



LOS “CUÁNDO, POR QUÉ Y CÓMO” DE LAS FISURAS EN EL HORMIGÓN FRESCO

PRIMERA PARTE: Fisuración por asentamiento plástico



MS. ING. MAXIMILIANO SEGERER
Control y Desarrollo de Hormigones S.A.

En esta primera entrega de una serie de artículos desmitificaremos la creencia de que es imposible lograr un hormigón sin fisuras.

FISURACIÓN DEL HORMIGÓN FRESCO

Existe la idea en varios profesionales de la construcción de que en algunos casos “es imposible” lograr que el hormigón no se fisure y que “hay que acostumbrarse”. En esta serie de artículos desmentiremos estos prejuicios, brindando información práctica de cómo identificar las fisuras, cómo prevenirlas y cómo repararlas, además de explicar y acompañar con figuras y fotografías el por qué se producen para, fundamentalmente, comprender como “combatirlas”.

Dentro de las causas de fisuración del hormigón en estado fresco pueden destacarse:

- ▶ Fisuras por retracción o contracción plástica (*plastic shrinkage cracks*)
- ▶ Fisuras por asentamiento plástico (*plastic settlement cracks*)

- ▶ Fisuras causadas por movimiento de encofrados (*formwork movement*)

- ▶ Contracción autógena (*autogenous shrinkage*)

Las dos primeras causas son las más frecuentes en obras civiles corrientes, por lo que serán las que se abordarán en el presente artículo y en la próxima entrega.

La fisuración por contracción autógena puede aparecer en hormigones de muy baja relación agua / cemento como en hormigones de alta performance, principalmente en pavimentos; por lo que si bien es importante su caracterización también es difícil encontrarse en obras convencionales con estas fisuras. Las fisuras causadas por movimiento de encofrados son de tipología muy variada y deben prevenirse mediante un cálculo de encofrados y apuntalamiento adecuado, aspectos que siempre deben ser tenidos en cuenta en las construcciones no

sólo por la calidad del hormigón sino también por la seguridad de los operarios.

¿CUÁNDO Y POR QUÉ APARECEN LAS FISURAS POR ASENTAMIENTO PLÁSTICO?

Se acepta que el hormigón en estado fresco puede asimilarse a una suspensión concentrada donde la fase sólida la componen los agregados, el cemento y las adiciones (si corresponde), y la fase líquida está formada por agua y, generalmente, aditivos químicos. Luego de colocado, compactado y terminado, el material tiende a experimentar una segregación donde los sólidos de mayor densidad tienden a asentarse, por lo cual disminuye la concentración de sólidos a medida de acercarse a la zona superficial. Esto puede observarse claramente cuando el hormigón presenta un marcado brillo superficial formado principalmente por agua que

Recubrimiento de armaduras (mm)	Probabilidad de fisuración por asentamiento plástico (%)																			
	Asentamiento 6 cm					Asentamiento 10 cm					Asentamiento 14 cm					Asentamiento 18 cm				
	ø8	ø10	ø12	ø16	ø20	ø8	ø10	ø12	ø16	ø20	ø8	ø10	ø12	ø16	ø20	ø8	ø10	ø12	ø16	ø20
19	63	72	80	88	93	75	84	92	99	100	95	99	100	100	98	100	100	100	100	
25	31	47	60	71	78	47	61	73	83	90	59	73	85	95	69	83	95	100	100	
38	0	0	19	35	46	0	10	31	48	59	2	23	44	61	72	11	36	57	74	85
50	0	0	0	2	14	0	0	5	13	26	0	0	5	25	39	0	5	16	37	52

desaparece luego. A este proceso se lo denomina exudación.

Como se mencionó, la exudación ocurre cuando el agua asciende a la superficie y las partículas sólidas se segregan evaporándose el agua de exudación y ocasionando una pérdida de volumen. Además, el hormigón continúa asentándose por su propio peso durante unas horas, lo que se superpone al efecto anterior, apareciendo principalmente con asentamientos elevados. Si no existe ninguna restricción, entonces el resultado neto es simplemente una muy leve disminución del nivel de la superficie del hormigón. De todas maneras, cuando existe “algo” cercano a la superficie, como una barra de refuerzo, o existe un cambio brusco del espesor o altura de las secciones, que restringe parte del asentamiento plástico del hormigón cuando éste continúa en estado fresco, existe un riesgo potencial de fisuración sobre el elemento que restringe. En algunos casos grandes partículas de agregado cercanas a la superficie pueden provocar fisuración localizada. Las fisuras por asentamiento plástico aparecen entre 10 minutos y tres horas de hormigonado el elemento estructural y pueden presentarse muy anchas en superficie, entre 0,5 a 2 mm.

Mientras más exuda el hormigón (mayor asentamiento, incorporación de agua no controlada en obra), se incrementa el riesgo de

fisuración, así como también para recubrimientos muy pequeños de armaduras y cuando su diámetro aumenta. Si bien en la fisuración por asentamiento plástico influyen una gran cantidad de parámetros, se presenta la probabilidad de fisuración dependiendo del recubrimiento de armaduras, diámetro de barras y asentamiento; tres factores preponderantes en la fisuración por asentamiento plástico.

En las figuras y fotografías adjuntas se muestran esquemas de la fisuración y casos de estructuras afectadas por fisuras por asentamiento plástico.

¿CÓMO IDENTIFICARLAS?

Como todo tipo de fisuración del hormigón en estado fresco, es de vital importancia dialogar con el constructor para consultarle si el hormigón se fisuró cuando estaba en estado fresco; es decir, antes de iniciar su fragüe. Si afirma que existió la fisuración, es más fácil la identificación de las fisuras, pero en algunos casos por no haberlas visto o por temor a una punición por parte del propietario de la obra no se informa esta fisuración. Además, en ciertos casos en que se debe diagnosticar una estructura, no se conoce la historia y debe contarse con las herramientas y conocimientos para la identificación de estas fisuras.

De todas maneras, estas fisuras siempre presentan ciertos patrones y simetrías. Como se mencionó, las mismas ocurren sobre las armaduras de refuerzo, estribos y zunchos o sobre cambios bruscos de secciones. En el primer caso, al presentarse estas fisuras “copian” la malla superficial en el caso de una losa presentándose como perpendiculares o los zunchos en el caso de columnas circulares, por lo que midiendo la separación entre fisuras y si ésta coincide con la separación original de las armaduras es seguramente ésta la causa de fisuración. En el segundo caso, cuando existen cambios de secciones, por ejemplo en el encuentro viga y losa, es también fácil identificarlas observando el elemento estructural desde su parte superior y desde su parte inferior. Para asegurar el diagnóstico de esta causa de fisuración puede ser recomendable emplear un detector de armaduras, siendo aplicable para estructuras antiguas, siempre que no se presente otra patología como óxidos de corrosión.

Resumiendo, si el hormigón se fisuró en estado fresco o se desconoce si esto ocurrió pero existe una marcada fisuración en la superficie de los elementos y esta presenta como una “trama regular” siguiendo las armaduras tanto en losas, vigas, columnas y tabiques, existiendo »

periodicidad y perpendicularidad entre las fisuras, seguramente se trata de fisuración por asentamiento plástico, así como también para los cambios bruscos de secciones.

¿CÓMO PREVENIRLAS?

Comprendido el mecanismo de fisuración se darán las pautas generales que figuran en la bibliografía especializada para prevenir las fisuras por asentamiento plástico, responsabilidades que involucran tanto al proveedor de hormigón elaborado como a los responsables de puesta en obra. Las tres medidas remarcadas son las que más influyen en la fisuración por asentamiento plástico, y deben ser las primeras a tener en cuenta para darle solución a las fisuras. Las restantes son accesorias para casos más complejos.

Dosificación del hormigón:

- ▶ Diseñar mezclas de menor exudación tanto en capacidad como velocidad de exudación
- ▶ Emplear mezclas más cohesivas para reducir la exudación
- ▶ Emplear relaciones agua / cemento suficientemente bajas

Aditivos y fibras:

- ▶ Emplear aire incorporado para reducir la exudación
- ▶ Emplear aditivos reductores de agua en planta
- ▶ Emplear fibras de polipropileno que pueden reducir el asentamiento plástico de un 40 a un 70 por ciento



Estructuras varias con fisuras por asentamiento plástico.

Agregados:

- ▶ Reducir el tamaño máximo del agregado si persisten los problemas de fisuración
- ▶ Incrementar el contenido de arena de la mezcla si persisten los problemas de fisuración
- ▶ Emplear granulometrías cerradas y continuas de agregados
- ▶ Emplear un contenido de finos adecuado (30% de material pasante tamiz IRAM 300 μm)

Tareas de colocación del hormigón:

- ▶ Emplear menores asentamientos, siempre compatibles con la estructura y medios de colocación
- ▶ Colocar el hormigón primero en las secciones más profundas, como columnas y vigas, y luego sobre las secciones de menor espesor, como losas, vibrando el hormigón solidariamente
- ▶ Vibrar adecuadamente, evitando tanto la vibración excesiva como una consolidación insuficiente
- ▶ Diseñar adecuadamente los encofrados, debido a que encofrados muy flexibles o que pierdan cantidades apreciables de mortero pueden aumentar el riesgo de fisuración en estado fresco

Disposición de armaduras:

- ▶ Brindar a las armaduras de un recubrimiento adecuado en el proyecto y en la puesta en obra
- ▶ Estudiar la profundidad de las armaduras de refuerzo referido al espesor
- ▶ Estudiar la relación entre el recubrimiento y el diámetro de la barra

¿CUÁNDO REPARARLAS?

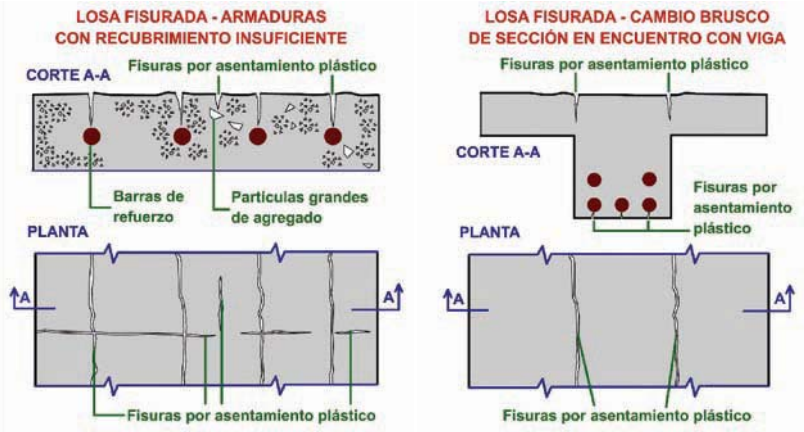
Si se advierte que las fisuras aparecen y el hormigón se encuentra aún en estado fresco, puede realizarse un revibrado del hormigón. Las fisuras por asentamiento plástico pueden ser cerradas, revibrando el hormigón después que el asentamiento plástico es virtualmente terminado y cuando comienza el fragüe, por ejemplo, una media hora a una hora luego del inicio de fragüe. Es muy importante la definición del tiempo para asegurar que el hormigón pueda volver al estado fresco bajo la acción del vibrador y las fisuras se cierren completamente. Si se aplica el revibrado antes que el hormigón adquiera cierta rigidez, »



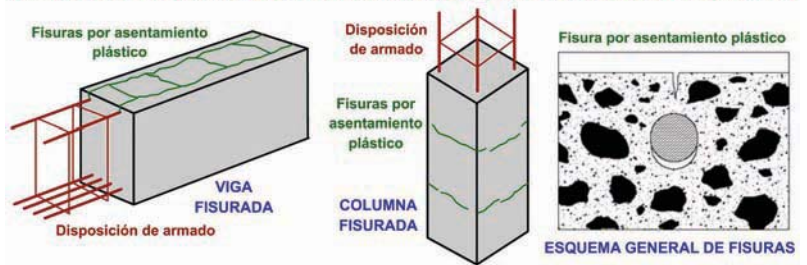
puede ocurrir que las fisuras vuelvan a abrirse. Aplicando el revibrado muy tarde, el hormigón comienza a endurecer y puede ser dañada la adherencia con las armaduras o reducida su resistencia potencial. También pueden cerrarse realizando nuevamente ciertas tareas de terminación superficial como con un fratasado energético.

Con mayor frecuencia, usted se encontrará con las fisuras cuando el hormigón ya ha endurecido. Las fisuras, en general, no son profundas pero tienden a penetrar hasta el refuerzo y pueden reducir la durabilidad de la estructura, acelerando el proceso de corrosión de armaduras si las mismas no son selladas adecuadamente. Otro caso de aplicación práctica es cuando aparecen estas fisuras en pavimentos o superficies sometidas a la abrasión. En este caso, al ser relativamente anchas en superficie y estar en contacto con el tránsito o el agua en un canal, por ejemplo, pueden provocar la rotura paulatina en las zonas cercanas a la fisura y el comienzo de la falla de la superficie. Es por ello que si bien se catalogan en general como “fisuras no estructurales”, es conveniente su sellado.

Como cualquier fisuración en estado fresco, las fisuras se mantienen con su longitud y ancho invariables en el tiempo, siendo consideradas como “fisuras estáticas”. Por ello, teóricamente la reparación puede llevarse a cabo al día siguiente de la aparición de las fisuras o en meses; pero el problema que se presenta al dejar pasar mucho tiempo es que el polvo, suciedad, acopio de materiales y las actividades propias de toda obra van obturando las fisuras y dificultarán su sellado cuando más tiempo pase, o se necesitarán métodos adicionales (como hidrolavado o aire comprimido) para una adecuada limpieza de la fisura antes de su sellado para que éste sea efectivo.



FISURAS POR ASENTAMIENTO PLÁSTICO: RECUBRIMIENTO INSUFICIENTE Y/O ELEVADO ASENTAMIENTO



¿CÓMO REPARARLAS?

Si bien es relativamente sencillo el sellado de estas fisuras, es de vital importancia prevenirlas, ya que los medios son fáciles de aplicar y controlar y la reparación de las fisuras lleva ciertos costos asociados que aunque no son grandes son muy superiores a la prevención de la fisuración del hormigón fresco.

Una de las alternativas más prácticas para el sellado de estas fisuras es mediante el empleo de lechadas de cemento modificadas por látex. Se colocan dos partes de látex (para hormigones), una parte de agua y se le incorporan varias cucharadas de cemento sin que cambie la consistencia de la lechada; es decir, que se presente como extremadamente fluida. Se vierte en las fisuras y se acompaña con un secador para aprovechar mejor el material e introducirlo en las fisuras. Luego se observará que parece que la lechada ha desaparecido, por lo que se incorporan más cucharadas de cemento al balde con la lechada anterior, logrando una mezcla un poco “más espesa”. Se vuelve a aplicar so-

bre las fisuras y así sucesivamente hasta cubrirlas completamente en su superficie.

La fluidez debe ser muy elevada al comienzo para que penetre en las partes más profundas de la fisura y por ende más finas; y luego ir aumentando, ya que se incrementa el ancho de las fisuras cuando se acercan a la superficie. En general se recomienda el sellado antes de los 3 a 5 días de hormigonado para que se logre una mayor adherencia y se cure el hormigón en conjunto con la estructura; de otra manera deberá limpiarse adecuadamente la zona de la fisura como se describió anteriormente.

Cabe destacar que el mencionado es sólo un método, existiendo muchos otros, generalmente más costosos y que deben ser aplicados por profesionales especializados, siendo el método explicado aplicable cuando no es importante el aspecto estético de la superficie o se le dará a la misma otro tratamiento posterior, debido a que la lechada modificada con látex puede dejar la superficie con un color celeste a verdoso. ¶



LOS CUÁNDO, POR QUÉ Y CÓMO DE LAS FISURAS EN EL HORMIGÓN FRESCO

SEGUNDA PARTE: Fisuración por contracción plástica



Ms. ING. MAXIMILIANO SEGERER
Control y Desarrollo de Hormigones S.A.
www.cdormigones.com.ar

La fisuración por contracción plástica es, sin dudas, la causa más común de fisuración del hormigón fresco, y en segundo lugar la fisuración por asentamiento plástico que se publicó en el número anterior de Hormigonar.

Cabe destacar que el riesgo de la fisuración del hormigón por contracción o retracción plástica se trata en gran parte de la bibliografía especializada, en los capítulos de hormigonado en clima caluroso, así como también en el Reglamento CIRSOC 201. De todas maneras, en otras condiciones ambientales también puede aparecer este tipo de fisuración, 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 en contacto con el hormigón habrán padecido, puede prevenirse y

evitarse siguiendo sencillas reglas prácticas.

¿Cuándo y por qué aparecen las fisuras por contracción plástica?

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, fundamentalmente en lo que respecta a las tareas de protección y curado. Estas fisuras son características de las superficies en contacto con el ambiente, no apareciendo en elementos encofrados como columnas o tabiques. De allí la importancia que tienen 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.

El mecanismo de fisuración es relativamente 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 tensiones de tracción que el hormigón no puede absorber, ya que no ha iniciado su fraguado. El principio fundamental para comprender su génesis puede resumirse de la siguiente manera:

Si \rightarrow velocidad de evaporación \gt velocidad de exudación \rightarrow fisuración por contracción plástica

Analizando el concepto anterior es fácil comprender que un hormigón 'con mucha' agua se fisurará en estado fresco en menor grado por contracción plástica que un hormigón elaborado de calidad o 'con menos agua'. En estado endurecido, que son las fisuras más graves para la resistencia y durabilidad, ocurre lo contrario. Es decir, cuando un hormigón exuda mucho (elevado contenido de agua y granulometría inadecuada, entre otros) »



Figura 1 - Fotografías fisuras contracción plástica

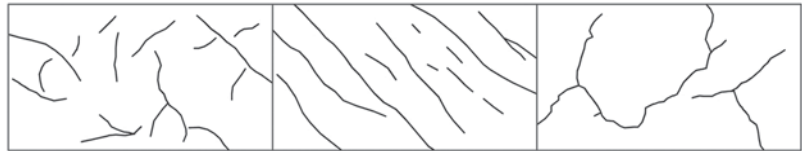


Figura 2 - Patrones fisuración contracción plástica

parámetros) la evaporación de esta agua de exudación se verá retardada y no se secará rápidamente la superficie, por lo que existirá un riesgo de contracción plástica inferior, aunque decenas de inconvenientes más graves para todo tipo de estructuras, especialmente pisos y pavimentos. Como se explicó en el artículo del número anterior y como es conocido, hormigones que exuden en demasía no son adecuados para la industria del hormigón elaborado y son hormigones por lo general de baja performance en resistencia y, fundamentalmente, en durabilidad. De todas maneras no debe eliminarse completamente el agua de exudación, pero debe mantenerse en un mínimo compatible con las condiciones de puesta en obra.

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, pierde el brillo y se traduce en una pérdida de masa 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 a iniciar su fragüe, el hormigón no se figurará, por lo que las medidas deberán focalizarse en proteger al hormigón las primeras horas después del colado.

Ya que se encuentra 'limitada tecnológicamente' o, en otras palabras, que no puede aumentarse en demasía uno de los parámetros de la expresión del principio de fisuración (la velocidad de exudación), se

deberá estudiar fundamentalmente el segundo factor de la ecuación: la velocidad de evaporación. Las condiciones o factores que aumentan la evaporación del agua en cualquier condición, no sólo en el hormigón fresco, son:

- ▶ Elevada temperatura del aire
- ▶ Elevada temperatura del hormigón
- ▶ Baja humedad relativa
- ▶ Elevada velocidad del viento

Como se estudiará más adelante, las principales medidas para prevenir la fisuración por contracción plástica serán aquellas que disminuyan la temperatura, las que aumenten la humedad relativa en las inmediaciones del elemento recién

hormigonado y las que tiendan a protegerlo eficazmente del viento, que tenderá a ‘robarle’ agua al hormigón, como las otras causas mencionadas.

Además, debe considerarse que el agua no sólo puede ‘escaparse’ por la parte superior si no se la protege adecuadamente sino también puede hacerlo por abajo. Este es el caso de sub-bases muy secas que tienden a absorber una gran cantidad de agua, lo cual, independientemente del curado empleado, fisurará al hormigón.

¿Cómo identificarlas?

Las fisuras son generalmente erráticas y en algunos casos pueden seguir la dirección predominante del viento, pero no presentan un patrón tan definido como en el caso de las fisuras por asentamiento plástico, siendo este aspecto una herramienta muy útil para su identificación en obra. Algunas fotografías de fisuras por contracción plástica y sus patrones característicos se presentan en las figuras 1 y 2 respectivamente.

La longitud de las fisuras va generalmente de 10 centímetros (cm) a 3 metros (m) y se espacian de 15 a 90 cm, no apareciendo en general en el perímetro de losas. Las fisuras más largas se presentan generalmente

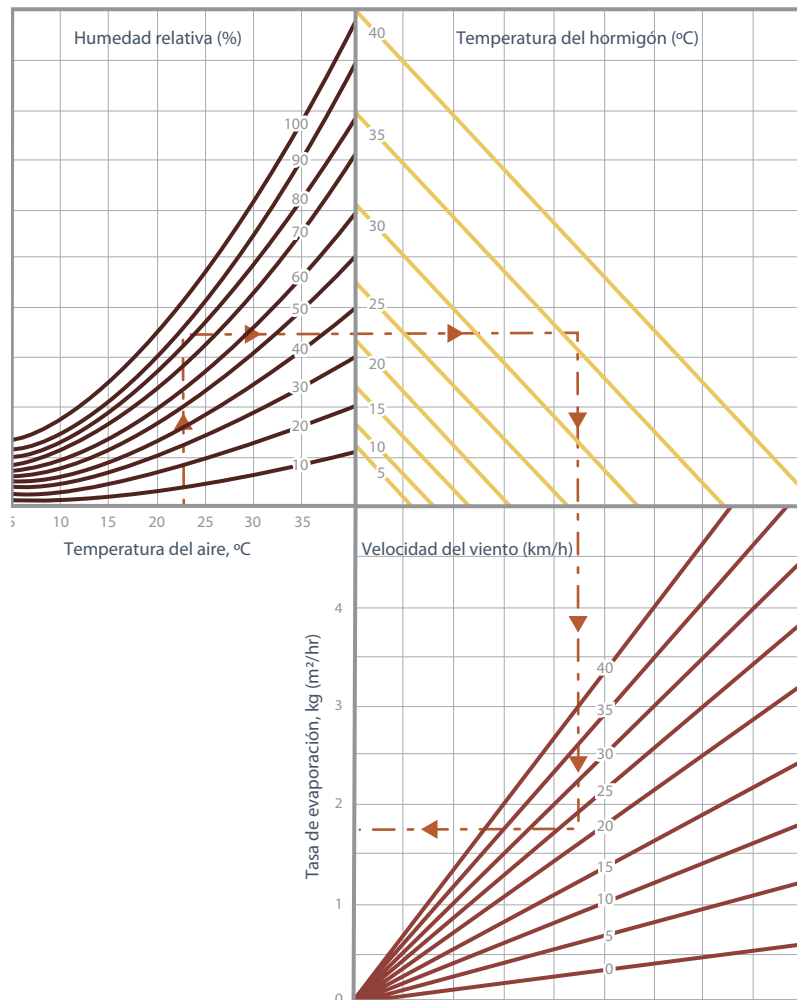


Figura 3 - Abaco velocidad de evaporación

orientadas con la dirección del viento y paralelas entre sí. En muchos casos presentan una forma característica de ‘pata de gallo’, uniéndose tres fisuras de manera radial. La abertura de las fisuras llega en algunos casos a 3 mm y la profundidad normal varía de 2,5 a 7,5 cm, y en pocos casos se presentan en la totalidad del espesor de la losa. En este caso las fisuras pueden atravesar toda la losa si se hormigonó en condiciones muy adversas y no se protegió el hormigón fresco, ya que pueden trabajar como juntas no previstas, debilitando la sección del hormigón a las pocas horas y mucho antes del aserrado de las mismas.

¿Cuándo pueden aparecer?

Si bien puede estimarse con ayuda del abaco (figura 3) cuándo existe riesgo de fisuración por contracción plástica, no hay manera de predecir con seguridad suficiente cuándo la fisuración va a ocurrir ni con qué gravedad. También existen programas en los que entrando los datos de temperatura del aire, temperatura del hormigón, humedad ambiente y velocidad del viento se estima la tasa de evaporación superficial. Para utilizar el mencionado abaco es indispensable»



Figura 4 - Medidas preventivas

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 en (kg/m² 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) es quintuplicada. Tal es el caso comparativo de una obra en Buenos Aires cerca de la costa y otra en Mendoza respectivamente, a igualdad de las demás condiciones. Si la velocidad del viento aumenta de 0 a 15 km/h la velo-

cidad de evaporación es cuadruplicada. Si la temperatura ambiente aumenta de forma importante se puede llegar a duplicar la evaporación. La temperatura del hormigón influye considerablemente sólo si es superior a la ambiente, donde un aumento de 5° C 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.

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 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 pocas veces 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/m² → existe muy poco riesgo de fisuración

- ▶ Si la velocidad de evaporación supera 0,5 kg/m² → existe riesgo moderado de fisuración plástica
- ▶ Si la velocidad de evaporación supera 1,0 kg/m² → existe riesgo severo de fisuración plástica

Las especificaciones del proyecto deberían estipular las precauciones para el control efectivo a fin de evitar la pérdida de humedad superficial y fijar parámetros de control, tales como temperatura máxima del hormigón y registro de condiciones atmosféricas en el lugar de la obra, además de exigir la determinación de la exudación.

¿Cómo prevenirlas?

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 las mismas deben escogerse en función de la disponibilidad de medios en la obra y de la severidad del ambiente.

▶ Dosificación del hormigón elaborado:

- ◊ Mantener la temperatura del hormigón baja a través del enfriamiento de los agregados y el agua. »



- ◇ Determinar la velocidad de exudación y verificar que se encuentre dentro de valores razonables.
 - ◇ Incorporar fibras de polipropileno al hormigón, lo que ha mostrado muy buenos resultados en el país.
 - ◇ Disminuir el contenido de finos (material pasante tamiz # 200) de los agregados finos y gruesos.
 - ◇ No retrasar en demasía el fraguado para no prolongar el tiempo en que el hormigón es susceptible a fisurarse, como por ejemplo del empleo indiscriminado de aditivos fluidificantes en obra.
 - ◇ Emplear contenidos unitarios de cemento lo más bajos posible compatibles con condiciones de resistencia y durabilidad, recomendándose el empleo de aditivos reductores de agua incorporados en planta.
- **Tareas previas a la puesta en obra**
- ◇ Humedecer adecuadamente la subrasante y los encofrados 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.
 - ◇ Planificar en lo posible el hormigonado para las horas de menor temperatura del día.
- ◇ Contar con una adecuada cuadrilla de trabajadores y equipamiento suficiente para trabajar rápidamente.
 - ◇ Tener en cuenta que el empleo de láminas plásticas en la subbase incrementa el riesgo de fisuración.
- **Protección y curado del hormigón**
- ◇ Crear una niebla de agua sobre la losa inmediatamente después de la colocación y antes del acabado y curado, tomando cuidado para prevenir la acumulación de agua que reduce la calidad del hormigón en la superficie de la losa. 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.
 - ◇ Reducir al mínimo el tiempo entre la colocación e inicio del curado.
 - ◇ 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.
 - ◇ Proteger el hormigón con cubiertas temporarias, tales como láminas de polietileno o mantas de arpillera, cuando no interese el acabado superficial, como en losas de edificios, no siendo aplicables en pavimentos.

¿Cuándo y cómo repararlas?

Estas fisuras sin dudas tienen un alto impacto estético y psicológico para todo usuario de hormigón elaborado. Por lo general, las fisuras por contracción plástica se consideran como 'no estructurales', pero en algunos casos como en la formación de juntas imprevistas en pavimentos podrá no existir una adecuada transmisión de esfuerzos. Asimismo, dejando el aspecto estético, para el caso de un pavimento con intensa fisuración plástica ésta puede ser origen de la degradación por ciclos de congelación y deshielo (si la estructura se encuentra sometida a este proceso), disgregaciones producidas por el paso de vehículos pesados o problemas de corrosión de armaduras y aceleración de todo tipo de patologías. Es decir, este tipo de fisuración rara vez afecta a la resistencia de la estructura, pero es conveniente sellarlas con cualquier método adecuado para evitar que se presenten como puntos de degradación futura y disminución de su vida útil.

En muchos casos las fisuras por contracción plástica aparecen lo suficientemente temprano como para ser eliminadas posteriormente usando una llana o fratás. En el caso que las fisuras plásticas aparecieran durante el acabado, alisar cada lado de la fisura con una llana y proceder al acabado nuevamente puede cerrar las fisuras definitivamente, no quedando rastros de ellas y no perjudicando resistencia, durabilidad ni estética.

Respecto a la oportunidad y forma de sellado de las fisuras ya formadas, es completamente aplicable lo descrito en el artículo del número anterior de "fisuración por asentamiento plástico". ¶



LOS “CUÁNDO, POR QUÉ Y CÓMO” DE LAS FISURAS EN EL HORMIGÓN ENDURECIDO: FISURACIÓN POR CONTRACCIÓN POR SECADO PRIMERA PARTE



MS. ING. MAXIMILIANO SEGERER
Control y Desarrollo de Hormigones S.A.
www.cdormigones.com.ar

FISURACIÓN DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

Terminada la serie de artículos y recomendaciones referidas a la fisuración del hormigón en estado fresco se comenzará a estudiar el tema de las fisuras del hormigón endurecido, las cuales afectan mucho más la estabilidad y durabilidad de la estructura y cuyas técnicas de reparación no son tan sencillas como las presentadas para las fisuras del hormigón fresco. Es decir, así como se manifestó que debe hacerse hincapié en tomar las medidas adecuadas para evitar las fisuras en estado plástico, es más importante aún conocer los principios básicos de fisuración en estado endurecido y cómo prevenirlas desde el diseño, ya que muchas veces son consideradas como estructurales y disminuyen la vida útil de las estructuras.

Dentro de las causas de fisuración del hormigón en estado endurecido pueden destacarse:

- ▶ Contracción por secado o retracción por fraguado (*drying shrinkage*)
- ▶ Tensiones de origen térmico (*thermal change*)
- ▶ Problemas de durabilidad (corrosión, ciclos de congelación y deshielo, abrasión y erosión, ataque interno y externo de sulfatos, ataques químicos y biológicos y reacciones álcali-agregado, entre otras)
- ▶ Deficiencias de vibrado y prácticas constructivas
- ▶ Juntas constructivas no previstas
- ▶ Cargas excesivas durante el servicio
- ▶ Cargas de larga duración y fluencia
- ▶ Errores en el diseño estructural y en el detalle de elementos y estructuras
- ▶ Defectos específicos de pisos y pavimentos

Las dos primeras causas son las que se estudiarán en esta y en próximas entregas.

Las fisuras por cargas de larga duración, cargas excesivas y errores en el diseño estructural escapan al alcance de los artículos de tecnología del hormigón y son muy específicas en cada obra, por lo que ambos aspectos deben ser tenidos en cuenta en el diseño y cálculo estructural para que no ocurran.

Respecto a las fisuras por deficiencias en tareas de colocación, vibrado y formación de juntas constructivas por demoras en el vaciado, son también particulares para diferentes casos, y se evitan aplicando buenas prácticas constructivas.

Para finalizar, el estudio de las fisuras causadas por problemas de durabilidad debe centrarse en cada una de las patologías y realizar un análisis minucioso del tema, mientras que las mismas pueden ser evitadas aplicando las especificaciones de los reglamentos, presentando cada patología técnicas específicas para su reparación.

Los defectos específicos de pisos y pavimentos serán abordados en próximas ediciones de Hormigonar.

¿Cuándo y por qué aparecen las fisuras por contracción por secado?

La causa más habitual de fisuración del hormigón es la restricción »

de la contracción por secado, también conocida como 'restricción de la retracción por fraguado'. La contracción por secado es provocada por la pérdida de cierta cantidad y tipo de agua presente en la pasta cementícea, la cual se puede contraer hasta un 1 por ciento. Por fortuna, en tanto, los agregados proveen una restricción interna que reduce la magnitud de este cambio de volumen a valores de entre 0,03% a 0,08%, siendo la contracción final del hormigón de 25 a 12 veces menor que la de la pasta cementícea pura. Esta es una de las propiedades fundamentales, además de la economía, que cumplen los agregados del hormigón: localizar y reducir la contracción por secado.

Esta pérdida de humedad del hormigón comienza a ser relevante después de finalizado el curado, ya que este último tiene el objetivo de impedir que el hormigón pierda agua en sus primeros días, cuando más débil y frágil se presenta desde los puntos de vista de durabilidad y resistencia. Cuando el hormigón se pone en contacto con un ambiente con una humedad relativa inferior al 100%, comienza a contraerse debido a su carácter higroscópico; es decir, se 'pone en sintonía' con las condiciones ambientales, entre ellas la humedad relativa (HR). Salvo en los casos de hormigones sumergidos durante su servicio, todos los demás, excepto que se empleen tecnologías especiales como cementos expansivos o aditivos compensadores de contracción, se contraen gradualmente en el tiempo según una curva logarítmica.

La pérdida de esta agua adsorbida a ciertos productos de hidratación del cemento no se produce rápidamente sino que el hormigón va perdiendo agua gradualmente con el tiempo. La contracción final será el resultado del equilibrio del hormigón con las condiciones ambientales, fundamentalmente con la HR del lugar donde se ha colocado. En la figura 1 se muestra una variación típica en el tiempo de la contracción

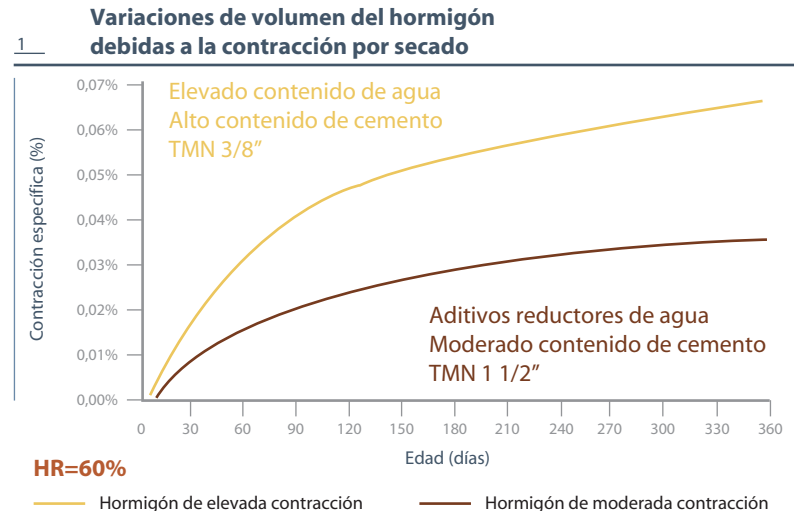


Figura 1 - Variaciones de volumen del hormigón debidas a la contracción por secado

por secado donde se exhiben sólo dos ejemplos apreciando la variación de la contracción con un valor asintótico a la contracción total. En condiciones normales se considera que a un año de edad se llega a entre un 70 y un 90% de la contracción total, que se acepta como contracción máxima ya estable.

