

PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES



EDITADO POR EL INSTITUTO MEXICANO
DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO

Junio ■ 2007

Ilustraciones: Felipe Hernández

Agrietamiento

en el concreto endurecido

2ª PARTE



SECCIÓN
COLECCIONABLE

Agrietamiento en el concreto endurecido

Las grietas ocurren en el concreto endurecido por dos razones principales:

- cambios de volumen en el concreto; y
- reacciones químicas dentro del cuerpo del concreto que causan expansión y el agrietamiento subsecuente del concreto.

El movimiento volumétrico en el concreto no puede ser evitado. Ocurre siempre que el concreto gana o pierde humedad (contracción por secado) o siempre que cambia la temperatura (movimiento térmico). Si tales movimientos son excesivos, o si no se han tomado las medidas adecuadas para controlar sus efectos, el concreto se agrietará.

Las reacciones químicas dentro del cuerpo del concreto, que pueden hacer que se expanda y se agriete, incluyen la corrosión del refuerzo y el ataque de sulfatos, y la reacción álcali-agregado. A menos que se tenga el cuidado adecuado en la selección de los materiales y que se coloque, se compacte y se cure apropiadamente un concreto de buena calidad, estas reacciones no deben de ocurrir, excepto en condiciones de un medio ambiente extremos.

El 'agrietamiento menudo' describe las grietas muy finas que aparecen en la superficie del concreto después de que ha sido expuesto a la atmósfera por algún tiempo. Puede ocurrir tanto en superficies allanadas como en las moldeadas, pero es más notorio en estas últimas, particularmente cuando están húmedas. Ocurre cuando la superficie de concreto se expande y se contrae durante ciclos alternos de mojado y secado, o cuando sufre carbonatación y se contrae durante la larga exposición al aire.

El uso de mezclas ricas en cemento sobre la superficie de concreto, 'secadoras,' exacerba el problema, como lo hace también el trabajo excesivo (trayendo el exceso de mortero a la superficie) o cuando se trata de llevar el agua de sangrado a la superficie por medio del allanado.

En superficies moldeadas, el agrietamiento menudo tiende a ocurrir sobre las

caras lisas coladas contra materiales de cimbras de baja permeabilidad.

Generalmente se acepta que el agrietamiento menudo es un problema cosmético. Hay mucha evidencia anecdótica de losas de pisos industriales que exhiben agrietamiento superficial, que han estado en servicio por muchos años sin deterioro. Puede ocurrir el remedio autógeno de las grietas finas, y aunque se hayan 'curado' las grietas todavía son visibles.

Prevención del agrietamiento menudo

Para evitar el agrietamiento menudo sobre superficies allanadas:

- evite mezclas muy húmedas;
- no utilice 'secadores';
- no trabaje excesivamente el concreto;
- no intente dar acabado mientras haya presencia de agua de sangrado;
- no allane con acero hasta que el brillo del agua haya desaparecido;
- comience un curado continuo de inmediato; y no someta la superficie a ciclos de mojado y secado.

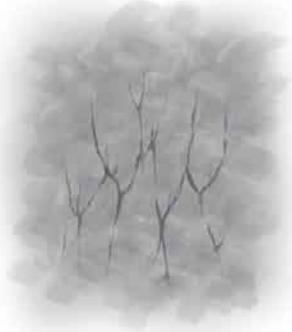
En superficies moldeadas, deben evitarse las mezclas muy húmedas y demasiado ricas, y el curado debe ser continuo. El concreto no debe ser sometido a ciclos de mojado y secado.

Grietas por contracción por secado

El concreto endurecido se contrae, es decir, se reduce en volumen a medida que pierde humedad debido a:

- la hidratación del cemento;
- la evaporación.

La contracción causada por la pérdida de humedad no es un problema si el concreto está completamente





libre para moverse. Sin embargo, si está restringido de alguna manera, entonces se desarrollará un esfuerzo de tensión. Si ese esfuerzo excede la capacidad del concreto para soportarlo, el concreto se agrietará.

Diversos factores influyen en la contracción del concreto, en particular el contenido total de agua. Otras incluyen:

- el contenido, tamaño, y las propiedades físicas del agregado;
- la humedad relativa;
- los aditivos, especialmente aquellos que contienen cloruro de calcio; y
- las condiciones de curado.



El contenido de cemento del concreto influye en la contracción por secado casi únicamente en la medida en que influye en la cantidad de agua usada en la mezcla.

