hormigonados.

- No iniciar el hormigonado si no se cuenta en el lugar con los medios de protección, como los elementos para cubrir, aislar, encerrar o calentar el ambiente.
- Advertir que cuanto mayor sea la relación entre la superficie de evaporación y el volumen total de hormigón, mayor será la sensibilidad del elemento al tiempo frío, como losas y pavimentos.
- No sólo prever medidas para controlar la temperatura en el período de protección, sino también aplicar un método de curado para evitar pérdidas de humedad.
- No suspender la acción de los medios de protección hasta tanto no se tenga la certeza de que los valores de resistencias de probetas moldeadas y curadas con la estructura sean las apropiadas para liberar la estructura.
- Estudiar la factibilidad de aumentar la categoría resistente para reducir los períodos de protección.
- Agilizar la descarga y todas las tareas de colocación y compactación del hormigón.
- Los aditivos anticongelantes no previenen los daños provocados por las heladas fuertes, y las

»

medidas de protección activa o pasiva deben llevarse a cabo de la misma manera (con sus costos asociados), debiendo siempre ensayar la compatibilidad entre aditivos anticongelantes y otros aditivos (superfluidificantes, aire incorporado, etc.), ya que existen casos relevados de incompatibilidad e inhibición permanente del fragüe.

- Respecto del tiempo de curado del hormigón, será más prolongado. Los días en que el hormigón tenga temperaturas medias en su superficie de entre 5 y 10 °C deben ser considerados como medio día, mientras que temperaturas medias menores a 4 °C no deberían considerarse computadas para el curado, ya que se inhiben las reacciones de hidratación.
- En lo posible, extender los tiempos de desencofrado (es conveniente dejarlos en el

lugar). Los tiempos para desapuntalamiento se deben computar de la misma forma que para el curado, siendo también recomendable la realización de ensayos de probetas moldeadas y curadas al costado de las estructuras.

- Al finalizar el período de protección, deben evitarse gradientes de temperatura desfavorables, no debiendo ser mayores a 3 °C/hora y sin sobrepasar los 20 °C en 24 horas para hormigones convencionales. Para hormigones masivos, el descenso debe ser más gradual e inferior a 1,5 °C/hora.
- Es siempre recomendable realizar reuniones previas de obra, para inferir responsabilidades y para intercambiar opiniones que seguramente serán muy provechosas para el proyecto. «