Para un período de entre 4 y 6 meses se llega a entre un 40 y un 60% de la contracción total, dependiendo de una gran cantidad de parámetros, fundamentalmente de la composición del hormigón y de las condiciones ambientales, entre las que se destaca la humedad relativa ambiente.

Estos cambios de volumen inducidos por las variaciones internas de humedad son una característica propia del hormigón. Si la contracción del mismo se produce de manera no restringida, el hormigón no se fisura. Es la combinación de la contracción y la restricción a estas deformaciones impuestas (generalmente proporcionada por otra parte de la estructura, como por ejemplo para los tabiques, sus fundaciones o tabiques de niveles inferiores o por la subrasante en el caso de pisos y pavimentos) lo que provoca el desarrollo de tensiones de tracción inducidas por las deformaciones. Cuando se supera la resistencia a la tracción del hormigón el mismo se fisura. Este fenómeno se esquematiza en la figura 2.

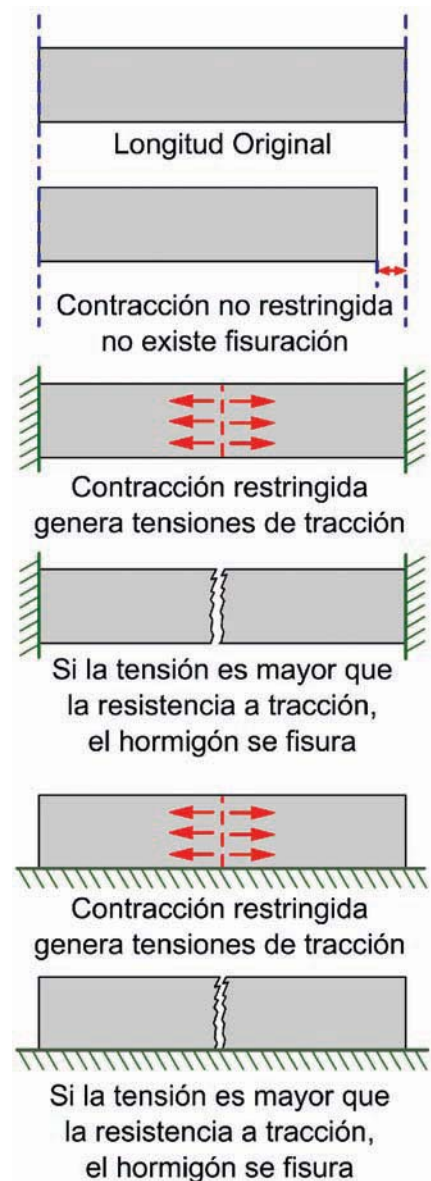


Figura 2 - Influencia de la restricción en la contracción por secado

La fisuración de manera errática que no sigue las juntas planificadas presenta una disminución de servicio, reducción de la vida útil y depreciación estética de los elementos fisurados. Para el caso de pavimentos y pisos industriales se crean juntas adicionales y fisuras activas que aumentan los costos de mantenimiento impactando negativamente en el aspecto estético del mismo, además de permitir el paso de agua a la base de apoyo o la degradación continua de la fisura por la intromisión de pequeñas partículas de arena u hormigón (ambas deterioran el pavimento al imposibilitar el movimiento de la fisura por cambios de temperatura). Para el caso de tabiques de hormigón o muros de contención, las fisuras pueden ser antiestéticas, estructurales o pueden causar filtraciones que perjudiquen tanto al servicio como a la estructura misma (como, por ejemplo, acelerar el proceso de corrosión de armaduras).

Como se mencionó, la contracción por secado del hormigón es la disminución de volumen provocada por la pérdida de agua. Un valor típico para la deformación final del hormigón es 0,05 por ciento. Debido a que la capacidad de deformación por tracción suele ser del orden de 0,015%, habrá fisuración si en un miembro la contracción está restringida por otros elementos estructurales o por la base. Sin embargo, hay un elevado grado de incertidumbre en la predicción de la contracción de las estructuras de hormigón, ya que esta propiedad varía considerablemente en función de muchos parámetros, incluyendo la composición del hormigón, el origen de los agregados, la humedad relativa ambiente, la restricción con la subrasante o con otros elementos estructurales, la geometría del elemento y, más específicamente, la relación entre la superficie expuesta y el volumen del elemento estructural.

Para dar un ejemplo de cuánto se contrae o acorta un elemento estructural con los valores dados y para un valor promedio de 0,05% significa que un elemento de hormigón de 8 metros se acortará 4 mm y para un elemento de 5 metros se acortará o contraerá aproximadamente 2,5 mm.

En la figura 3 se muestra el efecto que tienen las armaduras en la contracción por secado. En el caso del hormigón simple y en el caso de emplear espaciamientos de juntas no compatibles, el ancho de la fisura se formaría aproximadamente en la mitad del paño y su abertura sería cercana a la contracción total del hormigón. En el caso de emplear armaduras de refuerzo convenientemente colocadas y en cantidad suficiente, éstas reparten uniformemente las fisuras a lo largo del paño y disminuyen el ancho total de las fisuras debido a los esfuerzos de tracción que absorben. Así, en el ejemplo de una contracción total de 4 mm en 8 metros el no emplear armaduras crearía una fisura de un poco menos de 4 mm de ancho, mientras que al emplear armaduras de manera efectiva se crearán varias fisuras de ancho inferior y sumando los anchos de las fisuras individualmente se llegará a un valor menor a la contracción total de 4 mm del hormigón. Para el caso de cuantías elevadas, mayores al 0,60%, el ancho de las fisuras permanece tan pequeño que no afecta la estética ni la durabilidad y la capacidad para transmitir esfuerzos. De todas maneras, estas cuantías son medidas completamente antieconómicas para el caso de pisos y pavimentos, por lo que como criterio principal se emplea un adecuado diseño y materialización de juntas de contracción.

Los últimos avances de la tecnología del hormigón intentan solucionar esta falencia del hormigón para reducir o eliminar la

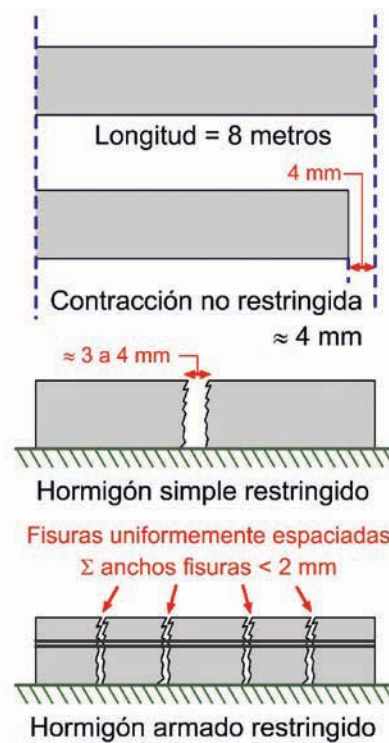


Figura 3 - Efecto de armaduras en la distribución y disminución del ancho de fisuras

contracción por secado en pisos industriales o pavimentos mediante el empleo de fibras o la utilización de cementos o aditivos expansivos o compensadores de contracción, aunque actualmente en el país no abundan experiencias por el escepticismo o desconocimiento del proyectista o constructor.

¿Cómo identificarlas?

En la figura 4 se muestra esquemáticamente la fisuración por contracción típica en losas y en tabiques o muros de contención. Estas figuras y los conceptos vertidos indican claramente tanto los pisos y pavimentos como las losas y vigas de hormigón y cómo los tabiques y muros de contención son susceptibles a la fisuración por contracción por secado.

Las fisuras por contracción por secado aparecen por lo general entre 3 y 14 días después del colado como líneas muy delgadas paralelas a las juntas en pisos y pavimentos y para el caso de los tabiques»

perpendiculares al elemento de restricción, como por ejemplo las fundaciones en tabiques de sótano. Para este último caso, las fisuras comienzan a aparecer desde la parte inferior del tabique, la cual es la más fuertemente restringida, mientras que la parte superior que está libre puede contraerse sin generar esfuerzos importantes, por lo que muchas fisuras pueden no aparecer en toda la altura del elemento.

Como se mostró en las figuras anteriores, estas fisuras penetran todo el espesor del elemento estructural, por lo que puede apreciarse en ambas caras de los tabiques y en los bordes del pavimento cómo presentan un ancho de fisura aproximadamente constante en todo el espesor de la losa.

Estas fisuras tienen la particularidad, por el mecanismo esquematizado en la figura 1, de que van aumentando su ancho con el tiempo. Así, comienzan como fisuras delgadas como cabellos de 0,1 mm y con los meses pueden presentar anchos de varios milímetros, estabilizándose su ancho a edades de 9 a 15 meses, dependiendo de las condiciones ambientales para climas más secos o más húmedos respectivamente. Esta estabilización de la contracción es relativa, ya que para el caso de pavimentos con juntas ineficientes estas fisuras actuarán como juntas y serán sensibles a cambios de temperatura, por lo que probablemente sean activas, lo que agrava la degradación del pavimento si las mismas no son adecuadamente selladas.

Para completar el tema de la identificación de fisuras, se caracterizan, además del paralelismo a las juntas o a la altura en los tabiques, por su forma casi rectilínea y por que estas fisuras dividen a los elementos en zonas de aproximadamente la misma superficie. A continuación se brindan ejemplos para clarificar estos conceptos.

FISURACIÓN TÍPICA EN LOSAS DE PAVIMENTOS

con un diseño inadecuado (por ej. espaciamiento excesivo entre juntas)



FISURACIÓN TÍPICA EN TABIQUES DE SÓTANO

si no posee juntas o cuantías adecuadas de armaduras de repartición

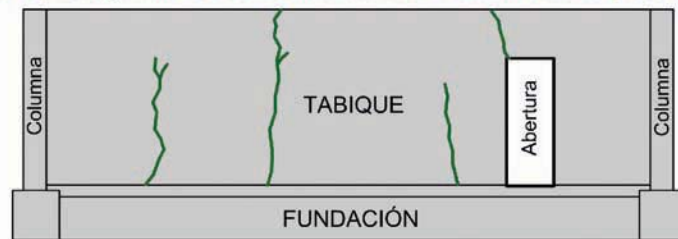


Figura 4 - Esquemas típicos de fisuración en losas y tabiques

En el caso de un pavimento no armado con paños de 4 x 7 metros, por ejemplo, si el hormigón no es capaz de resistir las tensiones inducidas por la restricción que le brinda la base a la deformación aquél se fisurará dividiendo el paño en aproximadamente dos mitades de 4 metros x 3,50 metros, tendiendo siempre a constituir formas cercanas a las cuadradas. Es decir, la fisura será paralela a la junta de 4 metros y se encontrará en la parte central del mayor espaciamiento entre juntas.

Otro ejemplo: si se realiza una calzada de pavimento en el día de 3,60 metros x 20 metros y no se materializan a tiempo las juntas por alguna causa (por ejemplo, aserrado tardío a más de 24 horas en clima caluroso o impronta menor a la cuarta parte del espesor), el hormigón, aunque se hayan marcado las juntas de manera tardía, dividirá el paño construido en 3 a 4 paños con fisuras equidistantes y paralelas al lado de 3,60 metros.

Así como existe una conciencia generalizada en la necesidad

de juntas para pisos y pavimentos, para el caso de tabiques pocas veces se materializan juntas verticales, ya que se cree que no se van a fisurar y todo hormigón reduce sus dimensiones (esté en posición vertical u horizontal), por lo que si el hormigón necesita una junta se fisurará dividiendo el tabique en paños aproximadamente iguales y tendiendo a las formas cuadradas. Por ejemplo, se hormigona en un mismo día un tabique de 2,50 metros de altura por 15 metros de longitud y el mismo está solidarizado a una fundación de mucha más inercia que el tabique (lo que suele suceder). Si el tabique no ha sido adecuadamente diseñado y no posee una cuantía mínima de armaduras en sentido transversal (armaduras de repartición), se fisurará y se dividirá en 4 a 6 paños de similares dimensiones y, como se mencionó, algunas de estas fisuras pueden no llegar a toda la altura del tabique, pero seguramente atravesarán todo su espesor. ¶

(continuará en el próximo número)



LOS “CUÁNDO, POR QUÉ Y CÓMO” DE LAS FISURAS EN EL HORMIGÓN ENDURECIDO: FISURACIÓN POR CONTRACCIÓN POR SECADO SEGUNDA PARTE



MS. ING. MAXIMILIANO SEGERER
Control y Desarrollo de Hormigones S.A.
www.cdormigones.com.ar

¿CUÁNDO PUEDEN APARECER?

Como se estudió en el artículo del número anterior, si bien a las fisuras por contracción por secado se las asocia directamente con pisos y pavimentos, las mismas pueden aparecer en casi cualquier elemento de hormigón. Esto es debido a que todo hormigón, salvo que se empleen tecnologías especiales, se contrae, y si esta contracción está restringida y no se poseen cuantías de armaduras en cantidad suficiente el hormigón podrá fisurarse. Muros de sótanos, tabiques de niveles superiores de grandes dimensiones, muros de contención y losas también pueden sufrir la contracción por secado (figura 2.1).

Es por ello que debe estudiarse en conjunto la composición del hormigón, las prácticas constructivas, las secuencias de llenado, el diseño de los diferentes elementos, la disposición de juntas, el detallado de las armaduras y las condiciones ambientales durante la vida útil de

la estructura para lograr evitar este tipo de fisuración más frecuente en obras de hormigón que puede alterar tanto la funcionalidad y la durabilidad como la seguridad de las estructuras.

¿CÓMO PREVENIRLAS?

Deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones para minimizar y controlar la contracción por secado para evitar la formación de fisuras erráticas y que las mismas ocurran en las juntas, ya que en realidad se trata de fisuras planificadas.

Dosificación del hormigón elaborado

- ▶ Minimizar el contenido de agua de la mezcla, ya que es el factor que más agrava el riesgo de fisuración por contracción por secado, empleando aditivos reductores de agua y granulometrías bien estudiadas. Por ejemplo, un incremento de 40 litros/m³ incrementa un 50% la magnitud de la contracción.
- ▶ Emplear un asentamiento adecuado con el elemento estructu-

ral y medios de colocación disponibles. Si es necesario trabajar con asentamientos superiores a 8 cm deben emplearse aditivos superfluidificantes.

- ▶ Emplear tamaños máximos del agregado lo mayor posible siempre que sea compatible con las dimensiones del elemento y con los medios de colocación. Al disminuir el tamaño máximo del agregado aumenta la superficie específica a cubrir con pasta, incrementando el contenido de agua y de cemento.
- ▶ Disminuir el contenido de finos perjudiciales (pasantes tamiz 75 mm) provenientes de agregados, ya que incrementan la demanda de agua.
- ▶ En pisos y pavimentos, emplear el mínimo contenido de cemento que sea compatible con las condiciones de resistencia y de durabilidad.
- ▶ Limitar la exudación, ya que pueden aparecer contracciones diferenciales en pisos y pavimentos, fundamentalmente cuando el piso apoya directamente sobre una lámina plástica. »

Prácticas constructivas

- ▶ Realizar un curado adecuado y aplicarlo lo más pronto posible o de lo contrario se desecará muy rápidamente.
- ▶ Dentro de lo posible, son recomendables métodos gravitacionales antes que por bombeo.
- ▶ Nunca incorporar agua en la obra, ya que se incrementará el riesgo de fisuración en estado endurecido, no así en estado fresco, siendo el primero el verdaderamente perjudicial para el hormigón.
- ▶ Realizar el aserrado de juntas lo antes posible sin que se dañe el hormigón, dependiendo de la dosificación del hormigón, condiciones climáticas y equipos disponibles (figura 2.3).
- ▶ Aserrar entre la 1/4 y la 1/3 parte del espesor de losas en pisos y pavimentos (figura 2.3).
- ▶ En el caso de muros y tabiques, es importante planificar las juntas constructivas y dentro de lo posible no superar los 8 a 10 metros lineales hormigonados en el mismo día si no se han previsto juntas.

Diseño de juntas

- ▶ Salvo que se empleen aditivos o cementos reductores de contracción, todos los pisos industriales y pavimentos deben poseer juntas espaciadas, dependiendo este espaciamiento de una gran cantidad de parámetros de diseño del piso y del hormigón. Al emplear espaciamientos superiores a los recomendados para cada obra en particular el hormigón y la restricción dada por la sub-base fisuran al hormigón en la parte media del paño (figura 2.2).



FIGURA 2.1 - Fisuras por contracción por secado



FIGURA 2.2 - Inadecuado diseño de juntas

- ▶ Las cuantías de armaduras empleadas generalmente en pisos son inferiores al 0,14%, valor que permite sólo disimular las fisuras; es decir, mantenerlas a un ancho admisible no es suficiente para eliminar la fisuración, necesitándose para esto último cuantías muy superiores del orden del 0,60%, las que generalmente son antieconómicas, por lo que es recomendable diseñar adecuadamente las juntas.
- ▶ Siempre es recomendable realizar paños con sus dos dimensiones lo más similares posibles, no debiendo exceder una relación de ambos lados del paño de 1:1,5, debido a que independientemente del espaciamiento entre juntas el piso podrá fisurarse en su parte media. Además, se deben tener en cuenta las aberturas, columnas y singularidades, ya que deben ser aisladas con juntas de manera especial (figura 2.2). »



Condiciones ambientales

- ▶ La humedad relativa tiene una gran influencia sobre la contracción última y la velocidad de contracción. En ambientes o climas secos, la contracción tiene una mayor magnitud y las fisuras se manifiestan de manera más rápida que en climas templados o húmedos o bien en recintos cerrados que tengan una humedad relativa más elevada que el exterior. Comparativamente, entre climas secos y húmedos la contracción puede aumentar un 30%, por lo que no pueden extrapolarse diseños de juntas en diferentes regiones del país, debiendo reducir el espaciamiento en climas desérticos o secos.
- ▶ En zonas muy ventosas la contracción puede acelerarse debido a una más rápida desecación.
- ▶ La incidencia de la temperatura del día en el momento de la colocación del hormigón incide sólo superficialmente, por lo que tiene importancia sólo en los primeros días de la obra. La incidencia de las variaciones de la temperatura anual en el período de construcción sí tiene una incidencia general más acentuada, pues su influencia alcanza mayor profundidad en la estructura. La mayor parte de las veces las juntas de contracción también actúan como juntas de dilatación y contracción térmica.



FIGURA 2.3 - Metodología ineficaz para materializar las juntas



FIGURA 2.4 - Mal sellado de fisuras activas y dispositivos de seguimiento

Para pisos y pavimentos el aspecto fundamental es el diseño y materialización de juntas. Sin embargo, existe una gran incertidumbre en la predicción de la contracción debido a la enorme cantidad de factores que pueden influenciar en su magnitud. Es por ello que existen muchas publicaciones y recomendaciones en lo que concierne a los espaciamientos de juntas recomendados. Realizando una envolvente de estas recomendaciones,

sumado a experiencias en el país, como primera aproximación pueden tomarse para el caso de pisos

y pavimentos no armados o débilmente armados los valores de la siguiente tabla.

Espesor del piso	Espaciamiento recomendado
10 cm y menores	Entre 2,5 y 3,5 metros
12 cm	Entre 3,0 y 4,0 metros
15 cm	Entre 3,5 y 4,5 metros
18 cm	Entre 4,0 y 5,5 metros
20 cm y mayores	Entre 4,5 y 6,0 metros



Los valores inferiores son aplicables en casos de condiciones desfavorables como tamaño máximo nominal del agregado pequeño, elevados contenidos de cemento, no empleo de aditivos reductores de agua, piso apoyado directamente sobre láminas plásticas en pisos y pavimentos al aire libre en climas secos, etc.

El límite superior se aplica con condiciones favorables; es decir, contrario a lo indicado anteriormente. De todas maneras, el espaciamiento de juntas debe ser definido por el proyectista y debe figurar en los planos.

¿CUÁNDO REPARARLAS?

Siempre es recomendable reparar las fisuras cuando ya no presentan actividad o cuando la mayor parte de la contracción por secado ha ocurrido. Sin embargo, en algunos casos no es posible. Un ejemplo es cuando deben repararse estructuras rápidamente y no se puede esperar tiempos de 6 a 12 meses, los cuales siempre son recomendables.

Otro ejemplo es cuando existen fisuras en pisos donde no han trabajado las juntas (por ejemplo, por aserrado tardío, profundidad insuficiente del aserrado o intensa fisuración por contracción plástica que se manifiestan irregularmente), y estas fisuras seguirán teniendo movimientos por contracción y dilatación térmica. En estos casos, salvo que sean aserradas nuevamente las juntas y en algunos casos aserrar nuevas, las fisuras por contracción actuarán como juntas no previstas y será dificultosa su reparación, fundamentalmente si es necesario transmitir esfuerzos.

Siempre es recomendable en fisuras por contracción por secado, fundamentalmente cuando el hormigón tiene edades inferiores a un año o cuando las juntas no han trabajado eficientemente, realizar el seguimiento de fisuras para establecer su actividad. Para realizar

este seguimiento de fisuras puede emplearse mortero de yeso aplicado o testigos de vidrio, que al ser materiales frágiles, si la fisura presenta un movimiento los testigos de fisurarán, constituyendo un método cualitativo. También existen seguidores de fisuras que manifiestan la apertura de las mismas y una posible rotación, siendo estos métodos cuantitativos (figura 2.4).

Cabe destacar que la reparación de este tipo de fisuras no es sencilla como en el caso de las fisuras del hormigón fresco, ya que debe establecerse la actividad de las fisuras para escoger el momento y la metodología más apropiada, además de tener en cuenta la necesidad de la reparación y las necesidades estructurales, funcionales o estéticas de la estructura.

Tanto el momento como la técnica de reparación dependerán de:

- ▶ Actividad de las fisuras (si se continúan moviendo en el tiempo o no).
- ▶ Dimensiones de los elementos (por ejemplo, espesor de pisos y pavimentos).
- ▶ Características ambientales de exposición (al aire libre, bajo techo, clima).
- ▶ Características del hormigón y técnicas constructivas empleadas.
- ▶ Necesidad o no de restaurar la transferencia de esfuerzos (en el caso de tabiques, losas, etc.).
- ▶ Necesidad o no de impedir el pasaje de líquidos (en el caso de piletas, cisternas).
- ▶ Necesidad de restaurar el aspecto estético de la estructura.

¿CÓMO REPARARLAS?

La técnica de reparación a escoger dependerá de la evaluación de los aspectos señalados anterior-

mente. Si no se estudia cada uno de ellos para la obra en particular muy probablemente la reparación y con ello la inversión fracasarán. Deberán evaluarse técnica y económicamente diferentes alternativas, considerando no sólo el costo del producto (que no es generalmente significativo) sino la mano de obra especializada, las posibles terminaciones para restituir la estética y la incertidumbre que todo método de reparación posee. Se citan cuatro casos para apreciar la diferencia de la metodología y tiempo de aplicación de la reparación.

- ▶ **Caso 1:** Piso industrial con espaciamiento excesivo entre juntas o que las mismas no han trabajado
- ▶ **Caso 2:** Tabique en subsuelo en playa de estacionamiento con jardines a uno de sus costados
- ▶ **Caso 3:** Pileta de contención de vinos
- ▶ **Caso 4:** Elemento estructural con necesidad de retransmitir esfuerzos con importancia estética

En el caso 1, dependiendo si el piso tiene que repararse de manera inmediata o puede esperar, dependerá de la metodología a emplear. Si las fisuras continúan su movimiento deberán sellarse con algún material elástico que acompañe sus deformaciones, además de un aserrado de las fisuras. De sellarse con algún material rígido (como lechadas o inyecciones epoxi), al poco tiempo del hormigonado (antes de los 4 a 12 meses dependiendo de los factores ya estudiados) las fisuras volverán a abrirse en coincidencia con la fisura original o muy cercanas a ella (figura 2.4). Si debe repararse un piso que tiene una edad prolongada, puede procederse a re-aserrar las juntas (ya que debe asegurarse que sigan trabajando como »



juntas de contracción y dilatación) y sellarlas con materiales rígidos o flexibles. En todos los casos, si es importante la estética deberá darse un tratamiento superficial adicional.

En el caso 2, para evitar filtraciones dentro de la playa de estacionamiento y si no es necesario restituir la transmisión de esfuerzos (ya que el muro de contención trabaja primariamente en el otro sentido), podrán sellarse a cualquier edad con un material elástico que acompañe los movimientos e impida las filtraciones. Si no se habían previsto juntas, difícilmente puedan inyectarse con algún material rígido, ya que siempre existirán movimientos por temperatura. En estos casos muchos proyectistas son renuentes a diseñar juntas en muros y tabiques. De todas maneras, si las fisuras que aparecen

tienen el mismo efecto estructural que una junta, nada más que funcional y estéticamente al no estar planificadas crean serios inconvenientes. Al presentar anchos menores a 1,5 mm por lo general y atravesar todo el espesor, siempre existe la trabazón que dan los agregados y la irregularidad de las juntas, por lo que si es necesaria la transmisión de esfuerzos en sentido transversal, como en el caso de sismos, la misma será efectiva. Es decir, si el tabique se va a fisurar, que al menos la fisura sea controlada en una junta y tratada para impermeabilizarla.

En el caso 3, para evitar el escape del vino almacenado debería re-aserrarse la fisura y sellarse con algún material elástico o rígido, dependiendo de las dimensiones de la piqueta y del tiempo desde que se hormigonó, conside-

rando que el sellador sea compatible con productos alimenticios. Deberá tenerse especial atención en la preparación de superficies, ya que si tiene un ataque ácido el hormigón será difícil lograr buena adherencia si no se emplean técnicas especiales.

En el caso 4, deberá esperarse hasta que se establezca la contracción por secado, corroborado mediante algún método de seguimiento de fisuras, y aplicar mediante inyecciones epoxi, poliuretano u otros materiales cementíceos con una adecuada preparación de las caras de las fisuras un material que rígidamente transfiera esfuerzos. Estos trabajos generalmente no quedan prolijos a la vista, de modo que el elemento deberá revestirse con algún otro material o pintura, debiendo considerarlo en el costo de la reparación. ¶

Los “cuándo, porqué y cómo” de las fisuras en el hormigón endurecido: contracción en tabiques y otros elementos verticales

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

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

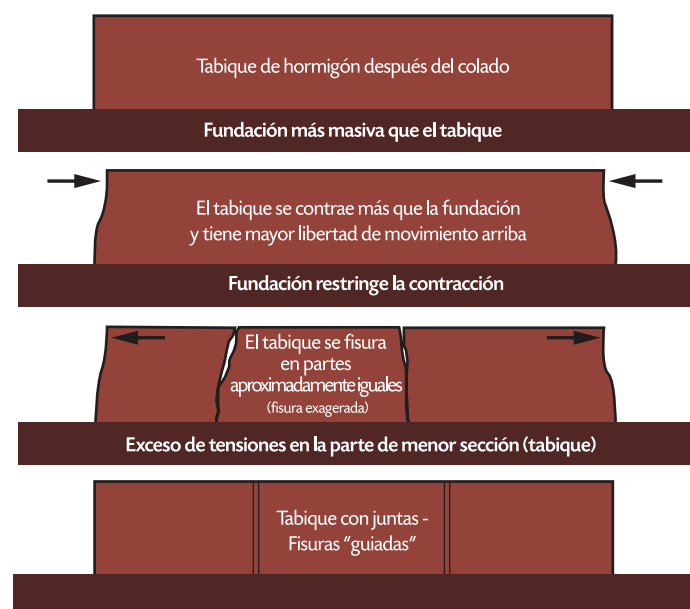
El mecanismo de la contracción por secado ya fue estudiado en detalle en los artículos de esta misma serie, denominados “Fisuración por Contracción por Secado”. De manera muy resumida, se trata de la restricción inducida a los movimientos propios ocasionados por la reducción del volumen del hormigón a raíz de la pérdida de agua paulatina. Es decir, no es la contracción por secado la que fisura el hormigón, sino la restricción a sus movimientos, que puede estar dada por otra parte de la estructura en muros o por la base en pisos y pavimentos. La planificación de juntas en pisos y pavimentos se realiza habitualmente y se considera desde el diseño como un aspecto “indispensable”. En estos casos, no es conveniente que el espaciamiento entre juntas sea superior 22 a 24 veces el espesor y que la relación de ambos lados no sea superior a 1,5.

Aunque parezca obvio, hay que señalar que el hormigón empleado en tabiques también se contrae y sufre movimientos por retracción por secado (Figura 1). Además, el hormigón de tabiques muchas veces presenta una mayor contracción específica por tener un menor tamaño máximo de agregados, una consistencia más fluida para su colocación y, en el caso de tabiques vistos, contenidos de medios de cemento para mejorar su aspecto arquitectónico. Entonces... ¿por qué no se planifican juntas? Si bien es bastante difícil para modelar, la restricción suele ser menor que en

el caso de pisos y pavimentos, ya que existe mayor libertad de movimiento principalmente en la parte superior del tabique, siendo la mayor restricción la ocasionada por fundaciones masivas o tabiques de niveles inferiores de mayor inercia. Todo ello conduce a que es necesario, desde el diseño, considerar estas variaciones dimensionales, existiendo tres opciones de orden general, que pueden usarse individualmente o combinadas:

- Diseñar armaduras que reduzcan a un ancho admisible las fisuras

F1 Esquema simplificado de contracción por secado en tabiques



- Materializar juntas verticales para inducir las fisuras
- Construcción por bloques o paños alternados

En realidad existe una cuarta opción, también viable, que es dejar que el elemento se fisure libre y erráticamente, siempre que no conlleve a ningún problema asociado, como los que se estudiarán al final del artículo. Un ejemplo pueden ser los muros de alcantarillas de hormigón simple, bastante empleados en nuestro país.

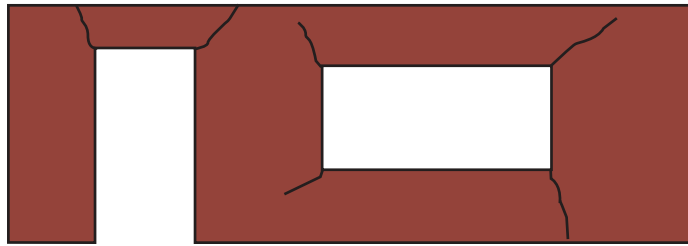
Armaduras para minimizar y localizar los fenómenos de contracción

El Reglamento CIRSOC 201 y otras recomendaciones internacionales establecen que son necesarias cuantías mínimas del 0,15% al 0,20% de la sección de elementos verticales para controlar fisuras inducidas por contracción por secado y contracción térmica, conocidas también como “cuantías mínimas”. Esta armadura mínima transversal es bastante pequeña; como ejemplo, en un tabique de 12 cm de espesor equivale a $\varnothing 6$ c/30 cm en ambas caras y para un tabique de 25 cm, a 8 c/25 cm en ambas caras. En estos ejemplos, son armaduras denominadas de “repartición”. Sin embargo, y tal como establece el Reglamento, estas armaduras no evitarán la formación de fisuras. Para reducir las fisuras a un ancho admisible, la recomendación ACI 224R.01 “Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón” sugiere que, para limitar las fisuras a un ancho aceptable, la cuantía mínima transversal debe ser del 0,6%, que en la mayoría de los casos es antieconómica, con lo cual se prefiere trabajar con juntas verticales. Más aún, para ciertas estructuras de importancia en la contención de sustancias peligrosas o casos específicos como tabiques de hormigón apoyados directamente sobre otros tabiques, lo cual genera una restricción muy superior al movimiento, no es recomendable diseñar con cuantías menores al 1,0% en ambos sentidos. Incluso en estos casos el hormigón se fisurará, pero el ancho de fisuras será pequeño y probablemente compatible con el uso. Respecto de la distribución de las armaduras, ésta debe ser uniforme en ambas caras del tabique, excepto condiciones particulares, y es preferible trabajar con pequeños diámetros y menores separaciones que con mayores diámetros, que resultarán en espaciamientos excesivos de las armaduras. Por ejemplo, para un tabique de 25 cm, la cuantía del 0,6% equivale a 15 cm² de armadura

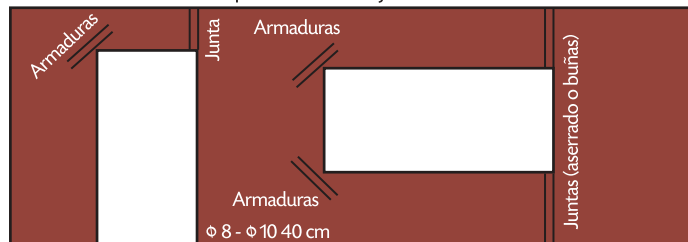
F.2

Fisuras en coincidencia con aberturas y ángulos rectos

Fisuras esperables en aberturas sin refuerzos adicionales en tabiques de hormigón armado



Refuerzos a 45° para reducir el ancho o eliminar fisuras o planificación de juntas verticales



por metro lineal, es decir, 7,5 cm² en cada cara. Es preferible trabajar con armaduras $\varnothing 10$ c/10 cm en cada cara que con $\varnothing 16$ c/25 cm.

Otro caso de refuerzos típicos es el de las aberturas de tabiques (ventanas, puertas), en los cuales o se planifican juntas o se refuerza a 45°, reduciendo notablemente el ancho de la fisura inducida por el ángulo a 90° (Figura 2). Las cuantías dependerán del diseño estructural, pero si no se posee ese dato, y del lado de la seguridad, conviene colocar “recortes” de barras (4 a 6 barras $\varnothing 8$ o $\varnothing 10$ de unos 40 cm de largo), tal como se esquematiza en la Figura 2, atándolas con alambre en la parte interior de ambas caras de armaduras principales del tabique.

Juntas verticales

En general, y para la mayoría de los casos de tabiques estructurales de edificios, estructuras de conducción de agua, alcantarillas y otros similares, la planificación de juntas es la mejor opción. Entre los ejemplos de obras lineales antes referidas merece realizarse una comparación. En canales de riego, aluvionales u otros, en general existe la “buena costumbre” de hacer juntas cada 4 a 5 metros, considerando en el diseño que la estructura trabaja “por paños”. Sin embargo, para el caso de alcantarillas, que claramente son estructuras muy similares, aunque con losa superior, rara vez se incluyen juntas. Más aún, en planos y especificaciones de las diferentes reparticiones públicas no se encuentran por lo general estas disposiciones, siendo la armadura transversal bastante inferior a 0,6%. El efecto final es el mismo »

en ambos casos: contracción y fisuración, por ser una estructura lineal que divide longitudinalmente la estructura en diferentes porciones equidistantes. Pero la diferencia radica en que cuando no se planifican las juntas, las fisuras son erráticas (Figura 3), difíciles de sellar y traen conflictos; en cambio, con juntas materializadas adecuadamente, las fisuras se formarán detrás de estas y su tratamiento será mucho más sencillo. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de fisuras relevadas en alcantarillas de hormigón simple y las juntas propuestas. Esta disposición de juntas se comprobó como efectiva en otras alcantarillas de la misma obra.