A fin de reducir la contracción total del concreto:

- el contenido de agua debe ser minimizado (consistente con el requisito para la colocación y el acabado);
- la cantidad del material fino debe ser minimizado;
- debe usarse el contenido más alto de agregado;
- debe usarse el tamaño máximo posible del agregado; y
- deben de adoptarse buenas prácticas de curado.

El reducir simplemente la contracción del concreto no necesariamente reduce el agrietamiento, ya que esto es también influenciado por la restricción, el detallado, la simetría, la práctica de construcción, etc.

Para evitar el agrietamiento debido a la contracción por secado

La prevención del agrietamiento no controlado, debido a la contracción por secado, empieza con el diseñador. Es esencial el diseño y el detallado apropiados. Específicamente, debe prestarse atención a lo siguiente:

- La provisión y localización de refuerzo adecuado para distribuir el esfuerzo de tensión causado por la contracción por secado. Esto es particularmente importante en pisos, losas sobre terreno y aplicaciones similares en donde el refuerzo puede no ser requerido por razones estructurales o de soporte de carga.
- La provisión, localización y el detallado de las juntas para aislar las restricciones y permitir el movimiento entre partes discretas de la construcción.



La práctica de construcción también es importante porque debe:

- asegurar que el concreto sea apropiadamente colocado, compactado, y curado, a fin de minimizar la magnitud de la contracción por secado.
- asegurar que los detalles del diseñador sean puestos correctamente en su lugar; y
- asegurar la remoción de la restricción por la cimbra.

Grietas por movimiento térmico

El agrietamiento térmico es atribuible al calor generado durante el proceso de hidratación del cemento. El tema es complejo, y por lo tanto, veremos únicamente:

- El desarrollo de alguna comprensión inicial de los problemas.

- La determinación sobre cuándo los diseñadores y los constructores deben pensar cuidadosamente acerca de este tema.
- Los tipos de grietas que pueden formarse.
- Las estrategias de diseño y construcción para remover o reducir la incidencia de este tipo de agrietamiento.

Calor de hidratación

El mezclado del cemento con agua es el comienzo de una reacción química que desprende calor. La cantidad del calor generado es influenciada por varios factores, incluyendo:

- La cantidad de cemento usado.
- Si se usan o no materiales cementantes suplementarios.
- El tipo de cemento, por ejemplo, cemento de alta resistencia, resistencia temprana, o para propósitos generales.
- Las propiedades de los agregados.
- La temperatura de colocación del concreto.
- La temperatura ambiente.
- El tipo de cimbras y cuándo ha de ser desmoldado.

La *Tabla 1* proporciona una indicación de las elevaciones de temperatura por encima de la media del ambiente para varios contenidos de cemento, espesores de sección y tipos de cimbra.

La tabla se relaciona específicamente con una temperatura de colocación del concreto supuesta de 20 °C y una temperatura media del ambiente, de 15 °C. Las temperaturas más altas de colocación y del medio ambiente incrementarán la tasa de hidratación, y ocurrirán elevaciones de temperatura más altas que la ambiental. La tabla también supone que la cimbra

permanece en su lugar hasta después de que se ha alcanzado la temperatura pico. Para una sección de 500 mm de espesor, la temperatura pico típicamente será alcanzada a las 24-48 horas.

Si se considera deseable reducir la acumulación de temperatura en el concreto, hay varias opciones relacionadas con el diseño de la mezcla que podrían ser exploradas. Vale la pena discutir las opciones con su compañía local de concreto premezclado para que lo auxilie a evaluar, tanto las implicaciones económicas como técnicas, de las opciones.

Las opciones que pueden ser consideradas incluyen:

- Usar materiales cementantes suplementarios tales como escoria de alto horno granulada y molida, humo de sílice, o ceniza volante.
- Usar agregados más grandes.
- Usar aditivos reductores de agua.
- Bajar la temperatura de colocación.

Grietas por el calor de hidratación

El agrietamiento asociado con el calor de hidratación, puede ser dividido de manera general en dos categorías:

- Grietas que son debidas al desarrollo de un gradiente térmico grande a través del miembro (restricción interna).
- Grietas que se desarrollan debido a la restricción externa proveniente de la contracción libre conforme el miembro se enfría.