La recomendación ACI 224.3R "Juntas en estructuras de hormigón" establece que, para el caso de contracción por secado y movimientos ocasionados por gradientes de temperatura, es esperable que aparezcan fisuras verticales dividiendo los muros en partes aproximadamente iguales, recomendando en ambos casos trabajar con juntas verticales, el método más efectivo para prevenir fisuras erráticas. Las juntas de contracción deben ser planificadas estratégicamente para mejorar el aspecto, la funcionalidad y/o integridad estructural.

Al igual que en el caso de pisos y pavimentos, la modelación de la contracción por secado y sus restricciones asociadas es muy dificultosa y muchas veces intervienen parámetros o coeficientes que no se disponen para obras corrientes, con lo cual se acude a medidas empíricas que han dado buenos resultados. En caso de que no se posean juntas adecuadamente planificadas y materializadas en obra, el hormigón formará sus propias juntas como fisuras no controladas. Un muro anclado a una fundación más rígida o a otros elementos que se opongan a los cambios volumétricos, la contracción de las partes más altas será más notoria, al presentar mayor libertad de movimiento.

Las juntas de contracción son planos de debilidad creados intencionalmente en el muro, logrados por la reducción localizada del espesor del muro, de las armaduras o de ambas. La fisuración entonces ocurre en este plano débil y no aparece en lugares erráticos dentro del muro. Esta reducción del espesor puede lograrse de ambas caras o de una sola de ellas, debiendo ser su suma no menor a 1/4 a 1/5 del espesor del muro. Como ejemplo, para un tabique de 18 cm, reduciendo 2 a 2,5 cm en cada cara es suficiente, que usualmente es el espesor de recubrimiento para ambientes interiores no agresivos. Estas juntas se pueden materializar dejando "buñas" de madera, insertos metálicos o plásticos, o mediante aserrado al día siguiente del colado (Figura 5).

F3 Fisuras por contracción por secado en tabiques



F4 Ejemplo de fisuras relevadas en alcantarilla de hormigón simple y distribución de juntas propuestas

Fisuras relevadas en muros de alcantarilla (Altura 2,5 metros - Hormigón simple)

Muro Central - Sur		1,0		
		0,8		
		0,6		
Distancia a la fisura 55% Longitud Muro		0,6	45% Longitud	
		0,4		

Muro Central		1,1	1,2	
		0,8	0,0	
		0,8	0,8	
30% Longitud		0,6	25% Longitud	40% Longitud
		0,6		0,6

Muro Norte	0,5	0,6	0,7	0,6
	0,5	0,8	0,6	0,6
	0,5	0,6	0,6	0,4
18% Longitud	0,4	0,4	22% Longitud	0,4
	0,3	0,3	22% Longitud	0,4
			20% Longitud	0,3
			20% Longitud	0,3

Juntas propuestas para muros de alcantarilla (Hormigón Simple) - Longitud 20 metros

4,0 metros	6,0 metros	6,0 metros	4,0 metros
------------	------------	------------	------------

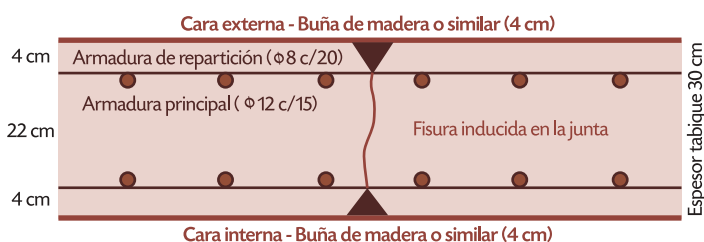
Juntas propuestas para muros de alcantarilla (Hormigón Simple) - Longitud 30 metros

4,0 metros	5,5 metros	5,5 metros	5,5 metros	5,5 metros	4,0 metros
------------	------------	------------	------------	------------	------------

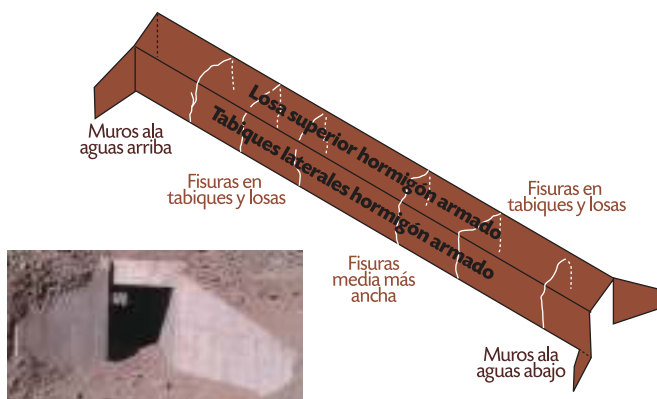
Respecto de las recomendaciones del espaciamiento entre juntas no hay consenso y depende del tipo y uso del muro y condiciones de servicio durante su vida útil, como también de las características del hormigón elaborado y las restricciones de otros elementos a su libertad de movimientos. La recomendación que más figura en la bibliografía para muros restringidos sólo en su parte inferior es la siguiente:

- Separación entre juntas igual a la altura para muros altos (> 3,6 metros de altura). »

F5 Materialización de juntas en tabiques



F6 Esquema de fisuras y juntas propuestas para alcantarilla de hormigón armado



CASO 1 - Muros y losa alcantarilla (Hormigón armado) - Longitud 25 metros - Altura 2,1 metros

3,0	4,8	4,8	4,8	4,8	3,0
metros	metros	metros	metros	metros	metros

CASO 1 - Muros y losa alcantarilla (Hormigón armado) - Longitud 40 metros - Altura 2,1 metros

3,0	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	3,0
metros	metros	metros	metros	metros	metros	metros	metros	metros

- Separación máxima entre juntas igual a dos veces la altura para muros "intermedios" (altura de 2,0 a 3,6 m).
- Separación máxima entre juntas igual a tres veces la altura para muros cortos (< 2,0 metros de altura).

Superpuesta a la condición anterior, es recomendable que el espaciamiento entre juntas no sea superior a 30 a 36 veces el espesor del tabique (dependiendo de las características del hormigón y las condiciones ambientales). Para clarificar los conceptos anteriores con ejemplos para muros

sólo vinculados a las fundaciones (restricción de deformaciones en su parte inferior):

- Tabique de un canal de conducción de agua de 1,5 metros de altura (muro corto) y 12 cm de espesor: por la condición de esbeltez sería recomendable una separación de juntas máxima de 4,5 metros (3 veces la altura), pero por el limitante de espesor, sería preferible no sobrepasar los 4,0 (33 veces el espesor).
- Tabique de una alcantarilla de 4,5 metros de altura (muro alto) y 20 cm de espesor: por la condición de esbeltez sería recomendable una separación de juntas máxima de 4,5 metros (una vez la altura), mientras que por limitante por espesor no deben sobrepasarse los 6,0 metros (30 veces el espesor). En este caso, debe usarse el menor de ambos valores, que será un espaciamiento máximo de 4,5 metros.

Además, es recomendable planificar la primera junta de contracción de cada lado de muros largos (> 20 metros) algo más próxima que las disposiciones anteriores. Para el caso de muros con restricciones en su parte superior e inferior, como el caso de alcantarillas con losa superior, el espaciamiento entre juntas será menor debido al mayor impedimento de deformación. Con lo cual, para el caso de muros cortos, la relación de lados recomendable es no sobrepasar las 2,0 a 2,5 veces la altura y, para muros "intermedios", emplear espaciamientos menores a 1,5 a 2,0 veces la altura. En la Figura 6 se muestra un esquema de fisuración de una alcantarilla con tabiques de hormigón armado y losa superior, y una propuesta de juntas para localizar y controlar las fisuras.

Los muros armados tienden a presentar fisuras menos espaciadas y más finas, mientras que muros sin refuerzo presentan menos fisuras pero mucho más abiertas. De todas maneras, salvo para casos excepcionales, existe trabazón de agregados entre las caras de las fisuras, lo cual permite la transferencia de esfuerzos conjunta, ante cargas horizontales como las sísmicas.

Para finalizar y para remarcar el espíritu conservador del Reglamento CIRSOC 201:05, éste estipula:

- Ubicación: las juntas de contracción y de dilatación se deben ejecutar en los lugares y de acuerdo con los detalles establecidos en los planos de proyecto de la estructura de hormigón, y en los Documentos del Proyecto.

- Metodología de ejecución: previamente a su implementación se deben aprobar los métodos y materiales a emplear en la ejecución de las juntas de contracción y de dilatación, los cuales deben estar indicados en los Documentos del Proyecto. En el caso de estructuras estancas, las juntas también deben serlo.

Construcción por etapas

Si bien es compleja la modelación y existe controversia para la determinación del espaciamiento entre juntas, aún hay mayor incertidumbre respecto de la construcción por bloques o paños alternados. Existen diversas fuentes bibliográficas que adoptan valores recomendables para llenar los muros de 8,0 metros como máximo y de esta manera no es necesario realizar juntas verticales. Es verdad que al trabajar con esta metodología el largo del bloque es algo mayor a los espaciamientos de juntas antes recomendados, pero depende de muchos factores; entre ellos, el espesor y altura del elemento a construir. En elementos masivos, probablemente los paños puedan ser de 9,0 a 10,0 metros, pero en caso de tabiques de espesor reducido, no es recomendable sobrepasar los 5,0 a 6,0 metros, ya que de otra forma existe una alta probabilidad de que aparezca una fisura intermedia y divida el paño en dos. En el caso de tabiques de hormigón arquitectónico, si la junta constructiva coincide con una parte vista, muchas veces no se logra una terminación prolija, prefiriendo las juntas verticales.

En estos casos, las juntas pueden planificarse con metal desplegado o similar, para inducir la fisura y materialización de la junta constructiva, posibilitando su posterior sellado y la continuidad de armaduras en ambas etapas. Si todas las armaduras o parte de éstas son interrumpidas, deberá figurar en las especificaciones y planos de proyecto. En el caso de estructuras masivas, estas juntas pueden desvincularse con pinturas asfálticas empleando juntas tipo “water-stop”, garantizando así el trabajo estructural entre ambos bloques y su impermeabilidad.

En el caso de estructuras estancas que deban contener fluidos, es recomendable realizar el llenado en la menor cantidad de etapas posible. Sin embargo, muchas veces deberán planificarse juntas verticales como horizontales entrellenadas de diferentes alturas de tabiques, recomendando seguir los lineamientos indicados en el artículo del número anterior de *Hormigonar*, denominado “Soluciones Prácticas para el Tratamiento de Juntas Constructivas”.

Efectos no deseables de la fisuración errática

Los descuidos de proyecto o de las técnicas constructivas, relacionados con la no previsión y materialización de juntas u otras alternativas mencionadas, traen asociados uno o varios de los siguientes conflictos:

- Potenciales problemas estructurales: en el caso de fisuras erráticas que no tomen la verticalidad y tiendan a ser oblicuas o en ciertas condiciones que evalúe cada calculista, pueden llegar a ser necesarios refuerzos.
- Aspecto estético muy cuestionado: en el caso de tabiques de hormigón visto, este tipo de fisuras altera la planificación inicial y puede ser causal de demolición del elemento.
- Potencial corrosión de armaduras (fisuras de más de 0,3 a 0,4 mm): estas fisuras atraviesan todo el espesor, serán un medio preferencial para el posible ingreso de agua y oxígeno que promuevan la corrosión de las armaduras. Si bien pueden sellarse, es mucho más incómodo y costoso que haber planificado juntas.
- Aspecto “psicológico” de tabiques fisurados: por ejemplo, para muros de sótanos o cocheras no es bien visto que los tabiques estén fisurados antes de finalizar la obra y tener que explicarle a un cliente que comprará su departamento que esa fisura no es un problema de seguridad estructural, lo que provoca una desvalorización.
- Filtraciones, problemas de humedad y otros funcionales: en muchos casos, estas fisuras son canales para filtraciones de agua. Un ejemplo típico son los muros de subsuelos en contacto con jardines; al regarlos, el agua se irá filtrando por las fisuras, provocando eflorescencias y disminuyendo el valor de la estructura.
- Pérdida de fluidos contenidos: en este caso, es crítica la planificación de juntas constructivas impermeables (juntas omega o similares) y el diseño de armaduras y juntas para reducir pérdidas, no sólo por el valor del fluido almacenado sino por los potenciales problemas ambientales que pueda traer un derrame o lixiviación.
- Reparaciones costosas y de notoria incertidumbre: reparar estas fisuras con reaserrado y materiales elásticos es una técnica bastante habitual, pero existe mayor riesgo de despegue y mayores costos de mantenimiento asociados, siendo siempre mucho más sencillo el sellado de una junta bien planificada.
- Conflictos entre las partes involucradas en la obra: como en cualquier caso de fisuración donde interviene la calidad del hormigón elaborado, el diseño y detallado de los elementos, las técnicas constructivas y las condiciones ambientales, sumado a la importante incertidumbre en los modelos; la valoración de la influencia de cada factor es muy subjetiva y lamentablemente suele traer conflictos y dificultad para discernir entre las responsabilidades involucradas. ❖



LOS CUÁNDO, POR QUÉ Y CÓMO DE LAS FISURAS EN EL HORMIGÓN ENDURECIDO: FISURACIÓN POR CONTRACCIÓN TÉRMICA INICIAL



MS. ING. MAXIMILIANO SEGERER
Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdormigones.com.ar

¿CUÁNDO Y POR QUÉ APARECEN LAS FISURAS POR CONTRACCIÓN TÉRMICA?

La limitación de la temperatura máxima del hormigón fresco, generalmente a 30 o 32 °C como criterio de aceptación, no evita la formación

de fisuras por contracción térmica. Cuando la tipología estructural y las condiciones del medio planteen la posibilidad de que ello suceda, deben tomarse las precauciones para que no ocurra. Además, aunque no se estudiará en el presente artículo, es conocido que el hormigón, como el resto de los materiales, se expande y contrae cuando está expuesto a temperaturas cálidas o frías respectivamente. Si aparecen fisuras es por un indebido diseño de la estructura, cuando las deformaciones están restringidas por otros elementos y esto puede generar

esfuerzos de tracción que la fisuren.

La fisuración por contracción térmica inicial aparece por una excesiva diferencia de temperatura dentro de las estructuras debido al equilibrio que tiende a establecerse con el ambiente que las rodea. La diferencia de temperaturas causa que la parte más fría se contraiga más que la parte más caliente.

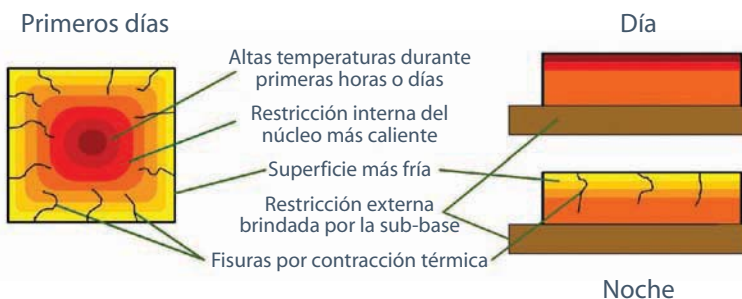
La hidratación de los materiales cementicios genera calor por varios días después del colado en todo tipo de elementos de hormigón. Este calor se disipa rápidamente en secciones delgadas, y cuando no existe

1 Restricción interna (estructuras masivas) y restricción externa (pavimentos)

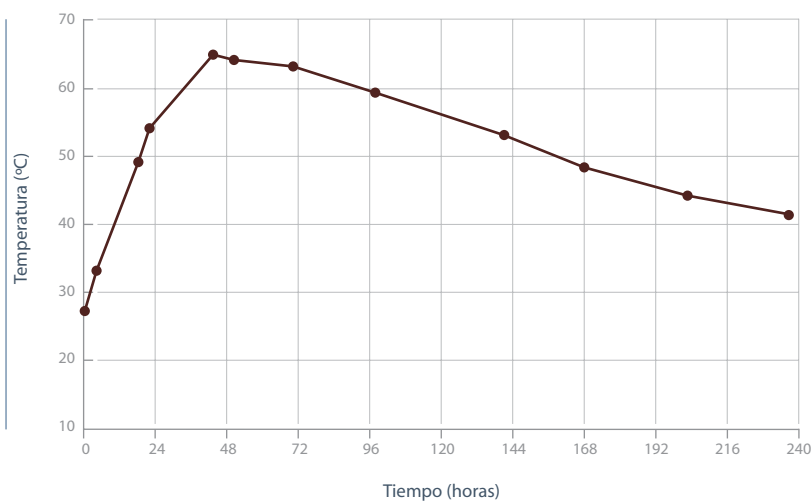
una gran diferencia de temperatura con el ambiente generalmente no trae problemas. La contracción de la superficie exterior está restringida por la sección interior más caliente, que no contrae tan rápidamente como la superficie cuando existen gradientes considerables de temperatura. Esta restricción crea tensiones que de superar la resistencia a tracción del hormigón a edades tempranas pueden fisurar la superficie del hormigón como resultado de esta diferencia de temperatura no controlada a través de toda la sección. Por ejemplo, en condiciones normales, un muro de hormigón de 15 cm se vuelve térmicamente estable en 1 ½ horas, mientras que un muro de 1,5 metros requiere una semana para una situación comparable, y en 15 metros, que representa el espesor de algunas presas en arco, requiere unos dos años.

En la mayor parte de los casos, la fisuración por contracción térmica aparece a edades tempranas, en los primeros días después del colado, cuando las reacciones de hidratación se desarrollan más rápidamente liberando calor de hidratación, y cuando el hormigón es más débil para resistir aun muy bajos esfuerzos a tracción. Las fisuras se hacen notorias entre un día y hasta dos a tres semanas después del colado, alcanzando su máximo ancho superficial a estas últimas edades.

Como se mencionó anteriormente, y al igual que en el caso de la fisuración por contracción por secado, los cambios volumétricos por sí mismos no crean tensiones sino que la restricción de estos cambios es la que origina la incompatibilidad de deformaciones e induce las tensiones que pueden fisurar al hormigón. En el caso de la contracción térmica inicial, la restricción puede tener dos orígenes, los cuales se esquematizan en la figura 1 y se describen a continuación:



2 Evolución de temperaturas en platea masiva



► **Restricción externa:** es aquella que existe a lo largo del plano de separación de una superficie de hormigón con cualquier otro material con el cual esté en contacto durante el colado. Puede estar dada por otras estructuras, por el terreno o por la sub-base de apoyo, como en el caso de los pavimentos.

► **Restricción interna:** es generada en la misma estructura cuando en los elementos aparecen cambios de volumen no uniformes en una sección. Por ejemplo, en plateas masivas, cuando la superficie más fría tiende a contraerse y el hormigón del núcleo más caliente impide y restringe estas deformaciones.

Como se mencionó anteriormente, en función del origen de la restricción pueden aparecer inconvenientes en dos grandes tipos de estructuras:

► **Hormigón masivo:** el principal factor que define el hormigón masivo es su dimensión mínima. La recomendación ACI 301 denomina como masivo a un elemento con dimensión mínima de 1,30 metros, mientras que el Reglamento CIRSOC 201 establece 0,75 metros. Este aspecto está dado por la baja conductividad térmica del hormigón, por lo cual el calor escapa muy lentamente en estructuras masivas, el cual intenta escapar por su menor dimensión y es ésta la que controla »



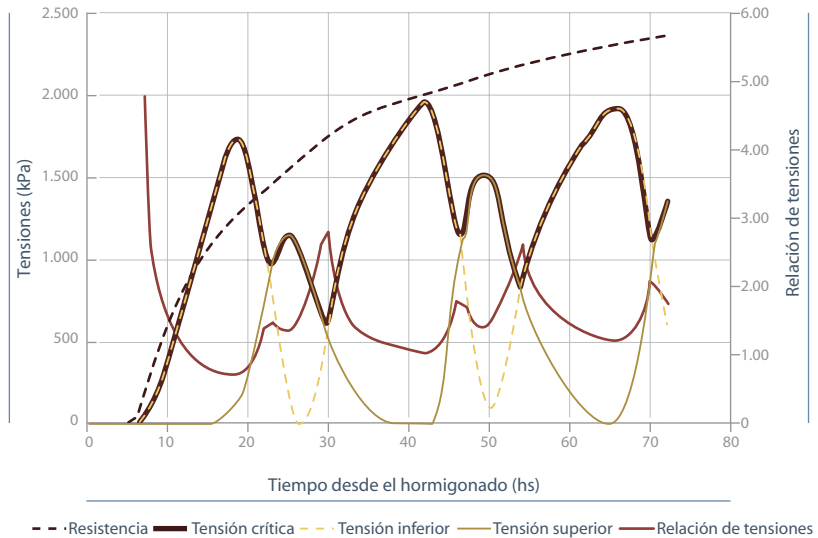
a tales estructuras. El principal aspecto a tener en cuenta es el elevado gradiente térmico que puede generarse: aparece en las primeras horas durante la liberación de la mayor parte del calor de hidratación y dura hasta encontrar un equilibrio ya sea con la temperatura ambiente, con el terreno o con los elementos estructurales adyacentes. En este último caso, si los elementos masivos están vinculados a otros elementos estructurales que provocan una restricción cuando el hormigón comienza a enfriarse, puede resultar en fisuración. El ejemplo más típico son los grandes bloques de presas restringidos por las fundaciones.

» *Ejemplo en estructuras masivas:* en la figura 2 se presenta la evolución de temperaturas en el interior de una platea de fundación de 1.900 m³ de volumen y 1,90 metros de espesor, medidas con termocuplas en la mitad del espesor de la platea. La misma se hormigonó en tiempo caluroso y se emplearon, entre otras medidas, hasta 80 Kg de hielo por m³ de hormigón, alcanzando temperaturas máximas en el núcleo de la platea de 64,7 °C a las 48 horas del colado.

► **Estructuras con gran superficie expuesta:** la fisuración por diferencias de temperatura puede aparecer en estructuras no masivas. La superficie en contacto con el ambiente en pavimentos y losas son expuestas a variaciones de temperatura bastante abruptas, comparadas con las pequeñas variaciones de la subbase o elemento de apoyo. Una importante diferencia de temperatura entre las caras superior e inferior puede resultar en

3

Modelación de evolución de tensiones internas para un caso de fisuración por contracción térmica inicial a las 12 horas



fisuración, fundamentalmente el primer día después del colado, cuando el hormigón es aún muy débil. Además, ya para cuando la estructura se encuentre en servicio, es muy importante el adecuado diseño, ejecución y mantenimiento de juntas de expansión y contracción para prevenir la fisuración del hormigón endurecido.

» *Ejemplo en losas:* en pavimentos construidos en nuestro país en condiciones de clima caluroso, se han constatado gradientes muy importantes. Mientras las temperaturas en el fondo de la losa (contacto con el terreno) se mantienen aproximadamente constantes (por ejemplo, 25 °C durante el día y la noche), la temperatura de la superficie y dos cm bajo la misma presenta variaciones significativas. La temperatura en la superficie en las horas de mayor asoleamiento puede llegar a 60 °C y caer a la noche a 15 °C, mientras que en la capa subyacente de la superficie (unos dos cm por

debajo) la temperatura puede variar en el día de 45 °C a 25 °C en la noche, esta última igual a la temperatura del fondo de la losa durante todo el ciclo. Esto genera gradientes muy superiores a 20 °C, lo que trae aparejado la fisuración térmica en las primeras horas del hormigón. En la figura 3 se muestran modelaciones en pavimentos cuyas condiciones extremas generaron fisuración térmica.

¿CÓMO IDENTIFICARLAS?

Las fisuras ocasionadas por excesivas diferencias de temperatura en hormigón masivo aparecen como erráticas sin seguir ningún patrón en la superficie de los elementos, haciéndose notorias por lo general a los pocos días del colado o desencofrado de los elementos (figura 4).

Las fisuras en pavimentos y losas debidas a diferencias de temperatura son muy similares a las fisuras por contracción por secado. Estas generalmente ocurren



Figura 4 - Fisuras por contracción térmica en estructuras masivas



Figura 5 - Fisuras por contracción térmica en pavimentos y pisos industriales

perpendicularmente al eje más largo de la sección hormigonada en el día, pero son visibles mucho más temprano que las fisuras por contracción por secado. Además, el perfil de estas fisuras en muchos casos no atraviesa todo el espesor del pavimento. En este caso, cabe recalcar la importancia de un aserrado oportuno de las juntas, ya que si se realiza muy tarde y aunque no exista una contracción por secado de importancia las losas se fisurarán por la necesidad de variaciones dimensionales por temperatura, que absorben las juntas de contracción (figura 5).

¿CÓMO MINIMIZAR LAS FISURAS TÉRMICAS?

La clave para reducir el diferencial térmico, y con ello el riesgo de fisuración, es reconocer cuándo puede ocurrir y tomar las medidas necesarias para minimizarlo. Las especificaciones típicas para hormigones masivos incluyen no sobrepasar una máxima temperatura ni un máximo diferencial entre el núcleo del elemento, donde se desarrollan las mayores temperaturas, y la superficie del elemento. La temperatura máxima debe referirse al tiempo que toma en alcanzar una temperatura pico (que por lo general ocurre entre 8 y 48 horas del hormigonado), la cual también debe ser limitada, ya que puede traer aparejados otros problemas de durabilidad, como un posible

ataque interno de sulfatos (formación de etringita diferida).

El diferencial de temperatura límite intenta minimizar las fisuras debido al cambio volumétrico de los elementos. Los valores más empleados son para la temperatura máxima de 60 a 70 °C y para el máximo diferencial admisible de temperatura de 20 °C. De todas maneras, el hormigón puede fisurarse ante gradientes menores. Las temperaturas son medidas empleando termocuplas colocadas en diferentes puntos estratégicos dentro de la masa del hormigón y registrando sus variaciones durante los primeros días. Siempre es recomendable que el calculista o consultor 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 estos procedimientos se sugieren las recomendaciones ACI 207.1R a 4R, respetando las disposiciones del CIRSOC 201-05.

Para el caso de pavimentos, es muy importante realizar diferentes modelaciones con programas como el HIPERPAV, donde se pronostican no sólo la evolución de temperaturas para las condiciones de obra sino también las tensiones inducidas en el hormigón y las tensiones de tracción que resiste el hormigón las primeras horas. Si esta resistencia se ve superada, lo que se aprecia

claramente en los gráficos entregados por el programa, el hormigón tendrá un elevado riesgo de fisuración por contracción térmica. En la figura 3 se muestra una de estas modelaciones.

¿CÓMO PREVENIRLAS?

Las responsabilidades recaen sobre el proyectista, el constructor y el proveedor de hormigón. Deben establecerse en un acuerdo las especificaciones para la dosificación de hormigón, los límites de temperatura máxima y gradientes, medidas para aislar la estructura y en críticas condiciones sistemas de post-enfriado de elementos estructurales, como por ejemplo cañerías embutidas en la estructura para refrigerar su núcleo. Se recomienda, además, leer “Plateas de Fundación y Hormigón Elaborado”, publicado en la Revista Hormigonar N° 13. Algunos pasos para minimizar la fisuración por contracción térmica inicial son:

► **Dosificación del hormigón:** reducir el calor de hidratación optimizando la cantidad y tipo de cemento y adiciones empleando, por ejemplo, cementos BCH o cementos con elevado porcentaje de puzolanas o escorias. Debe procurarse no emplear hormigones de alta resistencia o de muy baja relación agua/cemento. Los retardadores de »



fragüe decalan el pico máximo pero no lo reducen; son recomendables sólo para evitar juntas constructivas durante las operaciones de hormigonado. Los aditivos reductores de agua son muy recomendables para disminuir el contenido de cemento. El enfriamiento inicial del hormigón reduce la temperatura pico en la estructura, pero debe siempre existir un balance con los costos del proyecto. De todos modos, cualquier medida para disminuir la temperatura de los materiales constituyentes, fundamentalmente los agregados y el empleo de hielo, se verá reflejada en una disminución del riesgo de fisuración térmica. El agregado tiene una influencia importante, prefiriendo los agregados con coeficientes de dilatación térmica bajos. De lo contrario, ya que el agregado es el material que más ocupa dentro del hormigón, incidirá de manera negativa incrementando la contracción térmica. Los agregados triturados pueden ser benéficos, ya que incrementan la resistencia a la tracción.

- **Hormigón masivo:** es indispensable una reunión previa al hormigonado para coordinar y definir responsabilidades. Deben establecerse procedimientos de aceptación en función de la temperatura, los métodos de curado y la duración de los mismos para no incrementar diferencias de temperatura. En el caso de ser necesario, el aislamiento requerido y el empleo de tuberías para post-enfriamiento. Es recomendable que la estructura tarde lo más posible en entrar en equilibrio con el ambiente, lo que minimiza el gradiente, mediante medidas como el curado

húmedo con reposición continua de agua a bajas temperaturas o el empleo de encofrados de madera siempre humedecidos y que sean retirados cuando no exista riesgo de fisuración. Los encofrados metálicos o el desencofrado prematuro pueden provocar un choque térmico que fisure el hormigón. Las armaduras deben ser bien diseñadas para minimizar el ancho de posibles fisuras, prefiriendo barras de medio y pequeño diámetro y espaciamientos reducidos antes que barras de gran diámetro. Es recomendado diseñar hormigones a edades de 56 ó 90 días cuando se emplean cementos adicionados. En las tareas de protección y curado no deben existir variaciones de temperatura de más de 1,5° C/hora y sin sobrepasar el máximo de 15 °C en 24 horas.

- **Estructuras con gran superficie expuesta:** reducir la ganancia de calor de la radiación solar mediante nieblas de agua en losas y pavimentos o proveer sombra durante las primeras horas. Colocar el hormigón temprano a la mañana puede resultar en la situación más crítica, ya que el pico de temperatura de la hidratación coincidiría con la temperatura máxima ambiente. Las barreras contra el viento pueden incrementar la ganancia de calor. En casos críticos, debe estudiarse la reducción del espaciamiento entre juntas. En pavimentos, las lluvias repentinas con frentes fríos pueden generar fuertes gradientes de temperatura. Además, es muy importante, cuando existan variaciones importantes de temperatura en el día, realizar las diferentes tareas atendiendo que el hormigón no sufra cambios

de temperatura de más de 3 °C/hora y sin sobrepasar el máximo de 20 °C en 24 horas.

¿CUÁNDO Y CÓMO REPARARLAS?

La reparación de este tipo de fisuras debe contar siempre con el consentimiento del proyectista. Inapropiadas técnicas de reparación pueden resultar en daños más importantes en el tiempo. En muchos casos, si las juntas trabajan adecuadamente, luego de un par de semanas pasan a ser fisuras estáticas.

Las losas y pavimentos pueden ser reparados utilizando materiales de reparación compatibles o mediante el corte de las fisuras y el relleno con materiales elásticos. Las técnicas son similares que para el caso de fisuras por contracción por secado, aunque las estructuras pueden ser intervenidas bastante tiempo antes que en el primer caso, ya que el fenómeno de contracción térmica se estabiliza unas semanas después del colado y no después de los 6 a 8 meses como la contracción por secado.

La reparación de fisuras térmicas en el hormigón masivo depende del ancho de fisuras y de las condiciones de serviciabilidad de la estructura. Las fisuras muy finas (< 0,2 mm) son antiestéticas y pueden no requerir ninguna reparación desde el punto de vista estructural. De todas maneras, estas fisuras pueden promover posibles inconvenientes de durabilidad en un futuro. Las fisuras más anchas deberán ser selladas con materiales epoxídicos una vez que las fisuras se hayan estabilizado y no tengan movimientos apreciables. En todos estos casos, las reparaciones deben ser dirigidas por profesionales especializados en el tema y realizadas por mano de obra competente. ¶



LOS “CUÁNDO, POR QUÉ Y CÓMO” DE LOS DEFECTOS EN PISOS Y PAVIMENTOS: AMPOLLAS, DELAMINACIONES, EMPOLVAMIENTO Y MAPEO SUPERFICIAL



MS. ING. MAXIMILIANO SEGERER
Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdormigones.com.ar

En los números anteriores de Hormigonar se estudiaron las causas de fisuración más frecuentes en todo tipo de elementos de hormigón. Además de las patologías ya analizadas, existen otros defectos que son característicos de pisos y pavimentos de hormigón, entre los que se destacan:

- 1) Ampollas
- 2) Delaminaciones
- 3) Empolvamiento superficial
- 4) Fisuración en mapa
- 5) Decoloraciones y eflorescencias
- 6) Alabeo de losas
- 7) Desprendimientos (pop-outs) y delaminaciones por durabilidad

- 8) Problemas relacionados con juntas
- 9) Problemas derivados de sub-base o drenajes inadecuados

En el presente artículo se estudiarán las cuatro primeras debilidades superficiales, ya que responden a principios muy similares. En todos los casos, su presencia disminuye la utilidad, la estética, la funcionalidad, la vida útil del pavimento y/o la resistencia al desgaste, entre otros, por lo que deben tomarse las medidas necesarias para prevenirlas, las cuales no son complejas pero sí muchas veces olvidadas.

Los defectos arriba mencionados están condicionados, entre otros, por los siguientes parámetros:

- ▶ 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: al igual que en la fisuración del hormigón fresco y endurecido, las condiciones del ambiente durante la colocación y algunas horas posteriores influyen de manera determinante la calidad final de las superficies y su posterior resistencia al desgaste
- ¿Cómo y por qué aparecen los defectos y debilidades superficiales?**
- ▶ Ampollas: las ampollas (figura 1) son protuberancias huecas bajo el perfil en la superficie del hormigón. Típicamente, el diámetro de las mismas es de un
- ▶ Tareas de terminación superficial: una terminación prematura con el hormigón aún exudando o empleando técnicas inadecuadas provocará, seguramente, debilidades superficiales

centímetro (cm), pero pueden encontrarse de entre 5 mm hasta 10 cm. Las ampollas se pueden formar en la superficie del hormigón fresco cuando vacíos de aire o el agua de exudación ascienden en los hormigones plásticos y fluidos y son atrapados bajo la superficie que ha sido sellada prematuramente durante el llaneado. Este rápido sellado de la superficie (una delgada capa de 2 a 4 mm) ocurre frecuentemente cuando la parte superior de la losa se endurece, se seca o se fragua más rápidamente que el resto del hormigón en el interior de la losa. No es fácil reparar estos defectos cuando el hormigón ha endurecido.

- Delaminaciones: las delaminaciones (figura 2) son causadas por técnicas inapropiadas en la terminación de las superficies que sellan a ésta y atrapan agua que de otra manera hubiera sido evaporada como agua de exudación. En una superficie delaminada, una capa de entre 2 a 8 mm de espesor de la parte superior se torna más densa y se separa de la losa base. La delaminación ocurre cuando la superficie del hormigón fresco es sellada mediante un alisado con llana mientras el hormigón subyacente está en estado plástico y exudando o aún puede liberar burbujas de aire. Otra causa frecuente es cuando la evaporación rápida del agua de exudación debido al secado de la superficie (condiciones similares a las determinantes para la fisuración por contracción plástica) hace que la misma parezca estar lista para el llaneado, mientras que el hormigón inferior está aún en estado plástico.

- Empolvamiento superficial: la



1. Ampollas en pisos llaneados



2. Delaminaciones en pavimentos no llaneados

formación de polvo (figura 3) debido a la desintegración de la superficie del hormigón endurecido se denomina “empolvamiento” o “pulverización”. Es el resultado de una capa delgada y débil llamada lechada, compuesta de agua, cemento y partículas muy finas. Este proceso ocurre cuando se presenta una exudación excesiva y/o se llevan a cabo malas prácticas de terminación superficial. Existe mayor probabilidad de ocurrencia en clima frío, ya que el período que se mantiene el hormigón en estado fresco es mayor, por lo que hay más tiempo de permanencia del fenómeno de exudación. Es decir, la exudación hace que la relación agua/cemento de la zona superficial resulte mayor que la del resto de la masa de hormigón, por lo cual la resistencia de esta zona es menor. El alisado con agua de exudación

expuesta sólo mezcla el exceso de agua, haciendo que vuelva a la superficie, y debilita más la resistencia al desgaste, originando la formación de polvo.

- Mapeo superficial: un patrón de finas fisuras usualmente separadas un par de pulgadas es llamado fisuración por mapeo (figura 4), piel de cocodrilo o afogado (map cracking o crazing, según su expresión en inglés). Generalmente estas fisuras son poco profundas y no causan problemas de performance a largo plazo. La fisuración en mapa es el desarrollo de una red de finas “cuarteaduras” o fisuras aleatorias sobre la superficie del hormigón, causadas por una contracción por secado excesiva de la capa superficial. Se presentan como áreas hexagonales irregulares con dimensiones de entre 20 y 60 mm. Ellas no afectan»



por lo general la integridad del hormigón y raramente afectan la durabilidad o la resistencia al desgaste, sólo colectando polvo con el tiempo, no siendo estructurales pero sí antiestéticas.

¿Cómo identificarlos?

En general, todas estas debilidades pueden aparecer a los pocos días del hormigonado o cuando comienza el tránsito a circular sobre el piso o pavimento de hormigón. Las ampollas o delaminaciones van a ir apareciendo progresivamente hasta que con el tiempo se vayan eliminando todas las partes superficiales débiles, independientemente al hormigón elaborado provisto. En todos los casos, las reparaciones son muy difíciles y tienen siempre una gran incertidumbre.

Las delaminaciones de la superficie de una losa pueden variar desde algunos centímetros cuadrados hasta un área de metros cuadrados y pueden ser detectadas por un sonido hueco cuando se golpea con un martillo o con una pesada cadena de arrastre. Las delaminaciones aparecen entre dos y siete días posteriores al hormigonado y se manifiestan más severamente cuando el piso se pone en servicio.

En el caso del empolvamiento, las características principales de este fenómeno son que producen polvo bajo cualquier tipo de tráfico y que pueden ser raspadas con la uña con cierta facilidad. El ensayo cualitativo que siempre se realiza es frotar con la yema del dedo la superficie de hormigón, y en la misma queda el polvo superficial del hormigón (figura 4), lo cual puede apreciarse a los pocos días de haber hormigonado.

En lo que respecta al mapeo, es muy fácil su identificación visual por su aspecto característico. Gene-



3. Empolvamiento superficial en pisos



4. Mapeo superficial moderado (izquierda) y leve

ralmente, las fisuras se desarrollan a edad temprana y son apreciables de uno a 10 días, o cuando se pone en servicio el pavimento.

En la mayor parte de los casos, al extraer testigos (figura 5) puede apreciarse claramente una capa “ajena” al hormigón elaborado que es la que mayor relación agua/cemento tiene o que se presenta una marcada interfaz. Estas apreciaciones generalmente pueden realizarse a simple vista y en casos más complejos pueden complementarse con un examen petrográfico del hormigón endurecido.

¿Cómo prevenir los defectos o debilidades superficiales?

Así como para determinar el tiempo óptimo para la materialización de las juntas aparece el concepto de la “ventana de aserrado”, en el caso de las tareas de termina-

ción superficial aparece un tiempo óptimo en el cual deben realizarse, determinando así la “ventana de acabado” que se esquematiza en la figura 6.

- ▶ 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 del piso o pavimento y así debilitarla
- ▶ Las tareas de espolvoreo 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

En la bibliografía figura la regla práctica de que el piso debe »

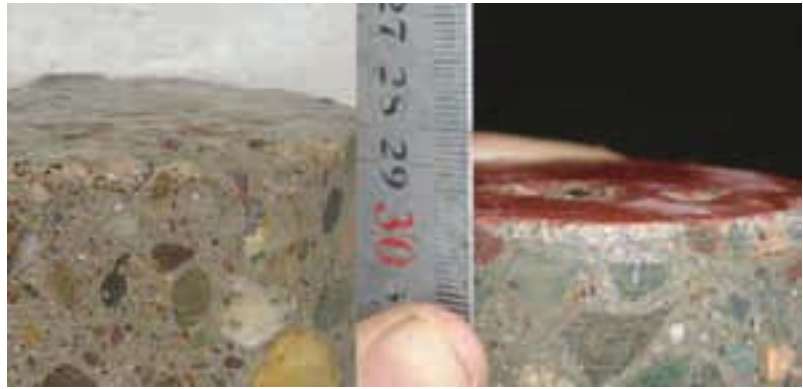


terminarse superficialmente con llana cuando una huella de una persona sobre el hormigón deja una marca de profundidad de entre 6 y 3 mm (1/4" y 1/8"). Una profundidad mayor de 6 mm indica que se sellará prematuramente la superficie, pudiendo aparecer las debilidades ya estudiadas. Una profundidad menor a 3 mm dificulta llegar a la planicidad requerida, o también genera defectos superficiales. La regla práctica de esperar a que no sea apreciable el brillo superficial del agua de exudación puede no ser correcta, ya que 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.

Una o más de las precauciones listadas abajo pueden eliminar la ocurrencia de debilidades superficiales y las mismas deben escogerse en función de la disponibilidad de medios en la obra:

► Dosificación del hormigón elaborado:

- » Minimizar la exudación, ya que es el factor fundamental en la aparición de debilidades superficiales, empleando agregados bien graduados, aditivos reductores de agua, impedir incorporación de agua en obra y no emplear asentamientos elevados (superiores a 12 cm)
- » No emplear mezclas muy cohesivas con un contenido de cemento moderado (hasta 350 kg/m³) y emplear agregados con material pasante tamices # 30, # 50, # 100 y principalmente # 200, no elevados

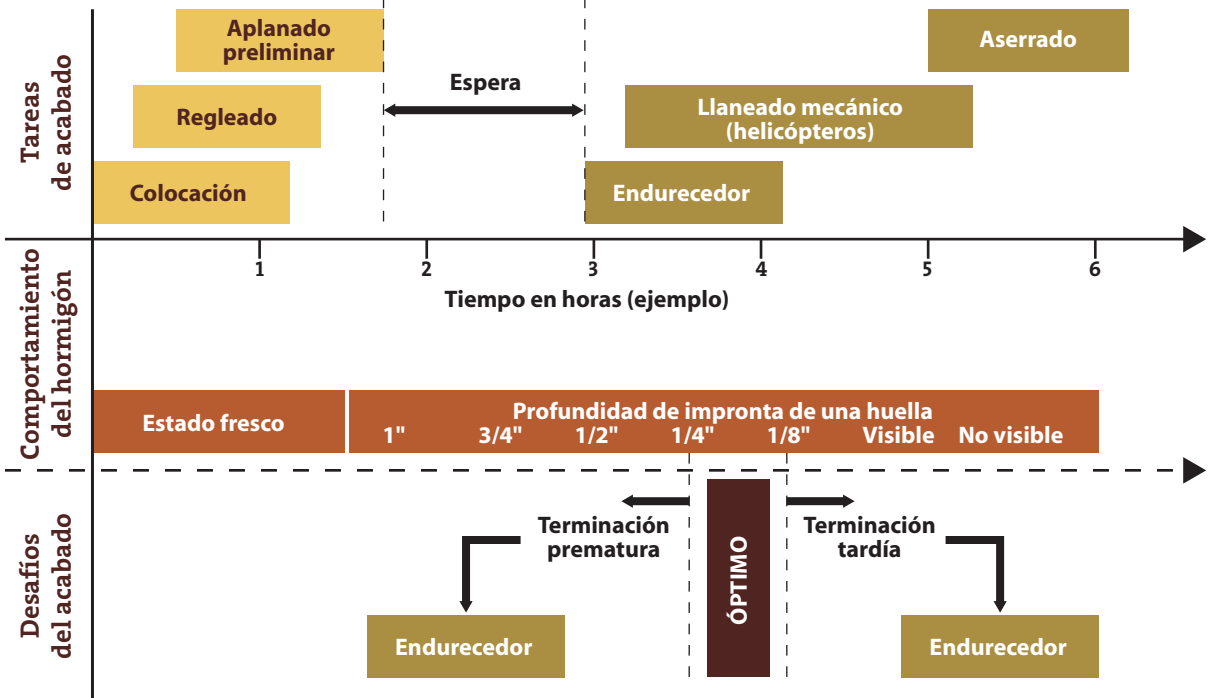


5. Testigos evidenciando debilidades superficiales

- » Control del aire incorporado, ya que cantidades elevadas reducen la velocidad de exudación, pudiendo acabar prematuramente la superficie, principalmente en estructuras bajo techo
 - » Lograr una uniformidad en el inicio de fragüe de los diferentes pastones con constancia de asentamientos y no empleando aditivos que puedan retrasar el fragüe diferencialmente
- Prácticas constructivas
- » 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
 - » 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 una inadecuada consistencia (asentamiento), terminación fuera de los tiempos estipulados en la “ventana de acabado” o porque no se poseen herramientas adecuadas
 - » No espolvorear prematuramente los endurecedores superficiales, y nunca cuando el hormigón continúe exudando. En varios casos, los fabricantes especifican espolvorear en dos partes: una después del fratachado y la otra parte 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 provoquen futuros defectos
 - » Realizar las tareas de colado, vibrado, regleado y fratachado lo más rápido posible para que cuando comience a exudar el hormigón nunca se trabaje el hormigón hasta que »



6 Ventana de acabado y ejemplo de tiempos recomendados para diferentes tareas



se evapore el agua de exudación, no incorporándola a la capa superficial del piso o pavimento

- » Realizar adecuadamente todas las tareas de protección teniendo en cuenta si el piso será o no llaneado mecánicamente
- » Realizar adecuadamente el curado del hormigón y aplicarlo lo más rápido posible una vez finalizadas todas las tareas de terminación

► Condiciones ambientales:

- » Evitar la rápida evaporación del agua de exudación, ya que opaca rápidamente la superficie mientras el hormigón en el interior continúa exudando, debiendo tomar las precauciones descritas en el artículo de "Fisuración por contracción plástica"
- » 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

- » Proteger al hormigón de las condiciones de tiempo frío, procurando no retrasar en demasía el fragüe del hormigón, y evitar posibles condensaciones de agua sobre el hormigón en locales con elevada humedad. ¶



LOS “CUÁNDO, POR QUÉ Y CÓMO” DE LOS DEFECTOS EN PISOS Y PAVIMENTOS: ALABEO DE LOSAS



MS. ING. MAXIMILIANO SEGERER
Control y Desarrollo de Hormigones –
www.cdormigones.com.ar

Las losas de pavimentos generalmente se diseñan calculando su espesor en base a un análisis de tensiones y fatiga del hormigón considerando las cargas actuantes (intensidad, geometría y frecuencia), el módulo de rotura a flexión del hormigón y el valor soporte de la base. Sin embargo, en forma similar a lo que ocurre con otros elementos estructurales, resulta indispensable considerar las deformaciones y tensiones generadas a partir de otros esfuerzos que se producen en el hormigón debido a efectos térmicos e higrométricos, además de ciertas restricciones y puntos singulares de cada estructura en particular.

En algunos casos se observa que losas de pavimentos o pisos industriales, a pesar de que la verificación de espesor por criterio resistente cumple holgadamente, presentan importantes deformaciones en las esquinas dando lugar a problemas de nivel o planicidad y en algunos casos fisuras de esquinas. Por estas razones, es recomendable diseñar

las losas para que, más allá de verificar el cálculo estructural, presenten un diseño de juntas que resulte compatible con el espesor determinado y otras medidas como el empleo de pasadores y condiciones de la base de apoyo del hormigón de manera de acotar las deformaciones por alabeo que, en el caso de los pavimentos y pisos industriales, pueden ser muy perjudiciales. En una gran cantidad de publicaciones se considera que el control de la contracción y alabeo en pisos y pavimentos presenta la misma relevancia que el control de las resistencias del hormigón empleado.

Antes de comenzar el estudio de la problemática cabe señalar que el alabeo de losas y la contracción por secado se encuentran íntimamente vinculados, por lo cual se recomienda la lectura de los artículos de Hormigonar N° 18 y N° 19, referidos a la fisuración por contracción por secado.

¿Cuándo y por qué aparece el alabeo?

El alabeo es la distorsión que sufre una losa tomando una forma curvada hacia arriba o hacia abajo arqueando sus bordes, siendo el primer caso el más frecuente (figura 1). Esta distorsión puede levantar

los bordes de la losa respecto a la base, dando lugar a una esquina sin apoyo que puede fisurarse cuando se aplican cargas pesadas, ya que actúa como un voladizo no armado o débilmente armado. Si se aplica una carga en el extremo del voladizo las tensiones de tracción por flexión aumentan enormemente en comparación con una losa que se encuentra apoyada en el suelo. La carga, dependiendo de su magnitud y la del alabeo, podrá fisurar la losa debido a que el piso no posee casi capacidad resistente a tracción.

Asimismo, independientemente de la fisuración de las losas o su influencia en la ‘estructura’ del pavimento, el alabeo puede traer notables inconvenientes funcionales. Un ejemplo que puede mencionarse ocurre en pisos industriales, cuando el desnivel existente provocado por el alabeo influye en el paso de montacargas entre diferentes losas elevando la probabilidad de caídas de cargas y surge la necesidad reducción de velocidad de los mismos, disminuyendo la utilidad del piso industrial (fotografías 1). Otro ejemplo de problema funcional es para el caso de pavimentos urbanos, cuando el golpeteo continuo de las losas contra el terreno ante el pasaje repetido de cargas pesadas (ómnibus o camiones) crea serias molestias a

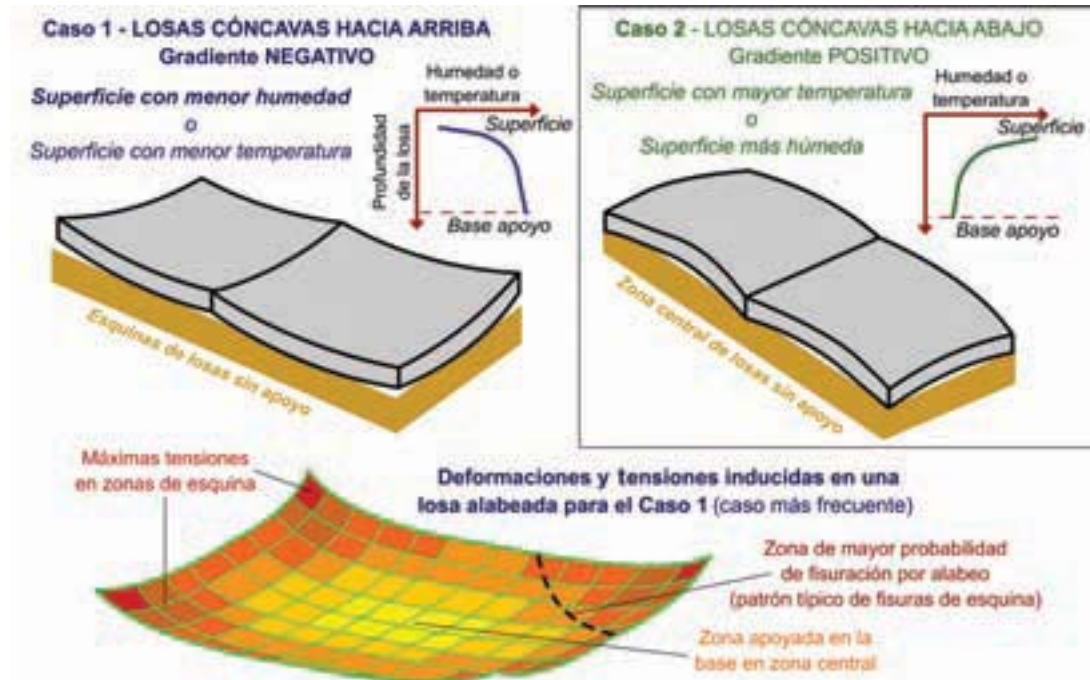


Figura 1 - Esquema general del alabeo en losas

los vecinos por las vibraciones y ruidos transmitidos a las edificaciones, aun con alabeos moderados.

Los cambios en las dimensiones de la losa que conducen al alabeo son más frecuentemente relacionados con los gradientes de humedad y temperatura en la losa. Una característica primaria del hormigón que afecta el alabeo es la contracción por secado. El caso más común de alabeo es cuando la parte superior de la losa se seca y se retrae con respecto a la base de la misma (figura 1). Esto ocurre cuando una superficie de la losa cambia en magnitud (se contrae) más que la otra, y la losa se arquea por sus bordes en la dirección del acortamiento relativo. El alabeo rápido de una losa es más frecuentemente relacionado con un pobre curado y un secado rápido de la superficie; y cualquier factor que incremente la contracción por secado de la superficie tenderá a incrementar el alabeo, ya que se creará una contracción diferencial entre la base y la superficie del pavimento.

En las losas, una exudación excesiva tiende a producir un hormigón en la superficie con mayor ries-

go de contracción por secado que el hormigón de la parte inferior. La exudación se acentúa en losas apoyadas directamente sobre láminas de polietileno, y las diferencias de contracción de la parte superior con respecto a la parte inferior en estos casos son mucho más significativas que para losas sobre sub-bases absorbentes. La zona en 'voladizo' de losas se incrementa aproximadamente de 0,2 a 0,4 de la longitud del paño para casos de apoyos en base granular y láminas de polietileno respectivamente.

Los pisos de débil espesor y espaciamientos importantes entre juntas incrementan el alabeo. En pisos industriales, las juntas poco espaciadas pueden no ser muy aconsejables, ya que un número elevado de juntas presentará también mayores problemas de mantenimiento. No obstante, debe realizarse un balance entre la probabilidad de fisuras o grietas aleatorias intermedias e incremento de alabeo en las juntas.

El otro factor que puede causar el alabeo es la diferencia de temperatura entre las partes superior e

inferior de la losa, aunque este caso no es tan común en nuestro medio. La parte superior de la losa expuesta al sol se expandirá en relación con la porción inferior menos caliente provocando un alabeo hacia abajo de los bordes. Alternativamente, bajo temperaturas frías durante la noche, cuando la parte superior se contrae con respecto a la parte subyacente cálida, el alabeo debido a este diferencial de temperatura se sumará o restará al alabeo hacia arriba provocado por los diferenciales de humedad.

Para finalizar, es muy importante esquematizar la importancia que tiene el alabeo en la eficiencia de la transmisión de cargas, apreciando en la figura 2 el rol que juegan los pasadores, que de no existir aparecerá un movimiento de las losas continuas con el paso del tránsito.

Para el caso de losas alabeadas, será mucho más notorio, ya que no sólo descenderá la losa anterior sino que al encontrarse la losa posterior levantada el impacto de las cargas tendrá un efecto multiplicado. Para el caso de losas alabeadas, el desplazamiento relativo sería al menos »

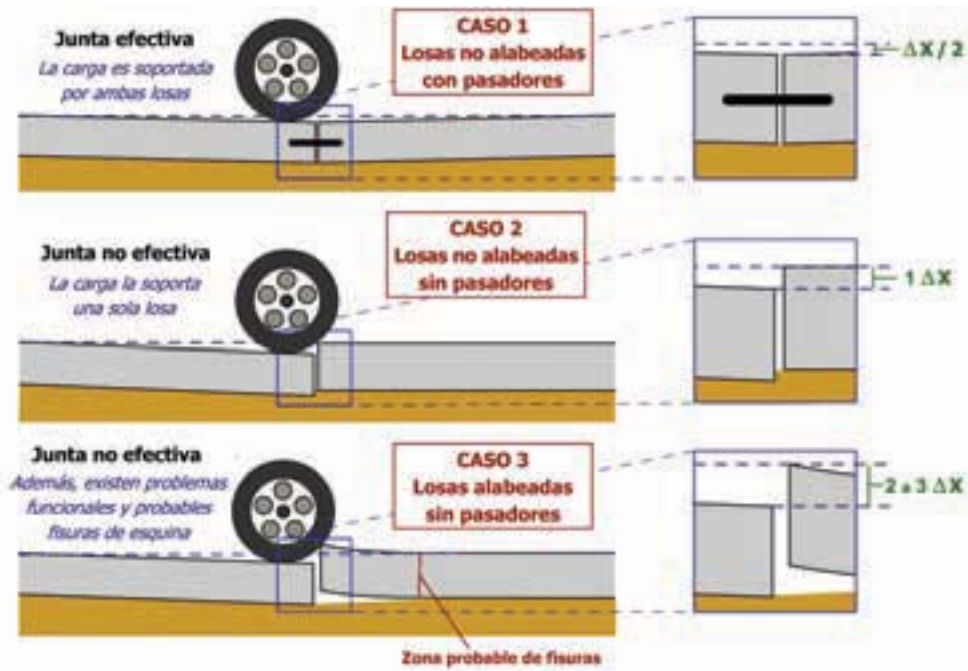


Figura 2 - Eficacia de juntas y problemas derivados del alabeo

igual al doble de Dx , con lo que se acelera rápidamente el deterioro del pavimento y se incrementan las vibraciones y el ruido por golpeteo de la losa con la base de apoyo.

¿Cómo identificar pisos y pavimentos alabeados?

En el caso de pisos y pavimentos con alabeo severo y cuando se haya manifestado la fisuración, aparecen patrones típicos de fisuras como cuarto de círculo con centro en las esquinas de las losas y radios de 0,60 a 1,50 metros (fotografías 1 y 2). Las fisuras por alabeo generalmente penetran todo el espesor de la losa (figura 2) y son causadas por la repetición de cargas pesadas, independientes de una eventual falla en el terreno, debido a una deficiente transferencia de cargas a través de la junta.

En las fotografías 3 se aprecia cómo al extraer testigos en esquinas de losas alabeadas los mismos asientan en la base y se aprecia la distorsión de la losa. Asimismo, se muestra la elevación de esquinas de losas cuando no coincide el diseño

de juntas entre paños contiguos, ya que de realizar cuadrículas para las juntas (el caso más común), como las cuatro esquinas de las losas concurrentes están levantadas de manera similar, no puede apreciarse. Como otro síntoma visible, en las fotografías 4 se muestra el despegue del sellado de juntas debido a la mayor contracción de las losas en la parte superior y los movimientos continuos entre éstas con el pasaje de cargas. Esta falla del sellador de juntas es un síntoma visible en losas alabeadas, pero también puede aparecer en losas sin alabeo (deficiencia del sellado).

Sin embargo, es más difícil distinguir el alabeo cuando es leve o moderado. Diferentes ensayos tecnológicos o sensoriales, así como también testimonios de quienes usan el piso o los vecinos en zonas residenciales, pueden ayudar a inferir si existe alabeo. Por lo general, colocando cada pie en dos losas contiguas y en su esquina, cuando pasa una carga pesada a cierta velocidad se siente el movimiento relativo entre las losas, lo cual generalmente

va acompañado con un sonido de golpeteo contra la base.

¿Cómo minimizar el alabeo en pisos y pavimentos?

► Dosificación del hormigón elaborado:

- » En general, diseñar hormigones de baja contracción por secado (artículos Hormigonar N° 18 y N° 19) y de baja exudación (artículo Hormigonar N° 16)
- » No emplear asentamientos muy elevados (superiores a 10 - 12 cm), ya que puede incrementarse la exudación y con ello el riesgo de contracción diferencial y alabeo
- » Maximizar el tamaño de agregado y la proporción de agregado grueso en la mezcla
- » Emplear contenidos unitarios de cemento lo más bajos posibles compatibles con condiciones de resistencia y durabilidad. »



1. Circulación de montacargas en piso industrial y problemas ocasionados por el alabeo, incluyendo fisura típica de esquina

Contenidos de cementos muy elevados incrementan la contracción y la mayor impermeabilidad resultante puede contribuir a incrementar los gradientes de humedad en la losa

- » Limitar la temperatura máxima del hormigón fresco, ya que puede aparecer un gradiente significativo de temperaturas entre el hormigón y la base de apoyo



2. Fisuras de esquina típicas de alabeo en pavimento (izquierda) y piso industrial (derecha)

► **Técnicas constructivas:**

- » Si la losa es colocada sobre una base impermeable, como una lámina de polietileno, la magnitud del alabeo se multiplica. En caso de ser necesaria, colocar sobre la lámina una capa de 5 a 10 cm de material granular adecuadamente humedecido y compactado
- » Es preferible siempre el curado húmedo, pero si se emplean membranas de curado en pavimentos susceptibles a alabeo es recomendable incrementar su dosis o cantidad aplicada
- » No colocar agua ni cemento para facilitar las tareas de terminación superficial
- » Aserrar las juntas lo antes posible para aliviar tensiones, un aserrado tardío incrementa el alabeo

► **Diseño del pavimento:**

- » Emplear pasadores de transferencia de cargas es la principal medida para minimizar el alabeo (figura 2), por lo cual es uno de los principales factores a tener en cuenta
- » Emplear un espaciamiento de juntas adecuado y compatible con el espesor, ya que al incrementarlo se aumenta de manera notable la magnitud del alabeo en losas, más aún cuando se emplean láminas de polietileno. Como ejemplo de su importancia, algunos estudios demuestran que el alabeo se multiplica por cinco bajo ciertas condiciones, cuando se incrementa el espaciamiento de juntas de 4,50 a 5,00 metros
- » Con espesores débiles se aumenta la magnitud del alabeo debido al mayor gradiente de contracción

- » Pisos no armados, débilmente armados (por ejemplo, la malla de refuerzo comúnmente empleada en nuestro país) o con mallas mal colocadas sufrirán mayor alabeo. De ser necesario disminuir el alabeo se recomiendan barras de diámetro de al menos 10 mm y dispuestas en el tercio superior de la losa. Las mallas de 4, 2 ó 6 mm colocadas sin separadores no tienen influencia en el alabeo

► **Factores dependientes de condiciones climáticas**

- » Debido a que estos parámetros son muy difíciles de controlar debe tenerse en cuenta desde el diseño del pavimento o piso industrial, considerando el lugar de la construcción y condiciones de exposición »



- » En cuanto a las variaciones por temperatura, de existir gradientes importantes entre la sub-base y la superficie de la losa puede magnificarse el alabeo
- » En cuanto a las variaciones por humedad, un elevado contenido de humedad en la sub-base (o que sea impermeable) es causa suficiente para agravar el alabeo de losas. Sub-bases humedecidas constantemente y/o climas con estaciones muy secas (baja humedad relativa en verano y vientos frecuentes, por ejemplo) incrementan el alabeo estacionalmente

¿Cuándo es necesario reparar losas alabeadas?

Las losas deben ser intervenidas cuando se considere relevante o probable:

- » *Falla estructural*: integridad estructural en el tiempo y reducción de la vida útil del pavimento, que puede generar su falla prematura, incluso a edades inferiores a seis meses
- » *Falla funcional*: vibraciones y ruidos transmitidos por el golpeo de losas con la base de apoyo que generan molestias o problemas con desniveles entre losas debido a los cuales los vehículos que circulan deben disminuir su velocidad y/o se eleva la probabilidad de accidentes

Diferentes fuentes bibliográficas clasifican a la severidad del alabeo en función del máximo levantamiento en la esquina de las losas, cuando estas no están fisuradas:

- » Alabeos menores a 2,5 mm, generalmente son considerados como aceptables



4. Sellado de juntas despegado en losas alabeadas de pavimentos (izquierda) y piso industrial (derecha)

- » Alabeos entre 2,5 y 5,0 mm, se sugiere repararlos para la mejora de la funcionalidad
- » Alabeos superiores a 5,0 mm son severos y necesitan reparación inmediata
- » En cuanto a pisos y pavimentos que ya presenten fisuras de esquinas, se clasifica en tres niveles:
 - » Alabeo bajo – Sellar fisuras o no hacer nada: fisuras sin desprendimientos superficiales y ancho menor a 3 mm, juntas bien selladas, zona entre fisura y junta sin fisurar y sin escalonamientos considerables
 - » Alabeo moderado – Sellar fisuras o reparación en todo el espesor: cuando existe al menos: fisuras con desprendimientos moderados, fisuras no selladas con anchos entre 3 y 12 - 25 mm, material de sellado ineficiente, región entre fisura y junta moderadamente fisurada o presenta escalonamientos moderados
 - » Alabeo elevado – Reparación en todo el espesor: cuando existe al menos una de las siguientes condiciones: fisura con desprendimientos considerables, fisuras

no selladas con anchos superiores a 12 - 25 mm, región entre fisura y junta conteniendo dos o más quiebres o que presente hundimientos

¿Cuándo es el momento oportuno para reparar losas alabeadas?

Debe tenerse en cuenta que reparaciones antes de los 6 a 12 meses probablemente fracasen, ya que al igual que el fenómeno de contracción por secado el alabeo va incrementando gradual y lentamente su magnitud, con lo cual la intervención debe realizarse una vez que la mayor parte del alabeo ha aparecido en las losas. Asimismo, ya que el alabeo depende de las condiciones ambientales, es de vital importancia llevar a cabo las reparaciones para ciertas metodologías, como el relleno de cavidades con grouting, en el momento en que el alabeo se encuentre en su máxima expresión. Esto ocurre generalmente para climas secos y áridos en verano, cuando la humedad relativa promedio es menor que en otras estaciones, y al incrementar el gradiente de humedad entre la base y la superficie el alabeo es mayor. Esta es la razón del por qué muchas veces en las estaciones más húmedas parece que el alabeo ‘desaparece’ o disminuye, »



mientras que en verano eleva sus efectos perjudiciales. En otro tipo de metodologías de reparación, como inserción de pasadores, conviene intervenir las losas cuando el alabeo sea menor.

¿Cómo reparar losas alabeadas?

El alabeo es tan complejo e impredecible como difícil para reparar, por lo cual deben tomarse desde el diseño todas las medidas adecuadas para minimizarlo, así como también el estudio de obras existentes que hayan sido construidas con los mismos materiales y presenten el mismo uso y condición de exposición. Es de vital importancia la observación de obras similares, ya que al 'extrapolar' proyectos que han sido 'exitosos' pero trabajando con otros materiales y en diferentes condiciones climáticas se cometen graves errores.

A continuación se describen las principales metodologías para reparar losas alabeadas no fisuradas:

» *Inundar la parte superior de la losa:* se realiza en combinación con otros métodos, ya que aplicada sola de por sí rara vez resultará efectiva, ya que el alabeo volverá

» *Cortar juntas adicionales:* los cortes en diagonal a 45%, dejando triángulos rectángulos de 1/4 a 1/5 la longitud del paño como lados menores, constituyen el método más efectivo. Luego de cortar las juntas se hacen circular vehículos pesados sobre el piso para asegurar que las esquinas 'asienten' contra el terreno. Sin embargo, trae ciertos inconvenientes, tales como pérdida de transferencia de cargas, incremento del mantenimiento por número de juntas, depreciación estética y difícil predicción de comportamiento futuro

» *Desbaste superficial:* para lograr un perfil aceptable del piso puede desbastarse superficialmente el hormigón sobreelevado en zonas de esquinas, no creando así nuevas juntas. De todas maneras, la circulación de vehículos puede fisurar las losas, con lo cual es recomendable sellar las cavidades

» *Relleno o grouting de cavidades:* realizando orificios de 5 a 10 cm en las esquinas elevadas puede ser necesario para estabilizar la base. Deben emplearse grouts muy fluidos y de baja o nula retracción para inyectarlo en

las losas. Se debe inyectar a baja presión (0,5 a 1,0 kg/cm²) para no incrementar el alabeo en las operaciones. Debe evaluarse mediante paños de prueba el material y técnicas más adecuadas

» *Incorporar pasadores a las juntas:* pueden ser colocados en losas alabeadas para aumentar la transferencia de cargas y minimizar los movimientos diferenciales bajo tránsito, ya que como se mencionó la mayor parte de los problemas viene derivado de la nula o inexistente vinculación entre las losas. Deben calarse con sierras 'cajones' en las zonas de juntas, limpiarlos y colocar pasadores de acero, rellenando a continuación con morteros de base cementicia, asegurando una buena adherencia con el hormigón existente y evitando que el producto penetre en las juntas. Para esta metodología también son necesarios la realización y seguimiento de varios paños de prueba para optimizar el proceso

» *Remover y reemplazar el hormigón:* aplicable sólo a casos de alabeo extremo. ¶



LOS “CUÁNDO, POR QUÉ Y CÓMO” DE LOS DEFECTOS EN PISOS Y PAVIMENTOS: ALGUNAS PRECAUCIONES SOBRE JUNTAS



Ms. ING. MAXIMILIANO SEGERER
Control y Desarrollo de Hormigones –
www.cdormigones.com.ar

El hormigón se contrae y expande ante cambios de humedad y temperatura, por lo cual es indispensable trabajar adecuadamente con juntas, salvo que se empleen tecnologías innovadoras como hormigones de contracción compensada. Las juntas son una de las principales debilidades de pisos y pavimentos de hormigón, ya que en sus cercanías muchas veces comienzan los daños en el pavimento pudiendo progresivamente terminar con su vida útil. En el presente artículo se brindan algunos consejos para evitarlas, recomendando complementar la lectura con los artículos de Hormigonar N° 17 y N° 18.

¿Cuándo materializar las juntas de contracción?