Restricción interna

La regla práctica usual usada para evitar el primer tipo de agrietamiento consiste en asegurar que la diferencia de temperatura a través del miembro sea de menos de 20 °C. Las diferencias de temperatura más grandes que esto pueden ocurrir en miembros grandes tales como cimientos de plataforma, o potencialmente cuando la cimbra es removida temprano. Se sugiere que este problema sea cuidadosamente considerado cuando el espesor del miembro sea mayor a 500 mm.

Tabla 1. Rango de elevaciones de temperatura por encima de la media de la temperatura ambiente (C) para los concretos.

Espesor de la sección (mm)	Contenido de cemento en la cimbra de acero (kg/m ³)				Contenido de cemento en la cimbra de triplay (kg/m ³)			
	220	290	360	400	220	290	360	400
< 300	5-7	7-10	9-13	10-15	10-14	14-19	18-26	21-31
500	9-13	13-17	16-23	19-27	15-19	20-27	27-36	31-43
700	13-17	18-24	23-33	27-39	18-23	25-32	34-43	40-49
> 1000	18-23	24-32	33-43	39-49	22-27	31-37	42-48	47-56

Tabla 2. Resumen de las estrategias para prevenir o controlar el agrietamiento térmico a edad temprana

Diseño de la mezcla			
<i>Factor</i>	<i>Más calor</i>	<i>Menos calor</i>	<i>Comentarios</i>
Materiales cementantes	Cemento ordinario	Cemento ordinario/ Escoria de alto horno Cemento ordinario/ Humo de sílice	El tipo de cemento tiene una influencia significativa en el calor generado. La selección del cemento dependerá del riesgo económico y de la consideración de las consecuencias.
Aditivos	Ninguno	Superplastificadores Reductores de agua	Modesta reducción en el calor logrado como un removedor del material cementante
Tamaño del agregado	Diámetro pequeño	Diámetro grande	Considere las implicaciones del tamaño del agregado al colocarlo alrededor del refuerzo
Técnica de construcción			
<i>Factor</i>	<i>Mayor riesgo de agrietamiento</i>	<i>Menor riesgo</i>	<i>Comentarios</i>
Temperatura de colocación	Alto	Bajo	¿Es factible y económico enfriar el concreto antes de la colocación?
Temperatura ambiente	Alto	Bajo	Poco o ningún control sobre esto
Enfriado del concreto colocado (a) Tubos de enfriamiento (b) Enfriado de la superficie			Efectivo pero costoso. Debe usarse solamente en secciones menores a aproximadamente 500 mm de espesor
Material de cimbra (a) Espesor de sección menor que aproximadamente 500 mm (b) Secciones grandes aisladas	Triplay aislado Plástico reforzado con fibra de vidrio Acero triplay aislado	Plástico reforzado con fibra de vidrio Acero triplay aislado	El objetivo es minimizar los gradientes térmicos a través de la sección
Tiempos para descimbrar (a) Espesor de sección menor que aproximadamente 500 mm (b) Secciones grandes aisladas	Periodo largo Periodo corto	Periodo corto Periodo largo	También mantenga aislada la superficie superior
Reduciendo la restricción (a) Secuencia de construcción	Bahía alterna Periodo largo entre colados sucesivas	Construcción secuencial o bahías cortas de relleno Periodo corto Cimbra deslizante entre colados	La secuencia de colado no es significativa si las juntas son juntas de movimiento pleno
(b) Juntas de movimiento	Ninguna	Juntas de movimiento parcial Juntas de movimiento pleno	
Control del ancho de las grietas con el refuerzo	Varillas de gran diámetro a espaciamientos amplios	Varillas de diámetro-pequeño a espaciamientos cerrados	

Restricción externa

A medida que el concreto se enfría, se contrae. Si esta contracción es evitada por restricciones externas, puede agrietarse.

La clave para la prevención de este agrietamiento radica en asegurar que el coeficiente de expansión \times caída de la temperatura \times factor de restricción sea menos que la capacidad del esfuerzo de tensión. Por lo tanto, si se reduce el movimiento térmico o la restricción, o se incrementa la capacidad de esfuerzo de

tensión, se reduce o se evita el agrietamiento térmico a edad temprana. Si no es posible evitar agrietamiento térmico a edad temprana, los anchos de las grietas pueden ser controlados por medio del refuerzo.

La *Tabla 2* proporciona un resumen de los factores que ayudan a evitar o a controlar el agrietamiento térmico a edad temprana. **C**

REFERENCIAS: *Ccanz Information Bulletin*: IB 73, Cement & Concrete Association of New Zealand.