Para pisos y pavimentos las juntas son generalmente materializadas mediante aserrado algunas

horas después de la colocación. El período óptimo de tiempo para aserrar las juntas de contracción es conocido como la ‘ventana de aserrado’. Esta ventana comienza cuando el hormigón es suficientemente resistente para no presentar daños o astillamientos al aserrar las juntas, y finaliza cuando las tensiones inducidas por la contracción son superiores a la resistencia a tracción del hormigón. Es decir, es crítico materializar las juntas en el momento correcto dentro de la ventana de aserrado:

- ▶ Muy temprano, resulta en juntas de superficies irregulares y astilladas
- ▶ Muy tarde, resulta en fisuración descontrolada por contracción por secado

El tiempo de aserrado depende fuertemente de las propiedades del hormigón y de las condiciones ambientales, no pudiendo definirse un tiempo único o recomendado para el aserrado de las juntas, debiendo siempre ser ajustado en la obra. Como datos referenciales, en tiempo caluroso este tiempo oscila

entre 4 y 10 horas posteriores a la colocación, y en tiempo frío puede llegarse a 16 a 24 horas, nunca debiendo superar este último tiempo, o de lo contrario la fisuración aleatoria será visible en los primeros 7 a 14 días. En la actualidad, existen aserradoras en fresco de hoja fina, las cuales pueden realizar improntas de 25 mm en el hormigón entre 1 y 4 horas del colado, las que luego deben ser repasadas por el aserrado convencional y llevarlas a la profundidad requerida de proyecto (recomendado: 1/3 del espesor de la losa).

Un ensayo empírico empleado para determinar si el hormigón está listo para cortar las juntas es realizado utilizando un clavo u hoja de cuchillo. Se debe intentar rayar con fuerza la superficie del hormigón. Cuando la superficie endurece, la profundidad del rayado disminuye. En general, si el rayado remueve la textura superficial del pavimento es posible que aún sea muy temprano para aserrar.

Además, cabe recordar que tal como se estudió en el artículo de Hormigonar N° 18, el aserrado de las juntas no sólo se realiza para aliviar tensiones por contracción por secado sino también grandes

diferencias térmicas entre el día y la noche pueden inducir tensiones por variaciones dimensionales y fisurar el hormigón. La 'ventana de aserrado' se esquematiza en la figura 1, acompañada de fotografías que indican diferentes situaciones de aserrado. Algunos factores que 'acortan' esta ventana son, entre otros:

- ▶ Dosificación del hormigón: elevado contenido de agua, alto contenido unitario de cemento, rápida ganancia de resistencias y contenido de agregado fino elevado.
- ▶ Condiciones climáticas: rápida caída de temperatura o lluvia repentina, rápido incremento de temperatura, alta humedad relativa y viento, bajas temperaturas y nublado, altas temperaturas y soleado.
- ▶ Base de apoyo: elevada fricción entre la base y la losa de hormigón, adhesión entre la base de apoyo y la losa, superficie de la base muy seca y agregados porosos empleados en la base.

¿Cómo materializar las juntas de contracción?

Las juntas de contracción pueden materializarse de varias maneras, tal como se muestra en la figura 2.

- ▶ Aserrado: es la práctica más frecuente y aceptada en la actualidad, ya que la junta queda en la posición deseada, es rectilínea y su ancho es pequeño,



1 Ventana de aserrado

lo cual es muy recomendable (entre 5 y 8 mm).

- ▶ Mediante cuchillas o herramientas similares: se realiza hincando un elemento metálico en forma de cuchilla en el hormigón fresco, teniendo la dificultad de trabajar con tamaños máximos de agregado importantes. Además, en la superficie pueden quedar algunos desniveles.
- ▶ Insertos en los encofrados: es una técnica empleada en tabiques, debiendo cuidar que al retirar el encofrado el inserto metálico no se adhiera al hormigón.
- ▶ Paños alternados: es una metodología no muy empleada en la actualidad debido a su lentitud.
- ▶ Elementos preconformados: actualmente están disponibles en

el mercado elementos preconformados que se retiran cuando el hormigón aún está en estado fresco. No es recomendable para juntas de contracción emplear materiales de más de 1 cm de espesor, como poliestireno expandido o maderas.

¿Cómo y cuándo deben sellarse las juntas?

Las juntas siempre deben ser selladas, ya que si no se realiza esta tarea puede ocurrir lo siguiente:

- ▶ Relleno de las juntas con materiales incompresibles: partículas de arena, hormigón u otros pueden ir colmatando las juntas y de esta manera, para variaciones normales de temperatura, no existirá el 'juego' necesario para que el hormigón se expanda y contraiga, fisurando el piso en zona de juntas.



2 Metodologías de materialización de juntas de contracción



- ▶ Paso de agua a la base de apoyo: en la mayor parte de los casos, si existe una infiltración de agua a la base de apoyo ésta irá perdiendo su capacidad resistente y deteriorará el pavimento rígido de hormigón.

Después del aserrado siempre es conveniente lavar con agua a presión la zona de juntas para quitar los restos de hormigón y barro ocasionados por la misma agua empleada en el aserrado. Además, inmediatamente antes de sellar deben limpiarse las juntas en forma integral para librarlas de todo resto de lechada de cemento, compuestos de curado y otros materiales extraños. Se emplea cepillo de alambre, arenado, hidrolavado, etc., siendo siempre necesario un soplado con aire comprimido como paso final de la limpieza. Las mangueras y el sistema de aire comprimido no deben llevar aceite en su proyección, debiendo verificarse esta condición en el equipo. Una vez efectuada la limpieza e inmediatamente antes de la colocación del sellador puede emplearse un cordón de respaldo (*back rod*) de material tipo espuma.

Respecto al tiempo de sellado de las juntas, éste debe practicarse lo más tarde posible dentro de lo factible para impedir la ineficacia o desprendimiento del sellador, debiendo hacer hincapié en una adecuada limpieza antes del sellado. Esto es debido a que la contracción es progresiva y de sellar las juntas inmediatamente después de aserradas muy probablemente existan problemas como que el sellador se desprende en el tiempo, con lo que el agua podrá infiltrarse y podrán ingresar materiales incompresibles.

Por ejemplo, para pavimentos es práctica frecuente esperar entre 20 y 30 días después de su construcción para habilitarlos al tránsito. Pero en la mayor parte de los casos las labores de sellado de juntas se realiza dentro de los primeros cinco días de construido el pavimento.



3 Astillamientos en zonas de juntas



4 Fisuras de esquina por aserrado incompleto

Al presentar sólo un muy pequeño porcentaje de la contracción total de los paños de pavimento el sellador estará expuesto a deformaciones muy importantes y por lo tanto existirá mayor probabilidad de falla, permitiendo el ingreso de agua e incompresibles a la junta. Para este caso es más recomendable sellar adecuadamente las juntas unos pocos días antes de la habilitación. Si es necesaria rapidez de habilitación de una estructura deberá trabajarse con selladores adecuados y muy elásticos, los cuales generalmente son más costosos.

Para el caso de construcciones en las cuales desde el hormigonado del pavimento hasta su puesta en servicio exista probabilidad de que en la junta ingresen incompresibles en cantidad considerable que no serán eliminados con una limpieza posterior (o ésta no se realiza), es recomendable después de la limpieza preliminar colocar un cordón de respaldo de diámetro adecuado en el fondo de la junta.

En la actualidad existe una gran cantidad de materiales disponibles para el sellado de juntas, debiendo

tener en cuenta para su correcta elección, además del análisis de costos, los siguientes aspectos:

- ▶ Elasticidad: todos los materiales deben ser elásticos y flexibles, acompañando las deformaciones inducidas por la contracción y los cambios de temperatura. Es recomendable una elongación mayor al 25 por ciento.
- ▶ Adhesividad al hormigón: según el sellador, se necesitará o no una imprimación, siguiendo las instrucciones del fabricante, pero aquélla debe ser muy efectiva.
- ▶ Durabilidad: es una cualidad muy importante, debiendo ser eficaces durante el lapso establecido, no debiendo olvidar nunca el mantenimiento de juntas.
- ▶ Ambiente de exposición: para estructuras en contacto con ácidos u otros químicos el material sellante debe ser inalterable ante aquéllos. En algunos casos, los selladores de juntas de estructuras de contención y conducción »



deberán ser compatibles con agua potable o con la industria alimenticia, debiendo contar con el certificado de aptitud e inocuidad del sellador antes de su aplicación.

¿Qué otros problemas pueden aparecer en zonas de juntas?

Sin considerar problemas de durabilidad, como los provenientes de ciclos de congelación y deshielo o reacción álcali-agregado, algunos de los inconvenientes que pueden aparecer a corto y mediano plazo son:

- ▶ Astillamientos, descascaramientos o desprendimientos: si el aserrado se realiza antes de comenzar la ventana, con lo que se reduce la funcionalidad de la junta y del piso o pavimento. Estos defectos también pueden aparecer con el uso inadecuado del equipamiento (ej: mucha velocidad del aserrado) o si el mismo no funciona adecuadamente (ej: vibración de la hoja de aserrado). Para finalizar, cuando no se aserran las juntas y se realizan mediante insertos o cuchillas pueden emplearse técnicas inadecuadas que resultan en daños, tales como trabajar excesivamente los bordes de juntas. Además de presentarse estos desprendimientos que comprometerán la vida útil de la junta, pueden ocurrir fisuras erráticas en las cercanías de juntas. En la figura 3 se muestran fotografías de estos defectos.
- ▶ Fisuras en zonas de esquinas: en el caso de que por impedimento de los moldes el aserrado no llega en los bordes a una profundidad adecuada, las fisuras pueden no presentarse bajo las juntas en zonas cercanas a los moldes. En la figura 4 se muestra esquemáticamente este error muy común en obra del aserrado incompleto de

juntas y fotografías de los desprendimientos resultantes en zonas de esquinas.

- ▶ Falta de alineamiento de pasadores: cuando se emplean pasadores los mismos deben estar perfectamente ubicados en altura y en planta y alineados perpendiculares con la futura junta.
- ▶ Inadecuado sellado y/o mantenimiento de juntas: si las juntas son selladas sin una limpieza previa, con selladores que no adhieran o acompañen los movimientos de las losas o no se tiene en cuenta el mantenimiento de juntas, seguramente comenzará el deterioro prematuro del piso. Estos daños se aprecian como fisuras y reventones en zonas de juntas, ya que existe libertad de movimiento.

¿Qué son las juntas de aislamiento o expansión?

Los pisos y pavimentos deben ser siempre separados o aislados de los elementos estructurales y no estructurales para evitar su vinculación. El inconveniente surge cuando los pisos y pavimentos están unidos a otras partes de la estructura que:

- ▶ Puedan restringir la contracción por secado del piso al vincularse, por ejemplo, los pisos con vigas de fundación, no quedando libres en este caso para deformarse libremente.
- ▶ Puedan restringir el movimiento de paños por contracción y dilatación por cambios de temperatura.
- ▶ Se vinculen a otros elementos (como fundaciones o máquinas) y cuando éstos se deformen o asienten (ej. por cargas), en cuyo caso el piso tenderá a acompañar estas deformaciones y al ser rígido se figurará.

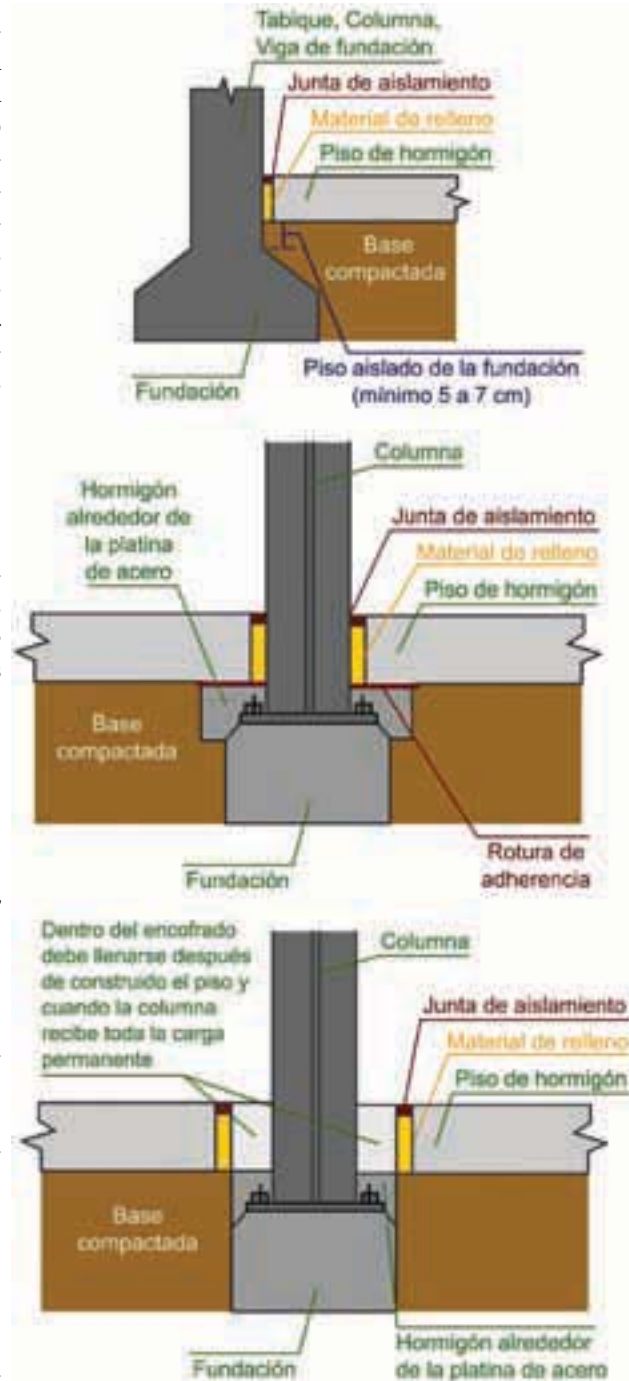
Los elementos de relleno de las juntas de aislamiento deben impedir la vinculación del piso con otros elementos y deben ser muy compresibles para admitir deformaciones sin transmitirlas al piso o pavimento. Como materiales de relleno pueden emplearse materiales asfálticos, tableros de madera impregnados en asfalto, poliestireno expandido, diferentes polímeros en forma de espumas o elastómeros (cauchos o neopreno). Por lo general, son materiales preformados que deben colocarse en todo el espesor. El sellado de este tipo de juntas tiene los mismos objetivos y se realiza de manera análoga que en juntas de contracción.

¿Dónde planificar las juntas de aislamiento o expansión?

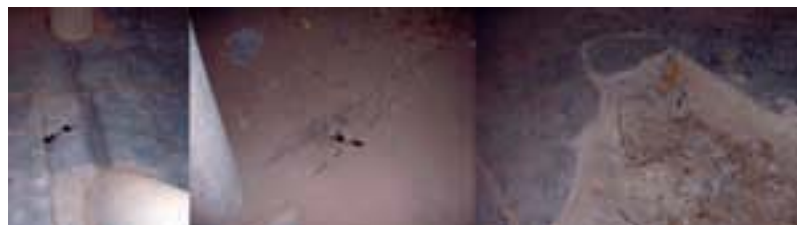
El principio general es que las juntas deben permitir los movimientos independientes, tanto verticales como horizontales, entre los elementos adyacentes de la estructura. Sin ser excluyente, los pisos y pavimentos siempre deben aislarse mediante juntas de:

- ▶ Muros y tabiques (de mampostería y de hormigón)
- ▶ Columnas (de hormigón o metálicas)
- ▶ Fundaciones de todo tipo (zapatas, vigas, cimientos, pozos, etc.)
- ▶ Otros pisos existentes
- ▶ Diferentes singularidades, como escaleras en edificios o cordón-banquina o luminarias en pavimentos
- ▶ Equipos y máquinas que puedan transmitir vibraciones al piso o pavimento
- ▶ Drenajes y tuberías

En las figuras 5 y 6 se muestran diferentes disposiciones de juntas de aislamiento recomendables para distintas situaciones. En la figura 7 se aprecian fotografías de pisos fisurados por inexistencia de juntas de aislamiento. En este caso los pisos se vincularon directamente a vigas de fundación y a algunas zapatas. Con el movimiento de la estructura debido a cargas normales las vigas y fundaciones se deformaron y 'arrastraron' al piso de hormigón que estaba vinculado a éstas, provocando fisuras significativas. ¶



6 Juntas de aislamiento



7 Fisuras por falta de planificación de juntas de aislamiento



Medidas prácticas

Los “cuándo”, “por qué” y “cómo” de los defectos en pisos y pavimentos: Problemas derivados de la base de apoyo

Para la construcción de pisos y pavimentos es indispensable que la base de apoyo cumpla con ciertas condiciones, ya que de no tener en cuenta ciertas precauciones aunque el hormigón sea de calidad y se efectúe adecuadamente su colocación y curado se presentarán deficiencias que llevarán probablemente a la fisuración excesiva de los mismos

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

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

Es conocido que un conveniente tratamiento de la base de apoyo de pavimentos y pisos industriales de hormigón es indispensable para el éxito de este tipo de estructuras. En muchos casos, las fisuras o patologías no provienen de un inadecuado pedido del hormigón ni de la aplicación de deficientes técnicas constructivas sino de problemas que la base puede 'transmitirles' a pisos y pavimentos rígidos de hormigón. Asimismo, en algunas ocasiones no tener en cuenta ciertas precauciones potencia ciertos defectos del hormigón, como fisuración por contracción plástica o daños superficiales como mapeo o delaminaciones.

En el presente artículo se brindarán diferentes medidas prácticas a prever para evitar estos inconvenientes relacionados con la base de apoyo, que de no ser tenidas en cuenta en el diseño del piso y antes del colado del hormigón difícilmente pueda encontrarse una solución viable desde los puntos de vista técnico-económico y el pavimento presentará daños permanentes durante toda su vida útil, que incluso podrían agravarse progresivamente con el paso del tiempo.

¿Cuándo y por qué aparecen problemas relacionados con la base de apoyo?

Aunque el siguiente concepto resulte muy general, este tipo de problemas aparecen cuando no existe una metodología apropiada o procedimientos específicos de preparación de la base teniendo en cuenta los requisitos de cada piso o pavimento en particular o cuando no se ejecutan ensayos de suelos preliminares de aprobación

I Buenas prácticas de preparación de la base de apoyo

de la base. Es por ello que en todo proyecto debe existir un responsable para la aprobación del estado de la base de apoyo antes del colado del hormigón, siendo muy recomendable el complemento de esta toma de decisiones con ensayos para verificar el grado de compactación según especificaciones particulares de cada obra. Sin embargo, no todos los problemas devienen de una falta de compactación de la base sino también de su estado de humedad o del tipo de material sobre el cual se apoya el hormigón.

Otra causal de estos problemas es la degradación progresiva del pavimento por el paso de agua a la base cuando existen fisuras que atraviesan todo el espesor del piso o cuando no existe un sellado adecuado de las juntas. Estos descuidos aumentan de manera considerable los costos de mantenimiento e impactan negativamente sobre la funcionalidad del pavimento (por ejemplo, la necesidad de reducción de velocidad de circulación) y también sobre el aspecto estético y la durabilidad.

Un pensamiento equivocado que muchas veces se lleva a la práctica es colocar una malla débil de refuerzo (# Φ 4 ó Φ 6 cada 15 ó 20 cm) por si existen problemas en la base. Deficiencias de compactación o aspectos no tenidos en cuenta desde el diseño del pavimento, como colar el hormigón directamente sobre láminas de polietileno, no son contrarrestadas en absoluto por la presencia de esta malla. Las tensiones que se generan en el hormigón no son soportadas por esta escasa cuantía de acero que comúnmente se coloca en pisos industriales y pocas veces queda en la posición deseada en el proyecto, si el mismo ha existido. Las diferentes técnicas constructivas cuando no se emplean separadores traen como resultado que la malla se encuentra, en la mayoría de los casos, en la parte inferior de la losa. Para finalizar este tema cabe destacar que la »



2



2

Falta de uniformidad en el grado de compactación

mallita de refuerzo tampoco evita fisuras en el hormigón endurecido ni en el hormigón fresco, muchas veces entorpeciendo las tareas de colocación y compactación del hormigón.

¿Qué tareas previas hay que realizar cuando se apoya el piso directamente sobre el terreno?

Todas las fuentes bibliográficas indican que la mejor base de apoyo de pisos y pavimentos es el colado sobre material granular adecuadamente humedecido y compactado. Este material granular en función de sus características y de la finalidad del piso o pavimento puede ser material específicamente seleccionado, grava o arena compactada, el terreno del lugar compactado u otras técnicas como suelo-cemento. En la figura 1 se muestran diferentes técnicas adecuadas para la preparación de la base.

Hay que tener presente que la compactación no sólo consiste en brindarle la máxima densidad a la base sino –aspecto que hasta es más relevante que el anterior– en lograr una uniformidad en la compactación de la o las bases de apoyo del piso o pavimento. Esto se debe a que para el caso de pavimentos rígidos esta homogeneidad en la compactación es de vital importancia, ya que tanto para puntos débiles (o pobremente compactados) o muy rígidos (demasiado compactados comparativamente con el entorno o rocas erráticas de tamaño considerable) aparecerán problemas en estas áreas, tal como se esquematiza en la figura 2. Este inicio de la patología que puede aparecer como una fisura o ‘isla’ dentro del pavimento llevará seguramente a la destrucción total del paño afectado en poco tiempo.

Proveyendo una razonable uniformidad a la base, deben controlarse tres causas de daños potenciales:

- *Suelos expansivos*: para evitar su efecto perjudicial deben identificarse y ser reemplazados, tratados y/o estabilizados de manera adecuada
- *Suelos susceptibles a las heladas*: debe evitarse el empleo de suelos susceptibles a la degradación por congelación y deshielo o eliminar toda fuente posible de agua en contacto con los mismos
- *Suelos susceptibles a bombeo (efecto “dumping”)*: ocurre cuando cargas muy pesadas van degradando el suelo, que cuando está saturado puede ir destruyendo progresivamente la base

Después de la apropiada selección del material para la base y su compactación, y que la misma cumpla con los estándares de calidad requeridos medidos mediante ensayos como el del cono de arena o el densímetro nuclear, la base granular de apoyo debe ser adecuadamente humedecida antes de recibir el hormigón. Es recomendable saturarla un día antes del colado y volver a mojarla justo antes del colado sin que se aprecien charcos en la superficie. Estas recomendaciones deben ser especialmente tenidas en cuenta en condiciones de clima caluroso y para pisos y pavimentos exteriores.

Una inundación excesiva de la base también puede crear otros inconvenientes, ya que si bien la humectación es para que la base no le ‘quite’ agua al hormigón e incrementa el riesgo de fisuración por contracción plástica (Hormigonar N° 17) si la base es virtualmente impermeable o no puede absorber ninguna cantidad de agua puede incrementarse el riesgo de otras patologías, como

Apoyar el hormigón directamente sobre una lámina plástica incrementa casi todas las patologías que se han estudiado en los artículos anteriores.

3



4



defectos superficiales (Hormigonar N° 21) y alabeo de losas (Hormigonar N° 22).

Nunca debe colarse el hormigón en bases congeladas, debiendo eliminar el hielo o escarcha antes del colado. Además, deben retirarse todos los escombros, basura, hojas, barro, agua estancada, etc. antes de que la base granular reciba el hormigón. En la figura 3 se muestran diferentes fotografías de un mismo pavimento de acceso a un complejo privado. No se tuvieron en cuenta las previsiones antes mencionadas, lo que ocasionó fisuras por contracción plástica y debido a la direccionalidad de las mismas (influencia del viento) terminaron trabajando como juntas no previstas (fisuras activas por contracción por secado).

¿Qué precauciones hay que tener en cuenta cuando deben emplearse láminas de polietileno?

El primer aspecto a tener en cuenta es la necesidad de emplear una barrera vapor bajo el piso o pavimento, para la cual normalmente se emplea una lámina de polietileno. En diferentes regiones del país estas láminas se emplean sin conocer las

razones y, lo que es más grave aún, con desconocimiento total de que apoyar el hormigón directamente sobre una lámina plástica incrementa casi todas las patologías que se han estudiado en los artículos anteriores. Las diferentes recomendaciones indican que las barreras de vapor sólo deben emplearse cuando son estrictamente necesarias:

- Cuando pueda existir humedad bajo el piso y su terminación, acabado superficial o revestimientos que sean susceptibles a los cambios de humedad (cerámicos, revestimientos epoxi, etc.)
- Cuando existan equipos, maquinarias o productos que no admitan el contacto con la humedad si la misma puede presentarse en la base (por ejemplo, presencia de cursos de agua o napa freática)

De aquí se desprende que las láminas de polietileno no deben emplearse para no humedecer la base, evitar la compactación o reducir el riesgo de fisuración en climas calurosos, ya que resultan medidas altamente contraproducentes. Deben »

3 Malas prácticas de preparación de la base de apoyo

4 Usos adecuado e inadecuado de láminas de polietileno

5



Hay que tener presente que la compactación no sólo consiste en brindarle la máxima densidad a la base sino, aspecto que hasta es más relevante que el anterior, en lograr una uniformidad en la compactación de la o las bases de apoyo del piso o pavimento.

5 | Reflejo de fisuras, en piso de hormigón

emplearse cuando son requeridas por la estructura o por los bienes almacenados.

Al impermeabilizar completamente la base se obliga a que el agua de exudación tenga un solo camino: migrar a la superficie. Si bien este aspecto puede no resultar significativo, pisos y pavimentos de hormigón colados directamente sobre láminas de polietileno presentan, entre otras cosas:

- Mayor magnitud y período de exudación, ocasionando un gradiente de humedad
- Mayor riesgo de fisuración por asentamiento plástico (Hormigonar N° 16)
- Mayores movimientos por contracción por secado en todas las edades (Hormigonar N° 19)
- Mayores variaciones dimensionales por cambios de temperatura (Hormigonar N° 20)
- Mayor probabilidad de terminación prematura del piso y defectos superficiales asociados como mapeo, delaminaciones y ampollas (Hormigonar N° 21)

- Mayor intensidad en el alabeo (Hormigonar N° 22)

Si son necesarias por el diseño del piso industrial estas barreras vapor se debe apoyar la lámina de polietileno sobre la base adecuadamente compactada y sobre la lámina colocar y compactar una capa de 7 a 10 cm de material granular adecuado de tamaño máximo 1" a 1". Sobre esta capa granular adecuadamente humedecida y compactada se deberá colar el hormigón. En la figura 4 se esquematiza el perfil de un piso industrial llaneado con el uso correcto de la lámina de polietileno. En la parte derecha de la figura mencionada se muestra una práctica no recomendable en pavimentos que, sumada a otras causas, llevó a un alabeo muy significativo y fisuración de la mayor parte de los paños de la obra ejecutada.

¿Cómo trabajar si hay pisos o pavimentos existentes?

Ante la necesidad de construir sobre un piso existente que puede o no estar fisurado, en primer lugar deben estudiarse y relevarse el piso y el tipo de espaciamiento de juntas y fisuras que existan. En función de la actividad de juntas y fisuras debe tenerse en cuenta al menos:

- Si el diseño de juntas es adecuado, se presentan con un espaciamiento coherente y no existen fisuras activas (fisuras por contracción por secado), las juntas del nuevo piso deben coincidir perfectamente con las juntas del piso existente
- Si existe un espaciamiento superior a los 4,0 a 4,5 metros y no existen fisuras activas, es recomendable subdividir en dos o en cuatro los paños existentes, ya que la adherencia »

6



Separación de pavimentos con capa de material granular adecuadamente compactado

Construcción de piso industrial sobre otro existente con separación de membrana geotextil

6

Construcción sobre pavimentos y pisos existentes

Ante la necesidad de construir sobre un piso existente que puede o no estar fisurado, en primer lugar deben estudiarse y relevarse el piso y el tipo de espaciamiento de juntas y fisuras que existan.

con el hormigón de base puede acarrear inconvenientes de fisuración

movimiento independiente de las losas de ambos pisos

- Si el relevamiento y posible seguimiento de fisuras revela que pueden existir fisuras activas es indispensable 'separar' el nuevo piso de hormigón del piso anterior. Además de la posible subdivisión en paños de menor dimensión y que las juntas coincidan con las existentes, la separación podría efectuarse mediante una o dos láminas de polietileno, una capa de membrana geotextil y/o la colocación de 10 a 15 cm de material granular bien compactado. Cuando no se dispone de espacio suficiente por los niveles del nuevo pavimento una muy buena solución es emplear una capa de concreto asfáltico de 25 mm de espesor aproximadamente que, si bien liga ambos pavimentos, por su flexibilidad permite el

De no tomar estas precauciones el movimiento de las juntas y fisuras se transmitirá o reflejará al nuevo piso y toda la inversión habrá sido en vano. En la figura 5 se muestra una secuencia de cuatro fotografías de una misma cancha deportiva que falló por no tener en cuenta estas precauciones. Se muestran las fisuras existentes en el piso, muy abiertas y activas, ocasionadas por aserrado tardío y por espaciamiento excesivo entre juntas. El constructor decidió no separar ambos hormigones y colocar una malla Φ 6 c/20 cm que según su experiencia era necesaria y suficiente para evitar el reflejo de fisuras. A la edad de 10 a 20 días las fisuras se reflejaron en el nuevo playón deportivo y fueron deficientemente selladas, alterando la durabilidad, funcionalidad y aspecto estético del nuevo piso. «

Los “cuándo, por qué y cómo” de los defectos en el hormigón: decoloraciones y eflorescencias primarias

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones

www.cdormigones.com.ar

Las decoloraciones y eflorescencias primarias en el hormigón por lo general causan problemas sólo “a la vista”, siendo eminentemente inconvenientes desde el punto de vista estético, no generando ningún trastorno estructural y no indicando un deterioro futuro de la estructura. Sin embargo, cuando existen requisitos arquitectónicos o cuando el cliente tiene la incertidumbre, ya que no son problemas tan frecuentes, debe contarse con herramientas para diagnosticar y fundamentalmente remediar la estructura.

¿Qué es la decoloración de una superficie de hormigón?

La decoloración es la falta de uniformidad en el color o en el brillo de la superficie en un mismo colado de hormigón. La misma puede tomar la forma de manchas oscuras o claras, una decoloración extendida sobre la superficie ya terminada, cambios fuertes de color en grandes áreas o puede aparecer como parches claros provocados por eflorescencias. Estas decoloraciones aparecen frecuentemente el mismo día del colado o a los pocos días, abordando la temática como una patología a edad temprana. En este contexto, no se incluye el tratamiento de las manchas provocadas por derrames o contacto de materiales extraños a la superficie del hormigón.

¿Cuáles son las causas más comunes de las decoloraciones?

A continuación, se clasifican y enumeran las principales causas que pueden originar decoloraciones.

Dosificación del hormigón:

- *Cambios de fuentes de cemento o agregados:* es un caso extraño y poco probable, ya que para las mismas partidas de materiales empleadas en el día es muy difícil que aparezcan variaciones de color en una misma superficie atribuibles a cambios en el cemento o en los agregados. Si bien es sabido que los diferentes tipos de cemento presentarán distintos colores en las estructuras terminadas debidas al mismo clinker y al origen, tipo y porcentaje de adiciones (puzolanas, filler calcáreo, escorias, etc.), cementos de la misma partida no conllevan a decoloraciones.
- *Agua o agregados seriamente contaminados con materia orgánica:* en el caso de emplear agregados o aguas no aptas, pueden aparecer riesgos de decoloraciones.
- *Uso no adecuado de aditivos en obra:* el exceso de aditivos, en especial los fluidificantes incorporados en obra, o la deficiencia en el mezclado, pueden decolorar la superficie del hormigón, ya que el exceso de aditivo migra con el agua de exudación y aparece como manchas marrones en la superficie.



▲ Figura 1 - Decoloraciones provocadas por inadecuadas técnicas de puesta en obra

- *Empleo de aditivos de base cloruro de calcio*: aunque está prohibida su utilización en estructuras de hormigón armado, el empleo de este aditivo crea manchas muy notorias en la superficie del hormigón.
- *Dosificación no controlada*: variaciones significativas de cantidades de cemento y agregados entre diferentes pastones pueden ocasionar diferencias, lo que es factible que ocurra al elaborar hormigones en obra.
- *Agentes desmoldantes*: si se emplean desmoldantes de origen o marca diferente, o bien aplicados de manera no uniforme en los encofrados, se plasmará una variación significativa del color en superficies de hormigón contiguas, provocando manchas ajenas a la calidad del hormigón.
- *Prácticas deficientes de terminación superficial* (figura 1): realizar trabajos excesivos de llaneado en algunas zonas cambia el color y apariencia del hormigón por la densificación de la superficie, tendiendo a oscurecer estas áreas sobre-trabajadas debido a una menor relación agua/cemento. Además, técnicas de terminación muy tempranas del hormigón fresco pueden causar zonas más claras, ya que incluyen el agua de exudación en la capa superficial. La adición de agua o cemento en la superficie también altera la relación agua/cemento en la misma y con ello la tonalidad del hormigón.
- *Vibración inadecuada*: la vibración excesiva, ya sea por vibradores de inmersión, reglas vibratorias o vibradores de encofrado, puede traer como consecuencia áreas decoloradas. »

Prácticas constructivas:

- *Encofrados*: el uso de diferentes tipos de encofrados con distintas tasas de absorción, la falta de limpieza en algunas zonas y un número de uso desparejo o excesivo afectan fuertemente la tonalidad del hormigón, lo cual puede ser un defecto importante en hormigones arquitectónicos. Además, es recomendable un tiempo de desencofrado y curado uniforme.

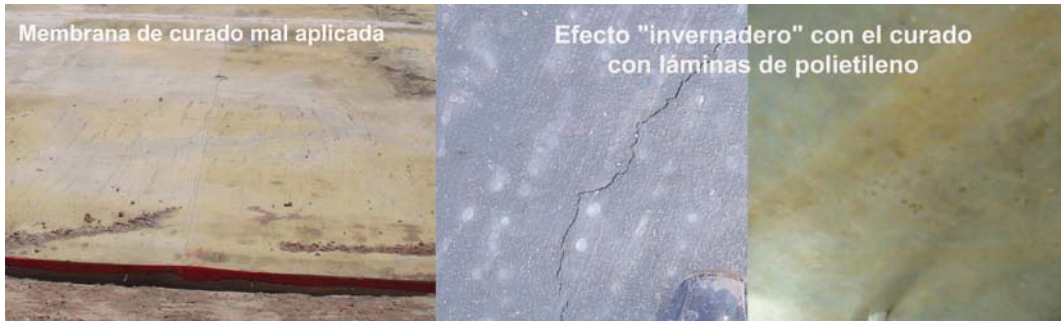


Figura 2 - Decoloraciones debidas a efectos de un curado inadecuado

- *Estado de la base de apoyo:* una humectación despareja o si el suelo de apoyo presenta tasas muy diferentes de absorción puede ocasionar la aparición de decoloración en pisos y pavimentos delgados.
- *Estado superficial de las armaduras:* la presencia de óxidos en las barras, sumada al eventual contacto con los encofrados, pueden ocasionar manchas de óxidos en las superficies de elementos.
- *Protección:* diferentes exposiciones al sol o al viento por deficiente protección del hormigón fresco.

Curado del hormigón:

- *Curado con agua no apta:* el curado húmedo no debe afectar la coloración del hormigón, debiendo emplear agua apta (norma IRAM 1601) para el curado. Utilizando aguas no aptas (agua de mar, de cauces de riego, desagües industriales, etc.), las sales y materia orgánica afectarán no sólo las cualidades estéticas de la estructura sino también su durabilidad. El suelo o arena empleados para los diques de contención tampoco deben contener sales o materias que puedan decolorar el hormigón.
- *Láminas plásticas:* las láminas de polietileno pueden causar decoloraciones en pisos industriales con terminaciones especiales, como cuando se emplean ciertos endurecedores superficiales. Generalmente aparecen manchas más claras en la zona de contacto de las láminas con el hormigón y en los pliegues; esto se debe al "efecto invernadero" (figura 2) que se forma por las condensaciones bajo las láminas.
- *Cubiertas húmedas:* no es muy recomendable su uso en hormigones de importancia estética, ya que pueden decolorar la superficie de hormigón, como puede ser el caso de paja, heno, aserrín o arena húmeda. También

aparece esta problemática con los primeros usos de bolsas de arpillera humedecidas.

- *Membranas de curado:* las membranas pigmentadas crean tonalidades verdosas, amarillentas o blancuzcas, las cuales pueden presentar una apariencia no uniforme (figura 2). Por lo general, con el mismo uso de la estructura se va eliminando la membrana adherida, pero en algunos casos la aplicación muy desigual en diferentes áreas puede causar decoloraciones de importancia que deben ser posteriormente removidas, como se discutirá a continuación.

¿Cómo remover las decoloraciones de las superficies de hormigón?

En primer lugar, cabe destacar que muchos tipos de decoloraciones pueden desvanecerse con el uso y exposición de la estructura y la edad del hormigón. En el caso de que esto no ocurra o que deban quitarse rápidamente las decoloraciones, siempre es recomendable realizar tratamientos en paños de prueba para verificar su eficacia y optimizar el procedimiento. Si se emplean ácidos para lavar decoloraciones y eflorescencias, es recomendable realizar la limpieza al menos cuando el hormigón posea siete días de edad.

A fin de erradicar la decoloración, la primera medida a tomar es un lavado inmediato y completo con agua caliente abundante acompañado con cepillado, repitiendo la operación si es necesario con agua a presión. Es una técnica sencilla que resulta efectiva para una importante cantidad de decoloraciones.

Si la decoloración persiste, puede ser tratada con una solución diluida de ácido muriático al 1 a 2% o soluciones diluidas de ácidos más suaves (acético, fosfórico) al 3 a 4 por ciento. Antes de utilizar ácidos hay que humedecer muy bien la superficie para prevenir la penetración de los mismos en el hormigón, luego aplicar el ácido diluido y enjuagar con agua limpia a los 5 a 10 minutos de la aplicación. Si el hormigón absorbe el ácido debido a que no se humedeció abundantemente la superficie o se dejó mucho tiempo, puede traer problemas de durabilidad, como delaminaciones y desgaste prematuro. Es recomendable realizar los tratamientos con ácidos en superficies no mayores a 1/2 a 1 m² como máximo de manera simultánea.

Al trabajar con ácidos deben adoptarse todas las medidas de seguridad necesarias para los operarios, así como también contar con ventilación adecuada. Además, deben conocerse las especificaciones del químico a emplear; por ejemplo, el mezclar ácido muriático con otro ácido puede crear reacciones peligrosas. Otro ejemplo es que para diluir el ácido este último debe incorporarse gradualmente al agua y no a la inversa.

Las soluciones alcalinas en seco, como hidróxido de sodio al 10%, resuelven en cierta medida el problema al combinar algunos puntos claros con un fondo más oscuro. El empleo de una solución acuosa de un 20 a un 30% de citrato diamónico ha resultado ser un tratamiento muy efectivo para severos casos de decoloración, debiendo aplicar la solución a la superficie seca por unos 15 minutos. En este caso, se forma un gel blanquecino que debe ser diluido, cepillado y completamente eliminado con agua. Sin embargo, hay que tener cuidado con los métodos químicos para remover decoloraciones, ya que pueden alterar significativamente el color de las superficies de hormigón. El uso inapropiado de químicos para removerlas puede agravar la situación, siendo indispensable la realización y seguimiento de paños de prueba.

Algunos tipos de decoloración, como las debidas al fuerte alisado o llaneado, pueden no responder a ningún tratamiento, siendo entonces necesario pintar o utilizar otro tipo de recubrimiento para eliminar las decoloraciones.

¿Qué son las eflorescencias primarias en el hormigón?

En primer lugar, cabe destacar que se estudiarán las eflorescencias primarias que aparecen en el hormigón durante sus primeros días, mientras que las secundarias se asocian a patologías y problemas de durabilidad (como ataque de sulfatos), siendo éstas mucho más graves para la estructura, apareciendo después de años de exposición a algún ambiente agresivo. Estas eflorescencias se consideran primarias cuando aparecen antes de 72 horas de la elaboración del hormigón, aunque con frecuencia se hacen notorias inmediatamente después del colado. Aunque son poco atractivas, generalmente las eflorescencias no son dañinas y pueden considerarse como un tipo especial de decoloración.

Por definición, las eflorescencias son un depósito de sales, casi siempre de color blanco, que ocasionalmente aparece en la superficie del hormigón; estas sales migran desde el interior del hormigón y a continuación precipitan por reacciones, como son la carbonatación o evaporación. Estas sales solubles son introducidas principalmente por el cemento, pero también pueden originarse con el agua y/o agregados. Estas eflorescencias son ocasionadas por la coexistencia simultánea de los cuatro factores siguientes:

- Sales solubles dentro del hormigón fresco provenientes de los materiales constituyentes
- Agua disponible para disolver y transportar estas sales

Todos los hormigones son susceptibles a las eflorescencias, pero fundamentalmente aparecen cuando ciertas condiciones, incluyendo las ambientales, son propicias. Por ejemplo, la hidratación del cemento produce hidróxido de calcio, que es soluble y puede migrar hacia la superficie en ciertas circunstancias.

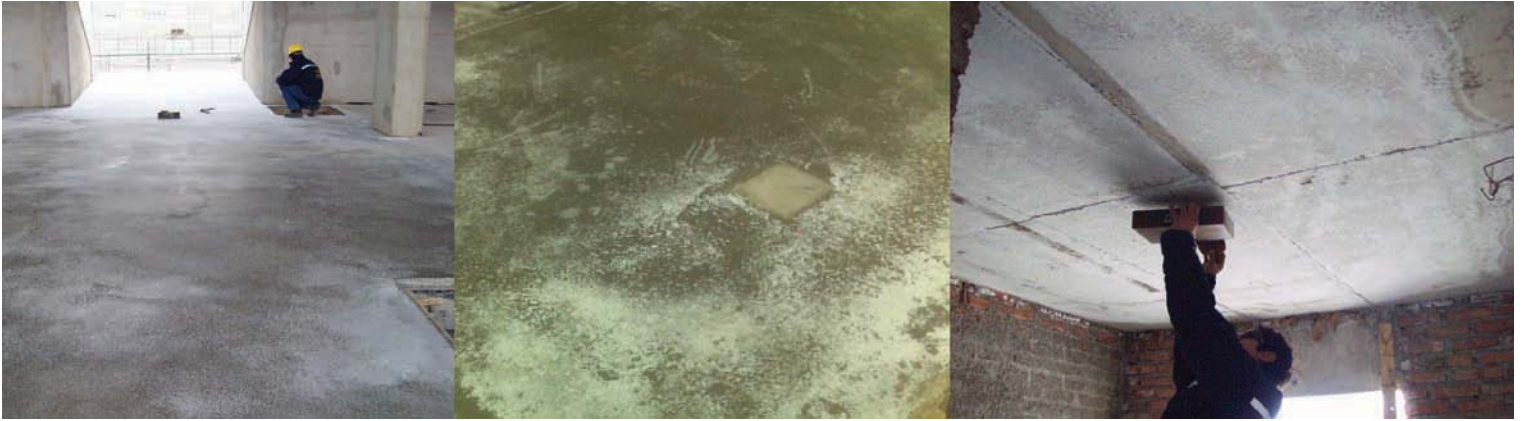
- Vías de transporte, que son los poros, para que la solución migre a la superficie
- Condiciones propicias de humedad, viento y temperatura y fenómenos asociados, como la evaporación

Todos los hormigones son susceptibles a las eflorescencias, pero fundamentalmente aparecen cuando ciertas condiciones, incluyendo las ambientales, son propicias. Por ejemplo, la hidratación del cemento produce hidróxido de calcio, que es soluble y puede migrar hacia la superficie en ciertas circunstancias. Allí se combina con el dióxido de carbono del aire para formar depósitos de carbonato de calcio en superficie.

Ante casos de eflorescencias, es recomendable rasparlas de la superficie y llevarlas a un laboratorio de análisis químicos para determinar cuál es la composición. Es fundamental dialogar con los responsables y encargados de obra para saber el momento en el cual se ocasionaron las eflorescencias. Asimismo, es conveniente realizar la determinación de sales en materiales (agua, agregados y cemento) de la misma partida que los empleados en los hormigones que presentaron la patología para poder inferir o descartar alguna posible causante. Las eflorescencias más comunes son:

- Carbonatos: de calcio y alcalinos (potasio y sodio)
- Sulfatos: alcalinos (potasio y sodio), de magnesio, de calcio y de hierro
- Otros: bicarbonato de sodio o silicato de sodio

»



▲ **Figura 3** - Eflorescencias de sulfato de sodio producidas por exceso de álcalis del cemento

Cabe señalar que los compuestos de calcio, álcalis y sulfatos están presentes comúnmente en el cemento. Presencia de otras sales, como cloruros, indicarían seguramente agregados o agua contaminada.

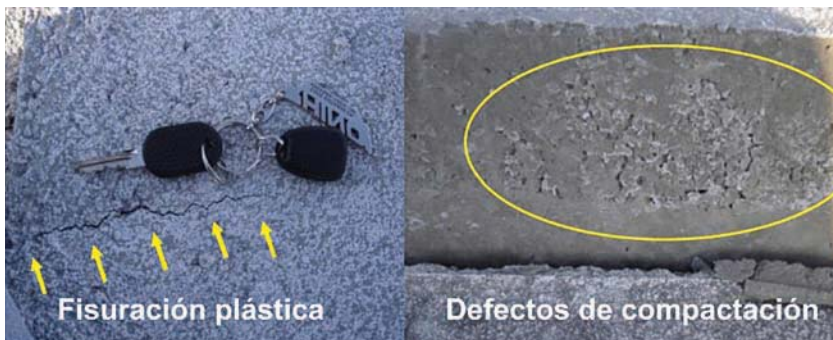
Respecto a las condiciones ambientales, existe mayor probabilidad de aparición de eflorescencias en las estaciones húmedas del año. Épocas secas, por lo general, no dan tiempo suficiente a la solución para llegar a la superficie, evaporando más rápidamente el agua que transporta las sales. El viento o corrientes de aire pueden generar diferenciales de presión que ayuden a ascender más rápidamente el agua con las sales disueltas y contribuir a la evaporación al llegar a la superficie. Elevadas temperaturas tienden a evaporar el agua rápidamente, mientras que temperaturas moderadas son más propicias para la aparición de eflorescencias. Al descender la temperatura se incrementa la solubilidad del $\text{Ca}(\text{OH})_2$, con lo cual se incrementa el riesgo de eflorescencias. Efectos derivados de grandes variaciones de temperatura, como la condensación bajo láminas plásticas, pueden favorecer la aparición de estas manchas blanquecinas.

¿Cuáles son las causas más habituales para la ocurrencia de eflorescencias?

- **Cemento:** la causa más frecuente en la aparición de eflorescencias alcalinas es un elevado contenido de sodio

y/o potasio del cemento; el sulfato incorporado como regulador de fragüe del cemento puede combinarse con estos álcalis y formar fases muy comunes de sulfato de sodio (figura 3), como la mirabilita (decahidratado) y la thenardita (anhidro). Para el caso de eflorescencias de carbonato de calcio (fase calcita), la fuente principal es el hidróxido de calcio producido en la hidratación normal del cemento (figura 4).

- **Sales contenidas en agregados:** contribuyen a las eflorescencias sólo si contienen sales solubles. Las arenas contaminadas con agua de mar pueden ser muy problemáticas, no sólo por el aspecto estético. Otras sales presentes en los agregados que pueden ser perjudiciales son los sulfatos y los álcalis.
- **Sales contenidas en el agua de mezclado:** pueden contribuir al contenido de álcalis, debiendo verificar principalmente contenido de calcio, magnesio, potasio y sodio. El agua potable de elevada dureza puede contribuir a las sales solubles y con ello a las eflorescencias. »



◀ **Figura 5** - Defectos típicos asociados a las eflorescencias



▲ **Figura 4** - Eflorescencias de carbonato de calcio que aparecieron el mismo día del colado

- **Contenido de agua muy elevado:** esto provocará una exudación excesiva y mayor disponibilidad de agua para la disolución de sales y su posterior arrastre a la superficie.
- **Relación agua / cemento elevada:** hormigones porosos tenderán a un ascenso capilar mucho más rápido y por ello facilita la aparición de eflorescencias el empleo de hormigones de baja resistencia.
- **Inadecuada o inexistente compactación del hormigón:** es una de las principales causas señaladas en la bibliografía. Al no consolidar el hormigón de manera adecuada, existirá una cantidad mucho más significativa de capilares por donde las sales puedan ascender más fácil y rápidamente a la superficie (figura 5). El empleo de hormigones con agregados de mala granulometría produce un efecto similar.
- **Protección y curado del hormigón:** no proteger el hormigón durante las primeras horas y permitir el contacto con aire seco incrementa el riesgo de eflorescencias (figura 5). Un curado húmedo con temperatura uniforme y una buena convección de aire brinda los mejores productos terminados. Durante los primeros días debe protegerse el hormigón de fuentes externas de agua, como lluvias.

¿Cómo remover las eflorescencias primarias del hormigón?

Con el paso del tiempo las eflorescencias se vuelven más tenues y menos extensas, a menos que se trate de alguna fuente externa de sales (eflorescencias secundarias). La mayor parte de las eflorescencias puede ser removida mediante ciclos de cepillado en seco (no con la superficie humedecida, ya que las vuelve a diluir) y enjuague posterior. En caso de que persista puede emplearse hidrolavado o un arenado ligero seguido de un lavado con agua abundante. En

Con el paso del tiempo las eflorescencias se vuelven más tenues y menos extensas, a menos que se trate de alguna fuente externa de sales (eflorescencias secundarias). La mayor parte de las eflorescencias puede ser removida mediante ciclos de cepillado en seco y enjuague posterior.

general, para eflorescencias de sulfatos alcalinos, que son las más habituales, con cepillado en seco y lavado posterior es suficiente. En casos extremos, y principalmente ante eflorescencias de carbonato de calcio, puede intentarse con ácidos diluidos, como los mencionados para decoloraciones, específicamente el ácido muriático al 5-10%, ácido fosfórico al 10% y ácido acético (vinagre) al 30-40 por ciento. Para hormigones coloreados o de mucha importancia estética los ácidos deben utilizarse más diluidos, al menos a la mitad de las proporciones antes indicadas, por lo que deberán ser aplicados varias veces. Hay que tener en cuenta que la superficie esté bien humedecida antes de recibir el tratamiento, acompañando siempre de un cepillado y lavado con agua de manera inmediata (máximo 10 minutos) para evitar que el ácido ataque la superficie del hormigón. «

Con los artículos anteriores realizados por el Ms. Ing. Maximiliano Segerer para Hormigonar, el presente artículo y el que saldrá publicado en el próximo número de la revista, se editará un Manual de Fisuración. El mismo se pondrá a la venta en nuestra Asociación para todos aquellos a quienes pueda interesarles el tema.

Los 'cuándo', 'por qué' y 'cómo' de los defectos en el hormigón: hormigón visto arquitectónico



▲ Panel (celda) de prueba en complejo penitenciario

En todo el mundo el hormigón arquitectónico se utiliza masivamente debido a sus cualidades estructurales, estéticas y económicas. Nuestro país no es ajeno a la tendencia, y cada vez pueden verse más obras de hormigón visto, eligiéndolo así no sólo por sus beneficios técnicos sino también por pautas arquitectónicas. Sin embargo, en varias obras no se aprecia un acabado de calidad, presentando una apariencia poco uniforme. Por ello se hace una invitación estratégica a trabajar en conjunto entre el constructor, el arquitecto y el proveedor de hormigón elaborado. El primer paso para mejorar el aspecto superficial del hormigón será comprender las patologías que pueden presentarse para analizar a continuación cuáles son sus soluciones prácticas a fin de tener muy buenos resultados en obra.

El hormigón, en este caso, no tiene sólo un objetivo estructural sino que es una expresión estética. Edificaciones, obras civiles,

monumentos y espacio público, consolidando la permanencia de un material de construcción que, como ningún otro, cuenta con innumerables propiedades de formas, texturas y colores. El ACI define al hormigón arquitectónico como aquél que “queda expuesto como superficie interior o exterior dentro de la estructura terminada, contribuye definitivamente a su carácter visual y está diseñado especialmente como figura en planos y especificaciones del proyecto”. Quizás el hormigón arquitectónico u hormigón visto de calidad es el más difícil de obtener, ya que deben tenerse en cuenta una cantidad muy importante de recaudos y además, de existir algún error, no admite prácticamente reparaciones. Todos los artículos referidos a fisuras y otros defectos del hormigón publicados en los números anteriores de *HORMIGONAR* son de aplicación indispensable para obtener hormigones vistos de calidad.

Si bien en el presente artículo no se hará mención a hormigones coloreados, las pautas de diseño y prácticas constructivas descritas más adelante pueden extrapolarse al caso de hormigones blancos o coloreados, teniendo que tomar recaudos adicionales para lograr que los hormigones posean las tonalidades definidas en el proyecto, haciendo hincapié no sólo en aditivos colorantes sino también en el control de calidad de los materiales. Asimismo, hoy en día existen una gran cantidad de terminaciones que pueden obtenerse, como placas adheridas a encofrados o el trabajo sobre el hormigón una vez desencofrado, para lograr, por ejemplo, el hormigón con agregados expuestos por hidrolavado o mediante ataques ácidos.

Causas más frecuentes de inconvenientes con el hormigón visto

Los inconvenientes con el hormigón visto suelen aparecer cuando no se tienen en cuenta uno o más de los siguientes puntos:

Ms. ingeniero Maximiliano Segerer
CONTROL Y DESARROLLO DE HORMIGONES
WWW.CDHORMIGONES.COM.AR

- Se requiere siempre pensar en el concepto de "repetitividad"
- No debe ser tratado como un hormigón más dentro de la obra
- Se requieren criterios particulares de diseño desde la concepción misma de la estructura
- Se requiere criterios y requisitos constructivos especiales
- Deben definirse los criterios de aceptación que no figuran en reglamentos
- Es indispensable la reunión previa al comienzo de la obra entre todas las partes involucradas
- Es necesario contar con mano de obra capacitada y asignada a diferentes tareas
- Es recomendable realizar ensayos y paneles de prueba y muestras previas
- La superficie vista dependerá de una gran cantidad de factores, entre los que se destacan el diseño, la calidad de materiales, las técnicas de puesta en obra, los encofrados y el curado
- Se requiere planificar la protección y el mantenimiento de las estructuras de hormigón visto

Requisitos a tener en cuenta en el diseño de la estructura

La esencia para obtener un buen hormigón arquitectónico está en la consistencia en todas las fases del proyecto. El mismo deberá ser concebido, diseñado, detallado y calculado desde puntos de vista arquitectónicos e ingenieriles, y estar especificado, construido y



Texturas y terminaciones adecuadas para hormigón visto.



Defectos de compactación y nidos de abeja



Falta de estanqueidad y fuga de lechada

supervisado como un trabajo de hormigón visto. Gracias a sus propiedades y variedades, el hormigón arquitectónico forma parte de las soluciones y expresiones contemporáneas más flexibles para la construcción de fachadas. Desde el proyecto mismo de una obra debe considerarse que se empleará

hormigón visto. En caso de poseer un diseño ya ejecutado y de que recién en ese momento se piense en trabajar con hormigón arquitectónico, muy probablemente no se obtengan los resultados deseados. A continuación se brindan algunas pautas de cómo desde el mismo diseño estructural y »

arquitectónico deben ser considerados aspectos particulares:

- Diseñar por durabilidad los hormigones expuestos en función del ambiente de exposición
- Diseñar las estructuras con hormigones categoría H-25 o H-30 evitando emplear hormigones de baja resistencia debido a que contendrán bajos contenidos de cemento y serán más permeables
- Eliminar superficies de hormigón muy extensas, uniformes e ininterrumpidas
- Emplear recubrimientos generosos en las estructuras, de al menos 30 mm, para evitar fisuración por asentamiento plástico, siendo recomendable 40 mm
- Evitar en zonas cercanas a hormigones vistos cuantías excesivas de armaduras
- Estudiar la modulación arquitectónica en función de los paneles de encofrados
- Minimizar la fisuración por contracción y por cargas desde el diseño limitando anchos a 0,2 mm
- Disminuir lo más posible las flechas en vigas y losas con valor de referencia admisible de luz / 400
- Distribuir y diseñar las juntas de contracción y/o dilatación en tabiques y otros elementos
- Planificación sistemática para integrar las juntas constructivas a los requisitos arquitectónicos
- El ancho y tipo de juntas debe ser determinado no sólo de las tensiones derivadas de cargas externas sino también de las originadas por deformaciones de



Formación de burbujas y rebabas con fuga de mortero



Fisuras por asentamiento plástico y juntas no previstas

fluencia, contracción y gradientes de temperatura

- En estructuras en contacto con el suelo o fundaciones garantizar que el agua no alterará la apariencia
- Diseño de encofrados para evitar deformaciones excesivas, tal como exigen los reglamentos

Defectos más comunes en hormigones arquitectónicos

Para unificar la denominación de los defectos en superficies de hormigón y con la finalidad de ser objetivos en la valoración de su calidad, se presenta la definición de algunos de los defectos más comunes:

- Nidos de abeja: exposición del agregado grueso y vacíos irregulares en la superficie cuando el mortero no logra cubrir el espacio alrededor

de los agregados. Muchos factores influyen en su formación, como ser escasez de mortero por ineficaz diseño de mezcla, elección no apropiada del tamaño máximo, consolidación inadecuada del hormigón (figura 1), especificación errónea de consistencia del hormigón, métodos de manipulación no satisfactorios, fuga de lechada por juntas no estancas (figura 3), etc.

- Variación de color: vetas de color presentes en la superficie del hormigón. Pueden presentarse debido a deficiencias en la mezcla o manifestarse en forma de manchas, humedad, óxidos (figura 5), eflorescencias u otras contaminaciones. En caso de encofrados de madera, son normales y aceptadas las variaciones de colores locales "copiando" las

CLASES DE DEFECTOS	TIPOS	TOLERANCIAS
Nidos de abeja	A-B-C-D	No son permitidos
Manchas de óxidos	A-B-C-D	No son permitidas
Variación de color	A-B-C	No apreciable a 5 metros
Fuga de lechada		
Líneas entre capas		
Líneas de acumulación de finos		
Decoloraciones y eflorescencias		
Irregularidades dejadas por tensores		
Transparencia del agregado	A	Superficie « 15 cm ²
Descascaramientos	B	Superficie « 20 cm ²
Medida sobre paneles testigo de 50 x 50 cm	C-D	Superficie « 25 cm ²
Burbujas (encofrados no absorbentes)	A	Superficie « 15 cm ² (0,6%)
Superficie de burbujas entre 2 y 15 mm medida sobre paneles testigo de 50 x 50 cm	B	Superficie « 22 cm ² (0,9%)
	C-D	Superficie « 30 cm ² (1,2%)
Lisura superficial	A	Requisitos especiales a definir
Deformaciones máximas en mm medidas entre X metros con regla y cuña	B	0,1 m - 3 mm; 1 m - 5 mm; 4 m - 10 mm; 10 m - 20 mm
	C-D	0,1 m - 5 mm; 1 m - 10 mm; 4 m - 15 mm; 10 m - 25 mm
Fisuras por asentamiento plástico	A-B-C-D	No recurrentes y no apreciables a 5 metros
	A-B-C	Exposición al aire seco: ancho « 0,4 mm
	A-B-C	Exposición al aire húmedo: ancho « 0,3 mm
Rebabas de mortero (d = proyección ; a = ancho)	A	a « 3 mm ; d « 5 mm
	B-C	a « 10 mm ; d « 5 mm
Desalineamiento (d = proyección)	D	a « 20 mm ; d « 10 mm
Defecto de modulación	A-B-C	No admisible
Juntas frías	A-B-C-D	No admisible

vetas de las maderas (figura 1), no así para encofrados metálicos o plásticos

seca que se desprende con la presión de las uñas, dejando a la vista el hueco previamente invisible

- Fuga de lechada: mancha blanquizca en forma de reguero de agua que se presenta en el hormigón por el exceso de agua en la lechada
- Transparencia del agregado: apariencia moteada en la superficie originada por las deficiencias en el mortero, donde el agregado se encuentra cubierto por una muy delgada película de lechada que permite verlo a través de ella
- Burbujas: pequeña cavidad o poro creado a partir de la acumulación de burbujas de aire y agua atrapadas entre el encofrado y el hormigón (figura 4). El diámetro en general oscila entre 5 y 15 mm. En algunas ocasiones estas burbujas están cubiertas por una delgada capa de pasta
- Líneas entre capas: líneas horizontales o inclinadas presentes en la superficie del hormigón que indican el límite entre diferentes tiempos de colocación en una misma llenada sin llegar a ser juntas frías
- Fisuras por asentamiento plástico: fisuras superficiales debidas generalmente al reflejo de las armaduras (figura 5), considerándolas como defecto aquéllas que por su tamaño afecten la apariencia o brinden un aspecto inseguro a la estructura (ver artículo HORMIGONAR)
- Rebabas: proyección delgada y lineal de hormigón que se presenta entre los espacios y uniones de los paneles de »

1. DEFECTOS ADMISIBLES EN HORMIGONES ARQUITECTÓNICOS SEGÚN EXIGENCIAS O TIPOS DE HORMIGÓN VISTO

- › Exigencias muy elevadas o especiales - tipo A: superficies destacadamente expuestas a la vista donde la apariencia es de importancia especial y tiene un elevado significado, a aplicar en elementos constructivos representativos y de tipo monumental.
- › Exigencias elevadas - tipo B: superficies cuya apariencia debe ser muy buena al estar concebidas para estar expuestas con elevadas exigencias, como, por ejemplo, fachadas de obras de arquitectura.
- › Exigencias normales - tipo C: superficies ordinarias con exigencias formales normales que, aunque estarán permanentemente expuestas, no justifican gastos especiales para su construcción, como cajas de escaleras, muros de sostenimiento, etc.
- › Exigencias escasas - tipo D: elementos que exigen requisitos mínimos de calidad superficial donde la apariencia no es objetable pero se trata de hormigones vistos, como muros de sótano, ambientes con uso predominantemente industrial, etc.

los encofrados cuando parte del mortero presente en la mezcla pasa a través de aquéllas (figura 4)

- Desalineamientos: cambio abrupto en la alineación o las dimensiones de los elementos de hormigón a causa del desplazamiento de encofrados o su mala disposición previa
- Descascaramientos: eliminación accidental de la superficie provocada por la adherencia del hormigón al encofrado, generalmente influenciada por falta puntual de desmoldante o por un número de reutilización considerable de encofrados. Asimismo, deben estar siempre limpios de restos de hormigón y ser removidos en tiempos adecuados y sin generar esfuerzos excesivos
- Líneas de acumulación de finos: vetado en la superficie del hormigón donde el agregado fino queda expuesto debido a la exudación extrema a través del encofrado o la absorción de agua
- Falta de lisura superficial: defectos puntuales o texturas no deseadas que pueden desvalorizar el elemento. Se determinan midiendo con reglas rígidas y cuñas los apartamientos de un plano para diferentes distancias o medidas de referencia
- Irregularidades dejadas por tensores: irregularidad en la zona alrededor de los tensores usados para unir los diferentes módulos de encofrados. Los defectos sobre estas áreas son los mismos ya definidos como burbujas y nidos de abeja pequeños, pero que se presentan en un lugar específico (figura 1)
- Defecto de modulación: se presenta cuando la distribución de los encofrados no sigue un patrón estándar, uniforme o previamente definido por el arquitecto
- Decoloraciones, manchas o eflorescencias: debidas a una multiplicidad de causas, incluida la diferente textura de encofrados, la mala aplicación del desencofrante o causas intrínsecas del hormigón (ver artículo HORMIGONAR)

- Juntas frías: defecto no aceptable ocasionado cuando se colocan en un mismo elemento hormigones en estado fresco sobre otros que ya han iniciado su fragüe inicial o están próximos al mismo (figura 5)

Crterios de aceptación propuestos y paneles de prueba

Para lograr un buen acabado del hormigón se deben emplear materiales, equipos, herramientas, mano de obra y procedimientos que permitan entregar una obra cuyos defectos se encuentren en los rangos de tolerancia establecidos. Para esto se debe tener un conocimiento profundo de las causas que originan estos defectos de forma que puedan enfocarse y reducirse a un mínimo.

El término de defecto denota un deterioro del hormigón visto en relación a su valor estético y su utilización arquitectónica. En función de un análisis de bibliografía especializada puede proponerse en la siguiente tabla, sirviendo ésta como guía para especificaciones, pudiendo ser más o menos estrictas en función de la obra, los siguientes defectos admisibles:

Para ampliar los conceptos vertidos y en casos de exigencias complementarias se recomienda la lectura de "Merkblatt Sichtbeton - Deutscher Beton-Verien (2004)". Las tolerancias son sólo una guía para establecer los requisitos necesarios en cada proyecto. Las exigencias pueden variar, incluso de un lugar a otro en la misma obra, dependiendo del tipo de superficie evaluada y de qué tan determinante sea el defecto.

Es altamente recomendable realizar paneles de prueba a escala real empleando procedimientos, equipamiento, materiales y técnicas constructivas previamente aprobadas, pudiendo además incluir la simulación de reparaciones (figura 6). Estos paneles se emplearán no sólo como prueba piloto sino principalmente para definir los parámetros de aceptación y los procesos de manejo del hormigón. Este panel de prueba debe permanecer en obra hasta la finalización de la misma para poder realizar comparaciones de calidad mediante índices a determinar. Es recomendable que las especificaciones sean redactadas con la ayuda de los paneles de prueba y que los defectos aceptables estén plasmados por escrito.◀

Los “cuándo, por qué y cómo” de los defectos en el hormigón: hormigón visto arquitectónico Segunda parte



▲ Figura 2. Consolidación mediante golpes de martillos de goma y madera

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

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

La supervisión de todas las actividades es de gran importancia para lograr los resultados deseados, debiendo emplear trabajadores capacitados con dedicación exclusiva a cada tarea. La variabilidad en el personal que ejecuta las actividades produce ineficiencias en el proceso, además de interrumpir la especialización de la mano de obra. Consecuentemente, es una buena práctica que el personal que ejecute las diferentes actividades siempre sea el mismo y que su rol en la obra le sea asignado desde el comienzo.

Además de la multiplicidad de tips a tener en cuenta, y que se brindan en el presente artículo, deben considerarse los

aspectos relacionados con el diseño de la estructura, ya enumerados en el número anterior de *Hormigonar*. Asimismo, deberán tenerse presentes todas las prácticas recomendables para evitar fisuras del hormigón fresco (contracción y asentamiento plástico), fisuras del hormigón endurecido (defectos superficiales, contracción por secado y térmica) y decoloraciones y eflorescencias.

El objetivo principal es minimizar los defectos a límites aceptables y plasmar el concepto de “repetitividad” en nuestras obras, que son dos parámetros clave para lograr un hormigón visto de calidad.

Especificación del hormigón elaborado

- Se recomienda el uso de hormigones de consistencia muy plástica y fluida, con asentamientos entre 13 y 18 cm,

logrados con aditivos superfluidificantes, los cuales son indispensables en estos casos

- No es recomendable superar 20 cm de asentamiento. Deberán medirse los asentamientos de los hormigones colados para evitar sobrepasar este valor, ya que 'el ojo' muchas veces puede fallar
- Emplear contenidos de cemento de como mínimo 330-350 kg/m³, ya que con contenidos menores a 300 kg/m³ hay mayor probabilidad de ocurrencia de defectos
- El tamaño máximo de agregado debe ser de 12 a 19 mm y siempre compatible con las disposiciones de las armaduras y geometría de los elementos, siendo, como máximo, del 50% de recubrimiento
- De ser posible, la situación ideal es emplear hormigones autocompactantes, que presentan notables ventajas competitivas en este aspecto
- Evitar el exceso de aditivos, ya que pueden exudar con el agua y provocar decoloraciones
- Pueden solicitarse aditivos retardadores o reductores de agua incorporados en planta por la posibilidad de imprevistos o descargas lentas, principalmente en tiempo caluroso y para el caso de tabiques

Diseño del hormigón y calidad de materiales

- Las partidas de los diferentes componentes del hormigón (principalmente agregado fino y cemento) deben ser uniformes para evitar variabilidad en coloraciones
- Los agregados deben ser controlados periódicamente y haber demostrado que no manchan la superficie ni son susceptibles a la reacción álcali-agregado
- Evitar toda fuente de materiales y/o técnicas constructivas que puedan provocar decoloraciones o eflorescencias en las superficies
- Si la relación agua/cemento es muy elevada, el agua será más difícil de evacuar, apareciendo mayor cantidad de burbujas e incrementando el riesgo de fisuración por asentamiento plástico. Es recomendable emplear a/c menores a 0,55
- El contenido de arena no debe ser muy elevado, procurando componer granulometrías continuas
- Pueden tomarse muestras de cemento y agregados de diferentes partidas, principalmente los empleados en

paneles de prueba, para comparar posibles deficiencias en tonalidades

- No emplear mezclas excesivamente cohesivas para evitar la formación de burbujas (reducir contenido de finos y/o cemento)

Provisión y manipuleo del hormigón elaborado

- Una de las claves para el éxito es el compromiso del proveedor en el despacho continuo de hormigón
- Coordinar y controlar el transporte y despacho del hormigón elaborado asegurando su entrega y colocación continua
- Agilizar todos los medios en obra para una rápida colocación, evitando así juntas de hormigonado
- Chequear que todo esté listo, preparado y aprobado antes de recibir el hormigón. Eso ayudará a evitar imprevistos
- En caso de demoras superiores a una hora, aunque no haya iniciado el fragüe del hormigón y no exista problema estructural la junta puede quedar marcada y desvalorizar por completo el hormigón visto
- Los métodos de mezclado y transporte deben ser uniformes, verificando que los equipos de mezclado produzcan hormigones homogéneos en las diferentes coladas; tanto al inicio como al fin de la descarga
- Los medios de descarga y técnicas de puesta en obra deben ser tales para evitar juntas frías
- Se recomiendan vaciados de no mucho volumen en el día para evitar la aparición de juntas
- Las juntas constructivas serán las previstas en el diseño estructural y arquitectónico
- Colocar el hormigón en la posición definitiva sin segregación o pérdida de material
- No colar lechadas o restos de hormigón lavados de la batea de las bombas, debiendo verterlos siempre a un lado de la estructura. Al lograr el flujo de hormigón uniforme, recién comenzar la colocación

Armaduras

- El recubrimiento de las armaduras debe ser suficiente para evitar fisuras por asentamiento plástico o síntomas de corrosión, siendo indispensables recubrimientos de al menos 30 mm

“El objetivo principal es minimizar los defectos a límites aceptables y plasmar el concepto de ‘repetitividad’ en nuestras obras, que son dos parámetros clave para lograr un hormigón visto de calidad”

- Emplear separadores que no queden visibles al desencofrar los elementos, como los plásticos. Por el contrario, no resulta recomendable el empleo de separadores metálicos o de madera
- Emplear en cantidad suficiente separadores para asegurar la posición de las armaduras durante la colocación y compactación del hormigón
- Las armaduras deben estar libres de óxidos, ya que pueden marcar las superficies de los encofrados y ésta quedará plasmada en el hormigón visto
- Rociar en forma de niebla (con hidrolavadora, por ejemplo) las armaduras en caso de clima caluroso para evitar la pérdida de agua en las cercanías de las armaduras
- Es recomendable que las barras no posean salpicaduras de hormigón o mortero de otras llenadas, debiendo limpiarlas antes del encofrado de esos elementos para otras etapas de llenado

Agentes desmoldantes

- Utilizar desmoldantes comerciales recomendados y reconocidos o, en su defecto, aceites no solubles en agua (con experiencia previa), no debiendo emplear gasoil o aceites solubles en agua
- Los aceites o emulsiones solubles en agua tienden a no manifestar buenos resultados (figura 1), además de promover la aparición de óxidos superficiales
- Respecto a los desmoldantes como gasoil o aceites o lubricantes de maquinarias, además de los problemas ambientales de su utilización tienden a encapsular aire entre el tabique y el moldeo causando vacíos y burbujas. Las decoloraciones y manchas también son problemas frecuentes
- Evitar el exceso del producto desencofrante sobre las superficies de los encofrados garantizando la dosis

recomendada por el fabricante ya sea para paneles de madera o metálicos

- La aplicación de estos productos se deberá repetir tantas veces como sea necesario antes de utilizar el encofrado y hasta notar que la capacidad de absorción de las maderas ha sido saturada
- Es recomendable aplicar los desmoldantes con aspersión fina a mano y no con rodillos o con otro método que garantice la homogeneidad del mismo sin que queden acumulaciones excesivas (figura 3)
- Cubrir los elementos si se espera mucho tiempo entre el encofrado y el hormigonado, ya que puede evaporarse o volatilizarse algún compuesto del agente desmoldante

Encofrados

- Controlar el ajuste y nivelación entre los paneles durante el proceso de colocación, garantizando un buen diseño estructural de los encofrados
- La absorción de agua por parte del encofrado debe ser minimizada y uniforme, así como también el curado de superficies, ya que las variaciones de humedad incrementan variaciones de color (figura 4)
- Los encofrados de madera o machihembrados deben ser de la misma partida, con espesores y características análogos, para uniformar la absorción de agua
- Garantizar la limpieza de los encofrados, debiendo realizarla inmediatamente después de cada uso. Se deben colocar en horizontal, limpiar los residuos con espátula delgada, dar lijado suave para mantener la lisura del encofrado y volver a aplicar desmoldante, incluso antes de guardarlos. No deben emplearse herramientas de limpieza que dañen la superficie o la textura de los encofrados (figura 5)



Figura 3 - Mala aplicación del desmoldante



Figura 1 - Encofrados incompatibles con hormigón visto

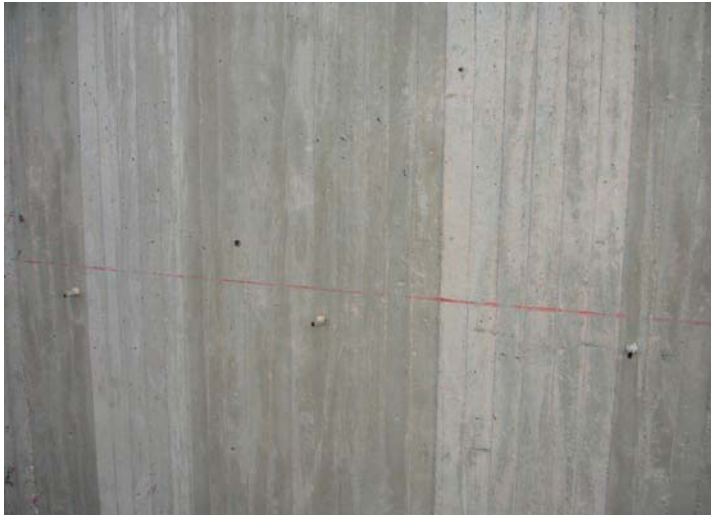


Figura 4 - Cambio de tonalidades por absorción diferencial de machimbre, sin defectos en clavos



Figura 5 - Copia de defectos del encofrado en la superficie del hormigón



Figura 6 - Defectos puntuales de superficies vistas

- Es recomendable establecer procedimientos escritos y listas de chequeo para todas estas tareas
- Se recomienda el almacenamiento en forma vertical para ganar espacio, tener menor riesgo de daños y permitir la circulación de aire para mantener constante la humedad, no debiendo exponerlos al sol o al agua directamente en ningún caso
- Asegurar la estanqueidad de encofrados para evitar fugas de lechada, principalmente entre paneles y en la parte inferior de los tabiques, ya que estas fugas pueden 'arruinar' los tabiques de hormigón visto de pisos inferiores, debiendo aplicar sellos especiales
- Tomar las medidas apropiadas en juntas horizontales y verticales del encofrado para sellarlas utilizando cintas u otro material estanco
- Ejecutar puntos de anclaje correctamente a fin de evitar la pérdida de agua de la mezcla por los mismos
- Lograr uniformidad en los encofrados y aplicación de desmoldantes, y evitar la mezcla de encofrados nuevos y usados en una misma hormigonada limitando sus usos
- De ser factible, emplear encofrados especiales para hormigón visto
- Los encofrados no deberán presentar deformaciones fuera de las tolerancias admisibles y los mismos tendrán los elementos de sostén y seguridad necesarios para no deformarse o desalinearse
- Deberán soportar las presiones ejercidas durante las tareas de colocación y compactación, incluso en caso de alturas de caída considerables al emplear equipos de bombeo
- No es recomendable emplear encofrados de aluminio, ya que estos pueden reaccionar con los álcalis, pudiendo decolorar y aparecer numerosas burbujas en superficie
- Antes del colado emplear compresores de aire o aspiradoras industriales en el área de colado como en los encofrados para »

limpiarlas bien y eliminar elementos extraños, como escombros, hojas, etc.

- No deben existir diferencias de temperatura de más de 10 ° C entre el hormigón fresco y los encofrados
- Para el caso de juntas en elementos verticales, las mismas deberán ser materializadas mediante insertos especiales o un cuidadoso aserrado. Las mismas deberán ser selladas con materiales que no afecten la estética de la estructura y que hayan sido considerados en la arquitectura del proyecto

Consolidación del hormigón

- Utilizar vibradores de inmersión el menor tiempo posible, consolidando el hormigón fluido y sin que aquéllos provoquen segregación, prestando especial atención en bordes, esquinas, marcos de ventanas, elementos embebidos como bocas o instalaciones eléctricas, etc.
- Siempre debe ser complementado con golpes con martillos de goma o madera sobre toda la superficie del encofrado de manera pareja y con uniformidad, comenzando desde capas inferiores a superiores como complemento del vibrador de inmersión
- Si es posible, emplear vibradores de encofrado o de superficie; pero deberá estudiarse el tiempo óptimo de vibrado para evitar acumulación de finos en zonas cercanas al vibrador
- El exceso de vibrado puede producir heterogeneidad en la apariencia al desencofrar debido a la acumulación de pasta en superficie y puede producir manchas
- No afirmar el vibrador al acero de refuerzo ni a los encofrados, ya que los finos se irán al frente y posteriormente demerita el acabado final
- Se debe introducir el vibrador rápido y sacarlo despacio de manera siempre vertical, no dejando áreas sin consolidar
- Colar el hormigón en capas que no superen los 70-90 cm para tabiques, vibrándolo hasta lograr su densidad máxima. El vibrador debe estar alejado al menos 5 cm de las caras vistas
- Revibrar la parte superior de cada capa de hormigón (15 cm) si existen demoras de más de 30 minutos, debiendo el vibrador penetrar bajo su propio peso, así como también la última capa de hormigón

Desencofrado y curado

- El tiempo de desencofrado dependerá de las condiciones ambientales, pero para tabiques no son recomendables períodos mayores a 48 horas, limitando a 24 horas para encofrados metálicos
- Se recomienda unificar el tiempo de retiro de encofrados para todo el hormigón arquitectónico debido a que el tiempo de contacto entre el hormigón y el encofrado puede incidir en el color
- El desencofrado deberá realizarse con mucho cuidado para no dañar superficialmente el hormigón
- Evitar gradientes de temperatura durante las primeras edades, principalmente bruscas caídas durante las primeras horas o durante el desencofrado, no debiendo superar en ningún caso 20° C / 24 horas
- Debe prestarse atención al asoleamiento de diferentes caras de tabiques, ya que en combinación con la metodología de curado pueden afectar grandemente el color, debiendo lograr uniformar
- El método de curado que se emplee debe ser uniforme en toda la superficie y asegurar que no decolore el hormigón (como ciertas membranas de curado o incluso algunas láminas de polietileno)
- En caso de emplear membranas de curado en base acuosa es recomendable crear una niebla con agua en las cercanías del elemento antes de su aplicación
- El tiempo de curado, en lo posible, debe extenderse al doble de un hormigón convencional
- Es muy desfavorable curar, dejar de curar y volver a curar, ya que puede cambiar la tonalidad
- La temperatura del agua de curado no debe ser más de 10° C más baja que la temperatura superficial del hormigón
- En tiempo frío, evitar ambientes muy cargados de dióxido de carbono y que los medios de calefacción estén direccionados o muy próximos a las superficies encofradas
- Es recomendable lavar el hormigón con hidrolavadora de media a alta presión, agua caliente o vapor presurizado. No usar ácidos u otro tipo de abrasivos. Lo ideal es que este tratamiento se lleve a cabo al final de la obra, cuando no exista suciedad o polvo para no repetir estos trabajos. «

Seguimiento de fisuras

Antes de intervenir ciertas fisuras con patrones difícilmente identificables o fisuras estructurales, es imprescindible realizar un seguimiento de las mismas durante el mayor período posible, siendo recomendable 6 a 9 meses, para apreciar si se trata de fisuras activas o pasivas. Además, el seguimiento de fisuras probablemente brindará información precisa de cuál fue la causa de la fisuración y cuál es el motor principal de sus movimientos (ej.: cambios de temperatura). La diferencia entre una fisura activa y una pasiva (o durmiente) es muy importante. Una fisura activa puede abrir y cerrarse por temperatura, contracción, cargas u otras causas y/o aumentar su ancho progresivamente por fenómenos como la contracción por secado. Las fisuras durmientes no presentan estos movimientos y, en general, se forman en estado fresco del hormigón o por la acción de cargas permanentes que casi no fluctúan. También pueden existir fisuras por contracción por secado en ambientes de temperatura controlados, que después de un año ya no presenten movimientos o los mismos sean imperceptibles, pudiendo considerarlas pasivas.

De manera muy simplificada, si la fisura es durmiente o pasiva, puede ser reparada con un material rígido de relleno, como epoxi o lechadas de cemento modificadas con látex. Si la mejora es estética, puede adherirse alguna capa o recubrimiento superficial sin demasiadas precauciones, ya que no habrá reflejo posterior de fisuras. En cambio, las fisuras activas deben ser reparadas con selladores elásticos y flexibles u otros materiales específicos. Si fueran reparadas con materiales muy rígidos, una fisura paralela y en las cercanías volvería a abrirse, siempre y cuando el relleno sea más resistente que el hormigón de base. Para el caso de la restitución del aspecto estético, deben evaluarse y realizarse pruebas con pinturas elásticas o recubrimientos que admitan ciertos movimientos.

Es indispensable un estudio minucioso de las fisuras para poder repararlas de manera eficiente, que permita determinar su causa. Además, debe tenerse en cuenta que los requisitos no son iguales para todos los proyectos, entre los que se incluyen resistencia y durabilidad en todos los casos y puede ser valorado el aspecto estético y funcional (por ejemplo, impermeabilidad). De hecho, en caso de no haber “comprendido” la fisura y su patología asociada, lo más probable es que la reparación falle o que traiga más daños asociados a la estructura, tal como se

presentan algunos ejemplos en la figura 1. En casos extremos, una reparación mal efectuada puede llevar a la demolición del elemento

A continuación se describirán sucintamente diferentes métodos para el seguimiento de fisuras, valorando las ventajas y precisión de los mismos, así como también sus debilidades. La diferencia entre un seguimiento cualitativo y uno cuantitativo es principalmente que en el primer caso sirven para saber si la fisura es activa o no, si presenta movimientos o no, no pudiendo valorarlos o medirlos de forma precisa. En el caso del seguimiento cuantitativo, se obtienen los valores de cuánto se mueven las fisuras y midiendo otros parámetros (cargas o temperaturas) puede relacionarse la causa de su movimiento y su proporcionalidad a aquélla.

En todos los casos es muy relevante identificar de forma indeleble sobre la estructura y registrar en un plano de la misma la ubicación de las fisuras, codificándolos de manera inequívoca para evitar errores, acompañado siempre de fotografías digitales.

Medición de ancho de fisuras

Son muy difundidos los comparadores especiales para medir el ancho de fisuras (“fisurómetros”), mostrando en la figura 2 algunos ejemplos. Con este tipo de comparadores no es posible realizar el seguimiento de fisuras, pero sí son muy útiles para el relevamiento inicial de anchos de fisuras en diferentes partes de la estructura, lo cual es una tarea preliminar indispensable antes de elegir qué lugares son los apropiados para el seguimiento de fisuras.

Seguimiento cualitativo con testigos de yeso

Es probablemente la metodología más conocida y empleada, de la cual muchas veces no se obtienen los resultados deseados. Es muy sencillo y consiste en aplicar una pasta de yeso y agua (que presenta baja contracción y fragüe rápido) “tapando” la fisura en un tramo de 5 a 10 cm aproximadamente. Debido a la baja resistencia de tracción de la pasta de yeso y su débil espesor, si la fisura se abre, claramente se marcará en el testigo de yeso. Cuantificar y medir esta apertura no es precisa

en absoluto y muchas veces la pasta de yeso puede reflejar la fisura y su interpretación del movimiento es bastante dudosa. Para fisuras de rutina y de fácil diagnóstico, puede aplicarse el método de testigos de yeso, pero no para casos de mayor importancia. Además, si se tienen fisuras con movimientos por temperatura y se hace el seguimiento todos los días al mismo horario, error bastante frecuente, quizás no puedan apreciarse los movimientos de las fisuras. En la figura 3 se muestra un seguimiento con testigos de yeso.

Seguimiento cualitativo con testigos de vidrio

Esta metodología sirve exclusivamente para saber si una fisura es activa o pasiva, pero no para cuantificar movimientos u obtener alguna idea de la causa de las fisuras y su movimiento. Es un método muy expeditivo y que sirve para fisuras de poca relevancia o para comenzar un diagnóstico y determinar si son fisuras pasivas o activas. En algunos casos, cuando se dispone de tiempo, en lugar de instalar testigos cuantitativos para seguir fisuras, que probablemente sean pasivas, es más fácil instalar varios testigos de vidrio. Si es el caso de fisuras pasivas, los testigos de vidrio tendrán un buen resultado, ya que no se romperán y evitarán una serie de mediciones que llevan tiempo y recursos, así como también registros asociados.

El testigo de vidrio es una placa de 4 a 5 mm de espesor y de largo y ancho variable (por ejemplo 2 x 6 cm), la cual se aplica con un adhesivo tipo cianocrilato rígido ("la gotita") a una superficie previamente limpia. Se coloca el adhesivo en la placa de vidrio y en un lugar que esté nivelado se aplica con fuerza durante unos 10 a 20 segundos para que pegue en el sustrato, funcionando para hormigón sin revestimiento o pintado. El seguimiento en este caso no es exhaustivo y pueden realizarse relevamientos una vez por semana, por ejemplo, y si el testigo de vidrio no se rompe (verificar que no se haya despegado) la fisura es pasiva y no es necesario realizar seguimiento de movimiento de fisuras. El vidrio es un material frágil, que si bien posee cierta resistencia a la tracción no acepta casi deformaciones hasta llevarlo a la rotura; de allí que es un elemento versátil y económico para este tipo de seguimientos. Un error común es pegarlo con adhesivos elastoméricos o de contacto, los cuales claramente absorberán los movimientos de las fisuras y no se obtendrá el resultado esperado.

Como precaución, debe tenerse en cuenta que en ciertas obras estos testigos de vidrio llaman la atención de las personas y pueden llegar a romperlos, caso en el cual se pierde el objetivo del estudio. Deben colocarse en lugares no accesibles para obras que sean recorridas por transeúntes o en cualquier lugar si son estructuras en las cuales con garantía no van a romperse voluntariamente. En la figura 4 se muestra la instalación y tipo de testigos de vidrio para fisuras en losas y tabiques.

Seguimiento cuantitativo con comparadores especiales

Comercialmente existen varios tipos de comparadores de fisuras, que consisten en dos placas plásticas transparentes y una de cada de ellas se adhiere o atornilla a la estructura, siendo preferible la primera alternativa, ya que al atornillarla puede existir cierto "juego" entre el tornillo y el comparador que interfiera en la interpretación de resultados. Una de estas placas tiene una cruz perpendicular y la otra una grilla dividida en milímetros, de diferentes colores. Al iniciar el seguimiento se fijan ambas placas (una a cada lado de la fisura) y se hace coincidir la cruz con el "cero" en ambas direcciones de la »



Figura 1. Daños adicionales provocados por reparaciones no eficientes



➤ **Figura 2.** Medición de ancho de fisuras para relevamiento general

placa con la graduación milimetrada. En esta metodología, los comparadores deben comprarse en comercios especializados y para superficies algo irregulares o curvas pierden efectividad. En la figura 5 se muestra este tipo de comparadores.

De este modo, si existe una apertura o clausura o una rotación de la fisura, se apreciará claramente en el movimiento relativo de la “cruz” o “mira” de la placa posterior. Es una metodología muy empleada para fisuras por asentamientos diferenciales o aquellas fisuras que interesa el movimiento de las mismas en la escala de varios milímetros o centímetros. No presentan precisión cuando la medición de apertura/clausura de las fisuras es en la escala de un par de milímetros y menos aún para movimientos en la escala de décimas de milímetros.

Seguimiento cuantitativo con testigos insertos

Es una metodología no muy conocida pero con la cual puede obtenerse la mayor precisión, siendo muy sencilla y no necesitando medidores o comparadores específicos sino elementos corrientes. Consiste en realizar perforaciones con taladros convencionales de 8 mm y colocar un taco plástico dentro de ellas. Luego, con la ayuda de un atornillador automático, se colocan tornillos circulares y los mismos deben quedar sobresaliendo algunas décimas de milímetro. Esta regulación debe realizarse manualmente con un destornillador convencional, hasta apreciar que el calibre pie de rey apoya adecuadamente en ambos tornillos y reducir a un mínimo los errores en las mediciones futuras (figura 6). Su instalación es rápida y fácil y no se dañan. Se cuenta con experiencias de seguimiento de fisuras con alto tránsito de ómnibus y camiones en zonas urbanas, y los testigos han permanecido en su posición correctamente.

Los tornillos deben ser circulares y se instalan a distancias entre 80 a 140 mm, sin que exista una medida predeterminada. Una vez instalados, se realizan las mediciones con un calibre pie de rey digital, preferentemente calibrado, y se registra la lectura inicial acompañado de la temperatura, cargas actuantes u otras, dependiendo del tipo de estructura. Las mediciones son garantidas y no tiene casi influencia el operador, ya que se realizan de afuera a afuera en los tornillos, que al ser



➤ **Figura 3.** Testigos de yeso para seguimiento cualitativo

circulares permiten una única posición para medirlos; de todos modos, es preferible que sea el mismo operador quien realice las mediciones. Este valor inicial será el valor de referencia para apreciar la apertura o clausura de las fisuras ante otras condiciones de solicitaciones, bien sean físicas o mecánicas.

Trae resultados muy certeros y siempre deben registrarse la temperatura, humedad relativa y alguna otra sollicitación actuante, así como también día y horario de la medición. De este modo, no sólo se registra el movimiento de las fisuras sino también puede determinarse la proporcionalidad ante alguna sollicitación externa. En caso de que las fisuras sean pasivas, los movimientos serán inferiores a 0,1 mm, que es la precisión del método, por más que su resolución corriente sea 0,01 mm. Permite identificar movimientos de fisuras de 0,1 mm y varios centímetros con precisión de la décima de milímetro, que para estructuras de hormigón es la necesaria para casos de diagnóstico complejos. Siempre deben hacerse mediciones en un período de 6 a 9 meses y en diferentes condiciones de temperatura (hora del día y estación), pudiendo registrar también la humedad relativa y otros parámetros de interés.

En la figura 7 se muestra un ejemplo de cómo se grafican los valores y cómo se obtienen los movimientos máximos (apertura/clausura) de juntas y fisuras y cómo se determina el origen del movimiento. En esta obra se pudo no sólo diagnosticar y comprender el origen de las fisuras sino también proponer medidas para la intervención de la obra de referencia y sellado posterior de fisuras. Para este caso, el seguimiento se realizó durante 9 meses, abarcando en este período temperaturas máximas y mínimas de servicio.

Evaluación y necesidad de reparación de fisuras según bibliografía especializada

En la publicación *“Guidebook on non-destructive testing of concrete structures”* de la Agencia de Energía Atómica Internacional, figura una clasificación de tipos de fisuras para el relevamiento preliminar. Considera fisuras de severidad Tipo I a aquéllas menores a 0,2 mm y de severidad Tipo III a aquéllas superiores a 1,0 mm, siendo las fisuras Tipo II las de severidad media entre 0,2 y 1,0 mm. »



▲ Figura 5. Testigos comparadores para seguimiento cuantitativo de grandes movimientos



▲ Figura 4. Testigos de vidrio para seguimiento cualitativo

Sin embargo, la recomendación más empleada a nivel mundial en lo que concierne a categorización de fisuras es ACI 224.R "Control of Cracking in Concrete Structures". La mayor parte de las fuentes que pueden consultarse coinciden y avalan los criterios tomados por la recomendación americana, que son los que figuran en el Eurocódigo. En la tabla 1, extraída de la fuente mencionada y que pertenece al



Figura 6. Testigos insertos para seguimiento con precisión de fisuras

Guía para anchos de fisura razonables en condiciones de servicio para elementos de hormigón armado (losas, vigas, tabiques y columnas)		
Ambiente de exposición	Ancho de fisura	
	Pulgadas (")	Milímetros (mm)
Ambientes secos	0,016	0,41
Presencia de humedad, aire húmedo, contacto suelo	0,012	0,30
Expuesto a químicos descongelantes	0,007	0,18
Ciclos de mojado y secado, ambiente marino	0,006	0,15
Estructuras de contención	0,004	0,10

Tabla 1. Guía de ancho de fisuras para elementos estructurales de hormigón armado

Parámetros	Nivel de severidad		
	L - Bajo	M - Moderado	H - Alto
Ancho fisuras	< 3 mm	3 mm a 10-25 mm	> 10-25 mm
Desprendimientos	No significativo	< 50-75 mm	> 50-75 mm
Escalonamientos	No significativo	< 10-15 mm	> 10-15 mm
Otras	Fisuras bien selladas	Losa dividida	Losa dividida
Reparación	No hacer nada o sellar fisuras	Sellar fisuras	Sellar fisuras o reparación en todo el espesor

Tabla 2. Guía de ancho de fisuras y otros defectos para pavimentos de hormigón

apartado 4.4, se estudia el ancho de fisuras tolerable versus las condiciones de exposición de estructuras de hormigón armado. Se presenta una guía de cuáles pueden ser considerados anchos de fisuras razonables en la cara traccionada de elementos de hormigón armado.

Cabe destacar que la tabla 1 no es aplicable a pisos y pavimentos de hormigón, donde por su tipología y la no presencia de armaduras en general permiten anchos bastante superiores y para ello existen recomendaciones bibliográficas específicas. En la tabla 2 se muestra un envolvente resumen de la clasificación de anchos de fisuras y otros defectos aplicable directamente a pisos y pavimentos. La mencionada tabla toma en cuenta las siguientes publicaciones: Paver Concrete Surfaced Airfields Pavement Condition Index (Departamento de Defensa de USA), Deterioros de pavimentos rígidos (Luis Altamirano), Concrete Floors on Ground (Portland Cement Association) y Cálculo de deterioros de pavimentos rígidos (Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica).

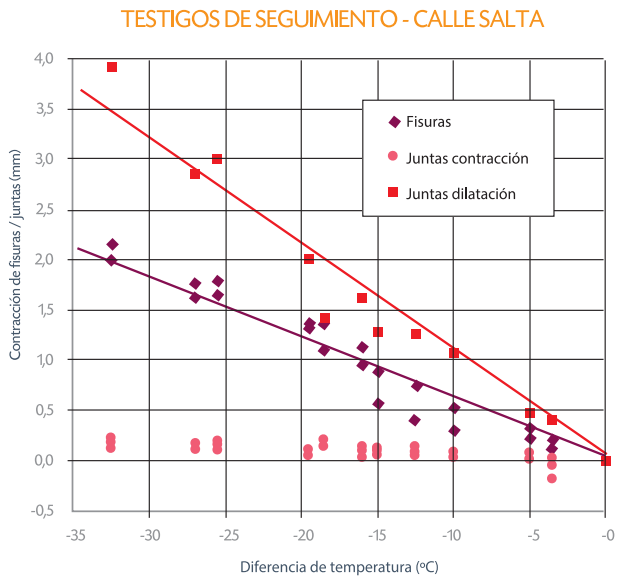


Figura 7. Ejemplo de evaluación de movimientos de fisuras

Reparación y sellado de Fisuras

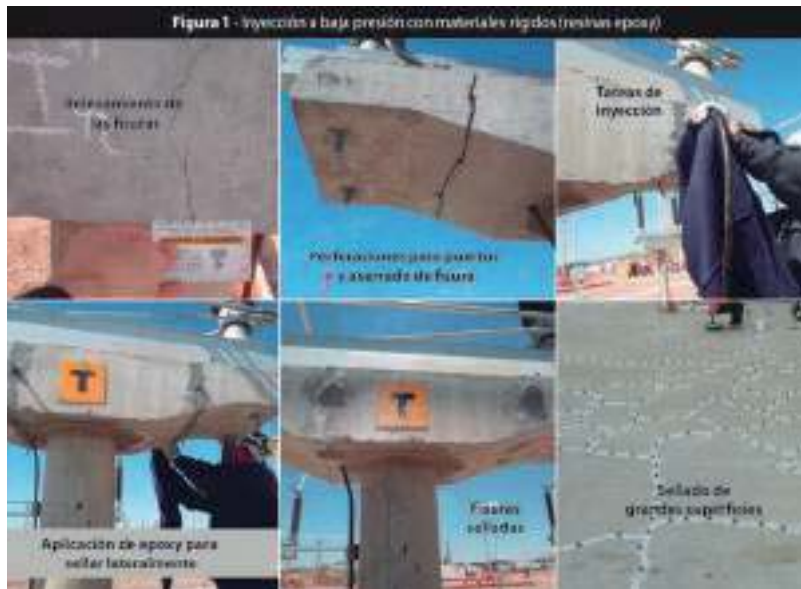
Ms. ING. MAXIMILIANO SEGERER

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

1. Introducción general

Más de la mitad de las reparaciones de estructuras de hormigón y sellado de fisuras suelen no ser efectivas, ya que se intenta utilizar "recetas" para cualquier aplicación. Se muestran algunos ejemplos de reparaciones fallidas en la Figura 1. Será pura coincidencia llegar a un óptimo resultado si no se conocen o estudian:

- Objetivo de la reparación de la fisura (estético, funcional, estructural, durabilidad, filtraciones, etc.)
- Patrones característicos y patología que causó origen de las fisuras o degradación del hormigón
- Seguimiento de fisuras en el tiempo para apreciar si son activas o pasivas y cuáles son sus movimientos
- Variación de ancho en profundidad y penetración de la fisura (mediante extracción de testigos)
- Estudio del momento oportuno y condiciones ambientales para la reparación
- La importancia de la preparación de superficies antes de la reparación



Estos aspectos, que han sido descritos en detalle en los demás artículos, deben considerarse de forma simultánea para poder reparar o sellar de manera adecuada una fisura y cumplir con la finalidad deseada a un costo razonable. Es más, en algunos casos ciertas fisuras en estructuras de hormigón no es necesario repararlas y por ello cualquier método invasivo puede ser contraproducente para el servicio de la estructura de hormigón. Un ejemplo de ello son las fisuras verticales en tabiques de hormigón simple como alcantarillas, que rara vez merecen una reparación ya que éstas no afectan ninguna propiedad de la estructura.

Para las fisuras o patologías dinámicas como fisuras por contracción por secado o levantamiento de esquinas por alabeo, debe determinarse de manera precisa la época y condiciones higrotérmicas para el sellado de éstas. Por ejemplo, en caso de sellar

fisuras por contracción por secado en verano (cuando más cerradas están) existe un riesgo elevado de despegue, mientras que si se desea realizar perforaciones y llenar con *grout* bajo losas alabeadas en la época más húmeda del año, posiblemente vuelvan a levantarse en la estación seca próxima.

2. Evaluación y necesidad de reparación de fisuras en elementos de hormigón armado

Las fisuras, cuando deben ser reparadas, persiguen uno o más de los siguientes objetivos:

- Restaurar o incrementar resistencia de elementos de hormigón o transmisión de esfuerzos
- Mejorar la funcionalidad de la estructura

»

- Proveer impermeabilidad y/o mejorar la durabilidad, incluyendo prevención de corrosión de armaduras
- Mejorar el aspecto estético de las estructuras

La recomendación más empleada a nivel mundial en lo que concierne a categorización de fisuras es ACI 224.R "Control of Cracking in Concrete Structures". Todas las fuentes consultadas coinciden y avalan los criterios tomados por la recomendación americana, que son los que figuran en el Eurocódigo.

En la Tabla 1 extraída de la fuente mencionada, y que pertenece al artículo 4.4, se estudia el ancho de fisuras tolerable versus las condiciones de exposición de estructuras de hormigón armado. Se presenta una guía general de cuáles pueden ser consideradas anchos de fisuras razonables en la cara traccionada de elementos de hormigón armado. Cabe destacar que la tabla mencionada no es aplicable en ciertas estructuras como pisos o pavimentos, sino en elementos estructurales de hormigón armado. Cuando se presentan fisuras de ancho igual o menor que los indicados, no es necesario intervenir las fisuras, ya que el ancho es compatible con la seguridad, durabilidad y serviciabilidad.

3. Técnicas más frecuentes de reparación de fisuras

3.1. Inyección con materiales rígidos (ej. resinas epoxi)

Mediante la inyección de resinas epoxi se pueden adherir los lados de fisuras de muy poca abertura, hasta 0,05 mm. La técnica consiste en establecer bocas de entrada y venteo a intervalos poco espaciados a lo largo de las fisuras, sellar la fisura en las superficies expuestas e inyectar la resina epoxi a presión (baja a elevada presión en función del perfil

Guía para anchos de fisura razonables en condiciones de servicio

Ambiente de exposición	Ancho de fisura	
	pulgadas (")	Milímetros (mm)
Ambientes secos	0,016	0,4
Presencia de humedad, aire húmedo, contacto suelo	0,012	0,3
Expuesto a químicos descongelantes	0,007	0,2
Ciclos de mojado y secado, ambiente marino	0,006	0,15
Estructuras de contención	0,004	0,10

Tabla 1 – Traducción de la Tabla 4.1 de ACI 224.R-01



de la fisura). Cabe destacar que hay que eliminar la causa que originó la fisuración; de no tener en cuenta este aspecto, es probable que vuelva a aparecer una fisura nueva paralela y cerca de la original, fundamentalmente si son fisuras activas. Por ejemplo, si se trata de un asentamiento por el terreno y éste sigue cediendo, no será una reparación efectiva. En cambio, si la causa del asentamiento del terreno fue solucionada, casi con seguridad será el método más efectivo.

Las resinas epoxi son rígidas y empleadas para el sellado efectivo de fisuras estructurales y de fisuras pasivas, es decir que no poseen

movimientos ni cambio de ancho de ésta o ellos son despreciables. Algunas fisuras por contracción por secado pueden sellarse, ya que a partir de los 9 meses los movimientos de las fisuras son muy pequeños en el caso que existan y trabajen las juntas. Sin embargo, si en un piso o pavimento todas las juntas han fallado (aserrado tardío, por ejemplo) no será una técnica efectiva.

Para fisuras plásticas y que no revisten relevancia estructural, si bien podría ser aplicable la técnica, existen otras metodologías más rápidas e igualmente efectivas, con lo cual la solución de reparación debe tener en cuenta un balance técnico-económico.

3.2. Inyección con materiales flexibles (ej. resinas poliuretánicas)

Para el caso de que a las fisuras no sea necesario darles continuidad, pero sí un sellado por temas funcionales (ej. fugas de agua), la mejor solución es la inyección de poliuretano. Si bien existen muchos materiales disponibles en el mercado, mono y bicomponente, básicamente consiste en sellar las fisuras con una espuma que toma instantáneamente cierta rigidez, pero permite movimientos entre las piezas, ya que tiene compresibilidad. Pueden repararse, incluso, fisuras en presencia de agua con estos compuestos.

Otro caso en el cual se aplica este tipo de materiales visco-elásticos es cuando se poseen fisuras que podrían alterar la durabilidad de la estructura de hormigón (ataques externos) o bien promover ingreso de CO₂ o cloruros que aceleren la pérdida de pasividad de armaduras, y con ello aumenta el riesgo de corrosión de éstas. Las técnicas de inyección son similares a las resinas epoxi y consiste en sellar la cara, dejando "plots" espaciados 20 a 40 cm que permitan el ingreso de la inyección. Aplicando agua o no en función del producto, comienza la inyección desde abajo de las fisuras hasta que salga visible el producto por la boca superior, tapando estas bocas o "plots" y continuando la inyección con la boca lateral o superior. Este tipo de inyecciones tiene la ventaja de que no modifica el comportamiento estructural. Su viscosidad es extremadamente baja, ingresando en fisuras de muy poco ancho, como también rellenan cavidades más grandes.

3.3. Perfilado y sellado de fisuras

El perfilado y sellado de fisuras se puede aplicar en condiciones que requieren una reparación inmediata y cuando no es necesario efectuar una reparación estructural o de transmisión de esfuerzos. Este



método consiste en "marcar" la fisura a lo largo en su cara expuesta mediante aserrado o similar y colocar un sellador adecuado, compatible con el uso posterior de la estructura. Ésta es una técnica habitual para el tratamiento de fisuras, y es relativamente sencilla en comparación con los procedimientos y capacitación requeridos para la inyección de resinas epoxi. El procedimiento se adapta mejor a superficies planas y horizontales tales como losas, pisos y pavimentos.

El perfilado y sellado se emplea para sellar fisuras finas o anchas con patrones irregulares o fisuras aisladas. En algunos casos, si las fisuras en pisos y pavimentos son paralelas a pasadores o muy próximas a juntas, quizás una reparación con un material elástico no es efectiva y es necesaria la remoción parcial del hormigón próximo a las fisuras. Los selladores pueden ser de diferentes materiales, incluyendo resinas epoxi, uretanos, siliconas, poliuretanos o morteros poliméricos. Se puede disponer un interruptor de adherencia en el fondo de la ranura para permitir que el sellado cambie de forma, sin concentrar tensiones en el fondo. El procedimiento

consiste en preparar en la superficie una ranura de profundidad variable, generalmente entre 6 y 25 mm, pudiendo emplear para ello un disco de corte convencional para hormigón. En general es aconsejable el aserrado vertical y no en "V", ya que se consumirá más sellador y el daño futuro puede ser incrementado. La técnica de sellado de fisuras con materiales elásticos, de polímeros sintéticos o con asfaltos modificados con polímeros es sumamente empleada cuando se tienen fisuras, bien sea en pavimentos o en tabiques, en los cuales el ingreso de incompresibles o de agua puede afectar la funcionalidad, estética o durabilidad futura del elemento estructural.

En algunos casos, es recomendable colocar sobre-bandas a cada lado para limitar los daños en las fisuras reparadas por el tránsito de vehículos. Para el caso de fisuras con posibilidad de movimientos se recomienda emplear selladores poliuretánicos. Existe en el mercado una gran variedad de selladores y dependerá de la finalidad de la obra; por ejemplo, que sean resistentes a combustibles o que posean certificado de inocuidad alimentaria. »

3.4. Costura de fisuras

Coser una fisura consiste en perforar orificios a ambos lados de la fisura, insertar unidades metálicas en forma de U de patas cortas como grampas y asegurarlas con mortero (cementíceo o tipo expoxidico). Se pueden utilizar costuras cuando es necesario restablecer resistencia a la tracción en fisuras importantes. Al coser una fisura, la estructura tiende a volverse más rígida y esta rigidez puede aumentar la restricción global de la estructura provocando fisuración en otras partes del hormigón, con lo cual debe estudiarse y dimensionarse para evitar efectos no deseados. Este tipo de procedimientos se emplea principalmente en fisuras estructurales, debido a que su finalidad es restablecer la transmisión de esfuerzos. Si bien es una técnica que demanda bastante mano de obra, es efectiva principalmente para elementos estructurales de espesores débiles, pudiendo reducir los movimientos de la fisura y transmitir esfuerzos entre ambas caras de las fisuras. En elementos de mayor sección o espesor, pueden realizarse para limitar los movimientos por contracción y temperatura fundamentalmente. Sin embargo, también pueden aplicarse en fisuras no

estructurales de fisuras contracción de muros o contrapisos, para evitar que se transmitan las fisuras a los recubrimientos o revestimientos aplicados en el hormigón.

3.5. Armaduras adicionales

Algunas vigas de hormigón fisuradas pueden ser reparadas exitosamente insertando barras de armaduras y asegurándolas con adhesivo epoxi. Esta técnica consiste en sellar la fisura, perforar orificios que intersecten el plano de fisuración aproximadamente a 90 grados, inyectar el adhesivo epoxi en el orificio y la fisura para llenarlos y colocar una barra de armadura en el orificio perforado. Este tipo de anclajes químicos y las barras necesarias deben ser calculados y dimensionados para una correcta transmisión de esfuerzos.

Para el caso de emplear productos químicos por gravedad, es preferible realizar las inclinaciones con cierto ángulo hacia abajo para permitir una mejor penetración del producto sellador. Es una técnica efectiva para elementos de hormigón armado y para refuerzos puntuales. En otros casos, mediante postensados de los elementos, puede limitarse el ancho de fisuras ya existentes.

3.6. Perforación y obturación

La perforación y obturación de una fisura consiste en perforar hacia abajo en toda la longitud de la fisura (o gran parte de ella) y llenarla con mortero de manera de formar una cuña o tapón. Esta técnica sólo es aplicable cuando las fisuras son de forma razonablemente recta y uno de sus extremos es accesible (generalmente la cara superior del elemento de hormigón que presenta un ancho mayor). La utilización más frecuente de este método es en la reparación de fisuras verticales en muros de contención. Se debe perforar un orificio (entre 50 y 75 mm), centrado sobre la fisura y siguiéndola.

El orificio debe ser lo suficientemente grande para intersecar la fisura en toda su longitud y proveer suficiente material de reparación para absorber estructuralmente las cargas ejercidas sobre el tapón. Luego el orificio se debe limpiar, impermeabilizar y llenar con mortero. El tapón de mortero impide el movimiento transversal de las secciones de hormigón adyacentes a la fisura. También reduce las fugas a través de ésta y la pérdida de suelo de la parte trasera de un muro con fugas. El producto a emplear dependerá de la finalidad de la reparación de la fisura.

3.7. Llenado por gravedad de fisuras

Se pueden usar monómeros y resinas de baja viscosidad para sellar fisuras con anchos superficiales de entre 0,03 a 20 mm, aplicándolos por el método de llenado por gravedad. Cuanto menor sea la viscosidad, más finas serán las fisuras que se pueden llenar. El procedimiento típico consiste en limpiar la superficie con chorro de aire y/o de agua, luego se vierte sobre la superficie el sellador y se esparce empleando »





cepillos, rodillos o escobas de goma. Debido a que el sellador o resina penetra en las fisuras lentamente, se debe trabajar el material sobre la fisura moviéndolo hacia delante y hacia atrás para lograr el máximo llenado. El exceso de material debe retirarse de la superficie utilizando una escoba para impedir zonas brillantes. Pueden aplicarse lechadas de cemento, compuestos poliméricos como látex, resinas, dependiendo del ancho de la fisura y el carácter de esta, es decir, si se trata de una fisura activa o una fisura pasiva. Se pueden extraer testigos del hormigón para evaluar la efectividad del llenado de las fisuras pudiendo medir la profundidad de penetración del sellador.

Es sumamente efectiva para fisuras plásticas, como fisuras por contracción o asentamiento plástico, en las cuales presentan un perfil de "V" y permiten un buen llenado en altura de éstas. Empleado para estas fisuras lechadas de cemento modificadas con látex, se logran buenos resultados y restitución de la estructura, salvo en el aspecto estético que en general resulta desmejorado y son necesarios otros tratamientos superficiales. Para las fisuras anchas se pueden reparar llenándolas con un mortero predosificados

tipo *grouts cementíceos* o epoxi, que presentan una gran fluidez y nula contracción o un elevado carácter expansivo.

En este caso de fisuras, si son en tabiques o muros, al igual que en el ejemplo anterior, si existe riesgo de fuga del material de sellado por los costados de la fisura, debe aplicarse una masilla o material que haga la suerte de encofrado. En grandes fisuras, puede ser recomendable dejar abierto este "encofrado" en la parte inferior para apreciar que el sellado penetra toda la profundidad y contar con herramientas y medios para realizar el sellado de las caras de la fisura cuando aflore el producto de reparación.

3.8. Impregnación con polímeros, recubrimientos y tratamientos superficiales

Para reparar algunas fisuras se pueden usar sistemas monoméricos. Un sistema monomérico es un líquido compuesto por monómeros que se polimerizarán formando un sólido bajo determinadas condiciones. Los sistemas monoméricos utilizados para impregnar contienen un catalizador o iniciador más el monómero básico. Por ejemplo, en algunos monómeros al calentarlos los

monómeros se unen entre sí, o polimerizan, creando un plástico tenaz, resistente y durable que mejora enormemente varias propiedades del hormigón en su superficie. Los monómeros adecuados poseen diversos grados de volatilidad, toxicidad e inflamabilidad, y no son aptos para ser mezclados con agua en general. Tienen muy baja viscosidad y penetran en el hormigón seco llenando las fisuras y otros defectos superficiales.

Las fisuras superficiales finas en losas y pavimentos, o bien las fisuras selladas, pueden repararse empleando una sobrecapa adherida o un tratamiento superficial cuando se tenga la certeza de que ya no sufrirán movimientos significativos. Las sobrecapas adheridas se pueden utilizar para cubrir una losa, pero no necesariamente para repararla; mejorando el aspecto estético y funcional de ésta.

En líneas generales, cualquiera de las técnicas antes descritas modifican en sentido negativo el aspecto de las superficies de hormigón. Por ello, si es importante la estética del elemento de hormigón, puede ser recomendable aplicar recubrimientos, pinturas o similares. Es de vital importancia una adecuada preparación de superficies con técnicas propuestas por el fabricante de los productos.

Existe una gran cantidad de productos para lograr esta finalidad y en general tiene base polimérica y de resinas de muy baja viscosidad que suelen poseer propiedades autonivelantes. Entre estos polímeros, se destacan los uretanos, epoxis, poliésteres y acrílicos, que pueden aplicarse con espesores de 1 a 50 mm en función del tratamiento escogido.

Pueden emplearse tratamientos superficiales de morteros modificados con polímeros, pero en este caso tener en cuenta que las fisuras sean pasivas y lograr una excelente preparación de superficies. «

¿Cómo reparar defectos de colado y similares?

◆ POR MS. ING. MAXIMILIANO SEGERER. / CONTROL Y DESARROLLO DE HORMIGONES. WWW.CDHORMIGONES.COM.AR

1. CAUSAS FRECUENTES DE DEFECTOS DE LLENADO

En algunos casos, los daños en estructuras de hormigón no se manifiestan como fisuras, sino como defectos de colado denominados comúnmente avisperos o nidos de abeja, los cuales básicamente suponen una segregación localizada del hormigón, separando la pasta cementícea del agregado grueso (figura 1).

En función de la importancia del elemento estructural, pueden existir diferentes severidades y consideraciones a tener en cuenta. Este tipo de defectos, indeseables en toda estructura de hormigón, son promovidos por:

- Diseño de elementos: refuerzos mal diseñados o muy congestionados, secciones esbeltas o complejas, insertos o elementos interiores que dificulten el ingreso del hormigón.

- Aspectos constructivos de encofrados y recubrimientos: fugas de lechada en las juntas entre paneles, fugas de mortero en la parte inferior de encofrados, armaduras muy próximas al encofrado (mala materialización de los mismos, es una de las causas más frecuentes), limpieza y aplicación de desmoldantes a los encofrados (para evitar que quede pegado el hormigón al mismo).

- Propiedades del hormigón fresco: contenido insuficiente de finos (mezclas poco cohesivas), baja trabajabilidad (asentamientos bajos), endurecimiento rápido y repentino, exceso de mezclado y partículas de agregado muy grandes y no compatibles con las dimensiones del elemento y disposiciones de armado (incluye espesor de recubrimiento).

- Manipuleo y colocación: alturas de caída muy elevadas, segregación en general

(por ejemplo, incorporación de agua no controlada al hormigón en obra), colado de hormigones segregados de la canasta de la bomba o inicios de descarga de camiones hormigoneros (lo cual debe procurarse descartar).

- Consolidación: Problemas del vibrador (tamaño, frecuencia, amplitud), inconvenientes de los operadores (tiempos muy cortos de inmersión, excesivos espaciamientos entre puntos de inserción, penetración inadecuada sin consolidar capas anteriores).

También puede deberse a la combinación de más de una de ellas, siendo difícil dirimir a veces las causas y responsables asociados. Una de las soluciones que atacan a la mayor parte de los inconvenientes es el empleo de hormigones autocompactantes (HAC) con lo cual se reducen notablemente los defectos, siempre y cuando se procuren medidas específicas sobre el encofrado. El empleo de HAC es sumamente beneficioso en estructuras críticas como hormigones visto y estructuras contención de fluidos.

Como consecuencia, puede afectarse la estética, la durabilidad (por ejemplo protección de armaduras), funcionales (por ejemplo impermeabilidad) y/o la seguridad estructural de la obra. En el presente artículo se describirán pautas generales para la reparación de los mismos, es decir, reponer el hormigón donde originalmente se había pensado y, por algún inconveniente de los citados anteriormente, quedaron oquedades y defectos. Estas alternativas que se brindan a continuación no deben ser confundidas con refuerzos estructurales.

2. MATERIALES A EMPLEAR

Para reparaciones de defectos de colocación es recomendable trabajar con

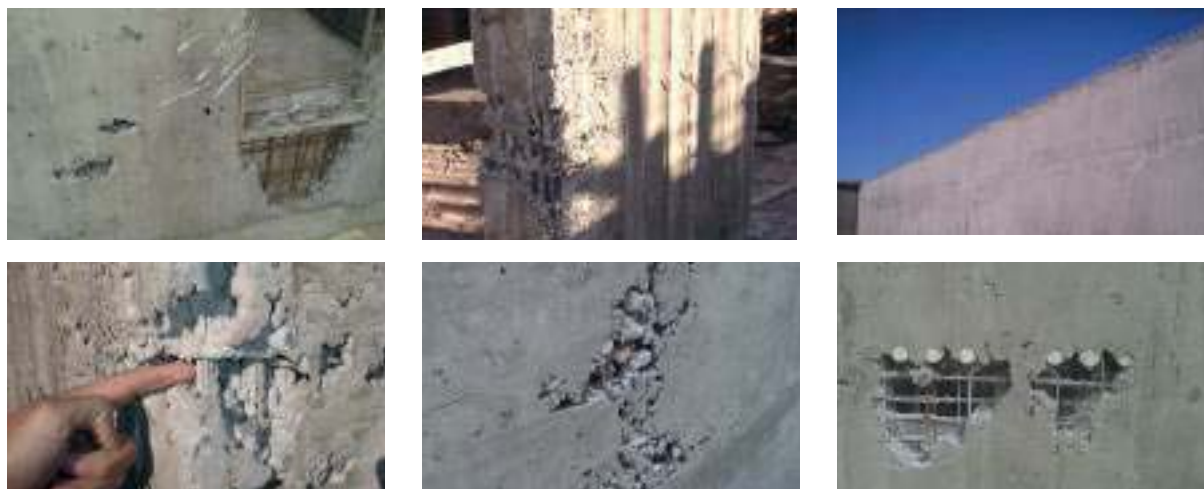
materiales cementíceos y no epoxídicos. Esto es debido a que los segundos presentan módulos de elasticidad y coeficientes de dilatación térmica muy distintos al hormigón, con lo cual pueden no ser eficaces para transmitir esfuerzos o los mismos tenderán a fisurar el hormigón en secciones aledañas. Dentro de los materiales cementíceos, pueden citarse:

- Para grandes reparaciones, hormigones con TMN de 12 a 25mm como máximo y en general deberá contener algún aditivo expansivo o compensador de retracción de eficacia probada. Elevadas dosis de aditivos expansivos pueden causar efectos no deseados como retraso de fragüe, caídas de resistencias o expansiones muy significativas, con lo cual debe salir la dosis de estudios previos. También puede lograrse mediante la técnica de agregado pre-colado y luego el llenado con grout cementíceo puro para completar los huecos entre las partículas del agregado grueso.

- Para superficies donde es difícil o costoso materializar el encofrado, es muy útil para reparaciones el empleo de hormigones proyectados por vía seca o húmeda con TMN del orden de 9mm. Estos hormigones tendrán diferentes aditivos como acelerantes o posiblemente empleo de fibras de distinto tipo.

- Para reparaciones pequeñas de menos de 5cm de profundidad, suelen utilizarse morteros con baja relación a/c y consistencia adecuada con la colocación, en los cuales puede evaluarse o no el empleo de aditivos expansores. Estos morteros pueden contener adiciones como microsílíce o polímeros (por ejemplo látex) si una adecuada durabilidad es requerida. Merecen un diseño específico en función de los requerimientos de la obra. Para profundidades de hasta 25mm pueden

➔ FIGURA 1 – DEFECTOS TÍPICOS DE LLENADO QUE MERECEEN REPARACIÓN



emplearse mezclas secas de una parte de cemento, 2 y 1/2 de arena seca y 1/2 parte de agua diluida en látex (1:1). Para profundidades de 25 a 50mm, puede emplearse una parte de cemento, 2 de arena y una de granza o binder de 9mm.

■ Para reparaciones donde la performance es relevante o es necesaria una habilitación muy temprana, suelen preferirse grouts cementíceos (morteros de reparación comerciales) los cuales mediante ensayos previos pueden emplearse puros o con cantidades de agregado que en volumen pueden alcanzar hasta un 45%, lo cual no sólo lleva a la economía sino a la estabilidad volumétrica. En estos casos, las mezclas ya son levemente expansivas (las primeras horas en estado fresco pueden tener expansiones controladas del 1% en estado puro).

Como regla general, en todos los casos, el material de reparación debe tener una resistencia a compresión mayor a la del

material a reparar. Si es muy relevante el módulo de elasticidad, deberán compatibilizarse o emplear mezclas con agregados similares a los del hormigón a reparar para hacer más eficiente la transmisión de cargas y comportamiento estructural. Además, tiene que ser más durable, lo que se traduce en la especificación con una relación a/c algo menor a la inicial del proyecto y eventualmente el empleo de materiales adicionales.

En caso de reparaciones de hormigón visto, pueden probarse y realizarse muestras con cemento convencional y diferentes proporciones de cemento Portland Blanco, ya que en general el material de reparación será más oscuro por llevar mayor cantidad de cemento en proporción.

3. DELIMITACIÓN DE DEFECTOS Y SEVERIDAD DE LOS MISMOS

En función de la finalidad de la obra, algunos defectos de llenado pueden ser

aceptables en algunos casos e inaceptables en otros. Con lo cual, deben identificarse criteriosamente aquellos que puedan afectar a la seguridad, durabilidad, funcionalidad y/o estética de las estructuras, si esta última es relevante. Antes de realizar cualquier reparación, es conveniente relevar los diferentes defectos y señalar o marcar cuáles deben ser reparados. Es importante también delimitar el área de la zona a reparar, que en general debe ser de 3 a 5cm más del perímetro del defecto a la vista y demarcado con líneas rectas con ángulos menores o iguales a 90° en lo posible formando polígonos, nunca con ángulos salientes. En caso de dos defectos muy próximos, conviene unificarlos (figura 2).

Para tener una reparación más duradera, en defectos tipo nidos de abeja, conviene marcar con aerosol o indeleble un perímetro como se mencionó anteriormente. Posteriormente, con una amoladora manual,

➔ FIGURA 2 – DELIMITACIÓN DE DEFECTOS



realizar una especie de polilínea o polígono con una profundidad que dependerá de la penetración del defecto y del espesor del elemento estructural, pero es recomendable que sea de al menos 1,5 a 2,5cm. En otros casos puede obviarse este marcado perimetral del defecto con amoladora pero, en muchos otros, si no se realiza termina fallando en los extremos la reparación realizada y promueve la falta de adherencia con el sustrato de hormigón.

4. REMOCIÓN DEL HORMIGÓN DEFECTUOSO O CON

➔ FIGURA 3 – DETERMINACIÓN DE PROFUNDIDAD DE DEFECTOS Y PREPARACIÓN DE SUPERFICIES



PROBABILIDADES DE FALLA

La acción de retirar parte o porción de hormigón debe realizarse cuidadosamente, más aún para defectos menores donde, por ejemplo, el uso de herramientas mecánicas pueden fisurar el hormigón adyacente y provocar un mayor defecto o deterioro al elemento de hormigón. Debe procederse a un picado manual o con rotomartillo pequeño hasta eliminar todo el hormigón flojo, en no menos de 2cm, lo cual puede detectarse luego golpeando con martillo para evidenciar más oquedades internas. La remoción también puede

hacerse con hidrolavado a elevada presión o para pavimentos y grandes superficies con otro tipo de herramientas específicas, como debastadoras.

Respecto a las armaduras, es recomendable que si están bien empotradas en el hormigón se dejen y si aparecen restos de hormigón sueltos, retirar al menos 1,5 a 2cm por detrás de las barras y luego proceder a la limpieza con cepillo de alambre de las mismas. En caso de requerir productos pasivadores específicos (problemas de corrosión de armaduras), pueden aplicarse. En caso de empalmes de barras por deterioro de las mismas, deben respetarse las indicaciones del calculista y longitudes de empalme, bien sea por soldadura, ataduras o manguitos especiales.

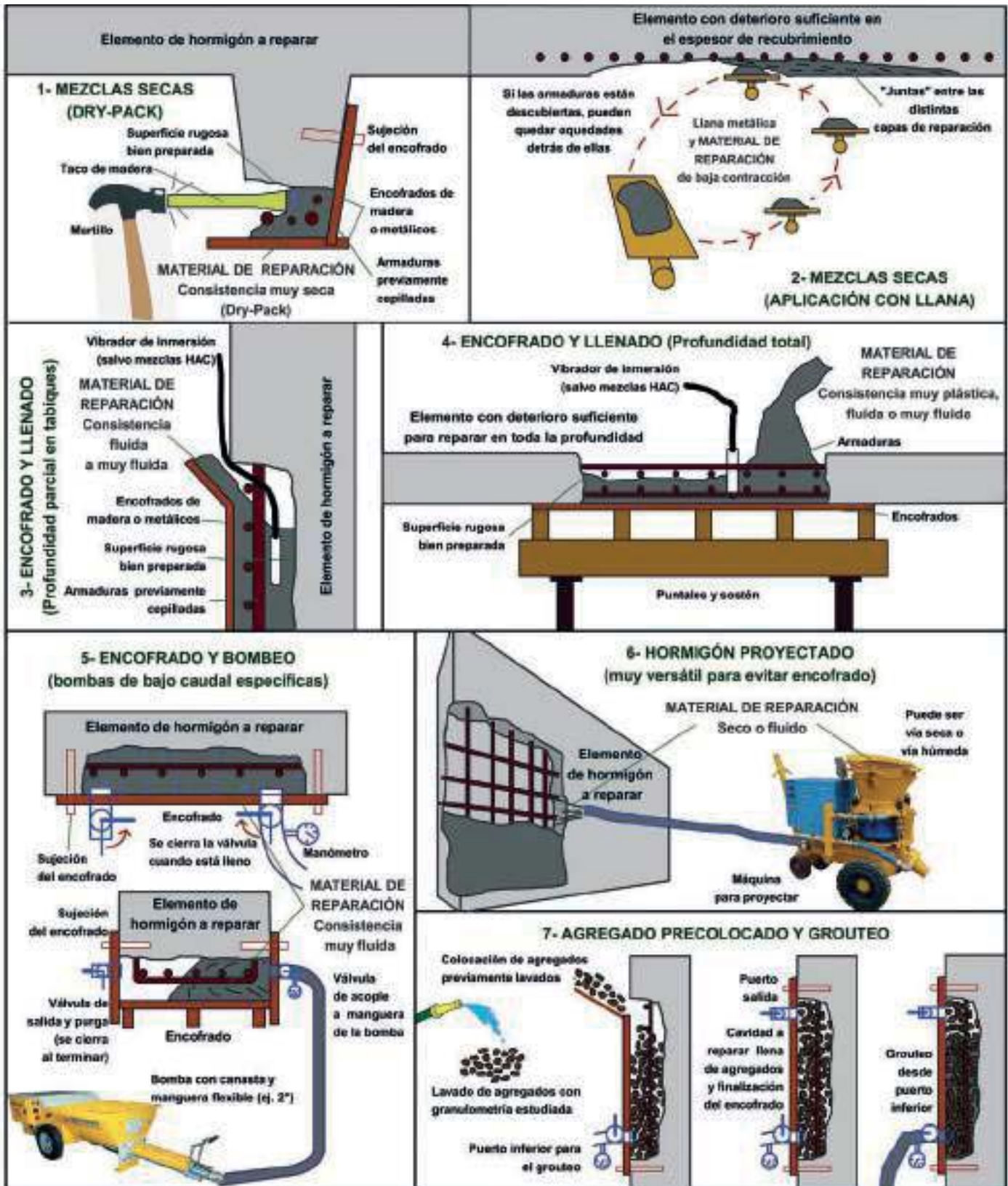
La extracción de testigos es muy útil para apreciar la profundidad del deterioro. En muchos casos, posiblemente la “piedra suelta” y defecto sea superficial, es decir, en el espesor de recubrimiento y la extracción de testigos es la única herramienta confiable para realizarlo (figura 3). Puede intentarse con un rotomartillo y mecha Ø32 y apreciar el perfil pero, para defectos profundos, pierde efectividad visual.

Después debe limpiarse la superficie de las armaduras y del hormigón sano. Esta etapa es crítica y puede realizarse con tareas de hidrolavado y aire comprimido. En caso de elementos estructurales con riesgo de falla, deberá apuntalarse el área a reparar para desarrollar las tareas de forma segura. Los denominados “puentes de adherencia” pueden o no ser necesarios, dependerá de la necesidad de transmitir esfuerzos. Antes de la reparación pueden aplicarse lechadas de látex y cemento o ciertos productos epoxis, siempre respondiendo a especificaciones del fabricante. En muchos casos es suficiente mojar la superficie o aplicar un mortero con arena fina. En ciertas reparaciones, como cuando hay que encofrar las estructuras, no es posible su aplicación. No es indispensable en todos los casos, con lo cual debe estudiarse su necesidad y posibilidad real de aplicación y eficiencia del mismo.

5. MÉTODOS DE COLOCACIÓN

Para los métodos más comunes de reparación (que se describen someramente en

➔ FIGURA 4 - ESQUEMAS DE TÉCNICAS DE COLOCACIÓN MÁS FRECUENTES.



este artículo), deben emplearse hormigones, morteros o grouts cementíceos bien dosificados en base a la extensión y requerimientos de la reparación enunciados. En la figura 4 se muestran esquemáticamente los principales procedimientos descritos (esta figura y procedimientos asociados han sido confeccionados tomando como base la publicación *Concrete Repair and Maintenance Illustrated* de Peter Emmons).

■ **Encofrado y llenado por gravedad (grandes espacios):** Para defectos extensos y con cierta accesibilidad para el colado, conviene encofrar las superficies (por ejemplo tabiques o losas en profundidad total) y se colocan mezclas plásticas vibradas o mezclas autocompactantes, siendo preferibles las segundas. Estos hormigones deben tener baja contracción y baja relación a/c o bien emplear grouts comerciales. En la figura 5 se muestran ejemplos de estas reparaciones, donde al desencofrar debe picarse y removerse la parte de 45° empleada para el llenado.

■ **Mezclas cementíceas secas (dry-pack):** Deben mezclar hasta lograr buena uniformidad (amasadoras de tipo vertical) y una consistencia que con la palma de la mano se note cohesiva y no segregable ni muy plástica. Se coloca manualmente y luego con un taco de madera o similar se va compactando con un martillo. Previamente debe asegurarse el encofrado y la limpieza de las armaduras. Es usado para reparaciones no demasiado extensas y en el fondo de vigas

o similares es un excelente método. Pueden emplearse mezclas preparadas en obra o grouts cementíceos con o sin agregado grueso de hasta 12mm.

■ **Encofrado y colado por gravedad por orificios:** Para refuerzos de losas o vigas puede realizarse un encofrado adecuado y con orificios de 5 a 10cm, a tresbolillo, pueden irse incorporando mezclas autocompactantes ya que no es posible la compactación (figura 6). Suele utilizarse para recrecimientos de secciones o defectos severos. Debe comenzarse el llenado desde los extremos al mismo tiempo y luego ir completando por los orificios centrales, hasta que aparezca la mezcla en superficie.

■ **Encofrado y bombeo a baja presión (bombas tipo “revocadoras”):** Se mezclan los materiales en hormigonera de obra o similar y luego se colocan en la canasta de bombas de baja presión con mangueras flexibles que generalmente tienen 2” de diámetro. Las mezclas deben ser autocompactantes, debido a que por el tipo de reparación no es posible la consolidación, más que algunos golpes con maza de madera o similar en el encofrado. Se emplea en zonas de refuerzos muy congestionados. Debe tener un puerto para acoplar la bomba y otro para liberar el aire y, cuando sale mortero, se cierra esa segunda válvula.

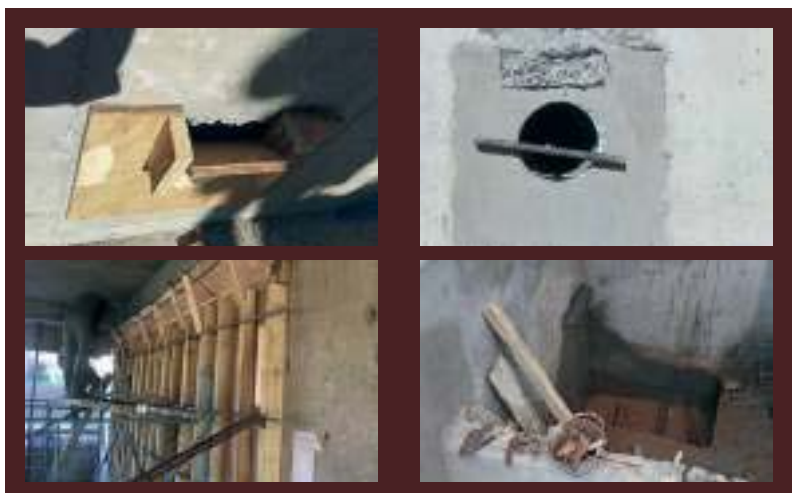
■ **Agregado pre-colocado (pre-placed aggregate) y grouteo:** Se coloca el agregado grueso (con piedras de pocos tamaños o

retenidas entre dos tamices consecutivos) con cierta granulometría que tenga un elevado porcentaje de vacíos (40 a 50%) y luego de encofrar se inyecta grout cementíceo puro para llenar los huecos entre los agregados. Al igual que en el caso anterior, es necesario tener dos puertos; el inferior, será por donde se inyecte el grout y el superior por donde se libere aire y se corrobore el llenado de la pieza. Es necesario encofrados muy estancos. Desde el punto de vista técnico es de las reparaciones más eficientes ya que tienen baja contracción y gran adherencia (grout cementíceo) con las superficies previamente tratadas.

■ **Hormigón proyectado (shotcrete):** Es quizás la técnica más efectiva ya que no se necesita encofrado pero es necesario equipamiento específico que puede ser vía seca o húmeda. Es aplicable a grandes superficies de losas (proyección en vertical) o en tabiques (proyección en horizontal). Con diferentes inclinaciones de la proyección puede lograrse un adecuado recubrimiento de armaduras en todo el perímetro, evitando el “efecto sombra”. El desafío principal es diseñar mezclas con bajo rebote y baja contracción por secado. Pueden emplearse aditivos acelerantes y expansivos y, al no tener encofrado, pueden aplicarse puentes de adherencia previo a su colocación si es necesario en el proyecto de la reparación.

■ **Aplicación a mano (llana o similar):** El material es mezclado hasta lograr una consistencia semi-seca. Las llanas y otras herramientas pueden utilizarse para reparar pequeños espesores, cuando no deben cubrir las armaduras en todo su perímetro. Puede emplearse en superficies horizontales o verticales. Es importante la preparación de la superficie. Puede ser necesario la aplicación de puentes de adherencia (figura 7). No suele ser una técnica efectiva para espesores superiores a 3cm.

➔ FIGURA 5 – ENCOFRADO Y LLENADO POR GRAVEDAD (GRANDES ESPESORES)



6. DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS

El reglamento CIRSOC 201:05 vigente establece en su capítulo 24.9 “Reparación de defectos de terminación superficial”,

➔ FIGURA 6 – PASES SUPERIORES Y LLENADO POR GRAVEDAD



diferentes lineamientos generales. Se especifica que -a juicio del Proyectista o del Director de Obras- si existen problemas de terminación que puedan afectar la resistencia, impermeabilidad, durabilidad o aspecto de la estructura, deben ser adecuadamente reparados para que las superficies reúnan condiciones apropiadas. Estas reparaciones deben realizarse inmediatamente después del desencofrado de las estructuras, debiendo quedar la zona reparada dentro de las 24 horas de iniciada la operación. Se establece que:

- El hormigón que por cualquier motivo resulta superficialmente defectuoso, será eliminado y reemplazado por otro hormigón o por un mortero de calidad adecuada.
- Todas las reparaciones serán efectuadas sin afectar en forma alguna la resistencia, durabilidad, condiciones de servicio, aspecto o seguridad de las estructuras.
- Los trabajos serán realizados únicamente por mano de obra especializada, competente y cuidadosa. Durante estas operaciones se mantendrá una supervisión

permanente.

- Las superficies reparadas tendrán las formas, dimensiones, alineaciones y pendientes que figuran en planos.
- En superficies expuestas a la vista, las zonas reparadas deben concordar con las que corresponden a las zonas contiguas, en lo que respecta a niveles, aspecto, color y textura.
- Los defectos que habitualmente se deben reparar son los siguientes:
- Defectos ocasionados por segregación del hormigón y deficiencias de mortero o mala compactación.

■ Cavidades dejadas por la remoción de los elementos de fijación colocados en los extremos de los pernos, bulones u otros elementos internos utilizados para amarrar y mantener a los encofrados en sus posiciones.

■ Agrietamientos o roturas producidas por la remoción de los encofrados y elementos de sostén.

■ Depresiones superficiales, rebabas, protuberancias o convexidades originadas por defectos de construcción de los encofrados, movimientos de los mismos o por otras causas.

Para finalizar -y sea cual fuere el método empleado- es recomendable un curado por no menos de siete días. «

➔ FIGURA 7 – PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y REPARACIÓN EN ESPESORES BAJOS (<3cm)

