

Agrietamiento térmico del hormigón: sus causas, predicción y prevención

Carlos Videla C.

Profesor del Departamento de Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 6177 Santiago, Chile

RESUMEN: el calor de hidratación generado en el hormigón produce deformaciones térmicas, las que, si son restringidas, pueden inducir tensiones capaces de iniciar el agrietamiento. En este trabajo se describen las causas y se analiza el mecanismo de agrietamiento debido a restricciones del elemento, tanto internas como externas. Este tipo de agrietamiento no sólo se restringe a las estructuras masivas, sino que todos los elementos estructurales son susceptibles de sufrirlo. Por lo tanto, los probables movimientos térmicos a temprana edad deben ser considerados en alguna etapa de los procedimientos de construcción y medidas adecuadas deben ser tomadas, si es necesario, para su prevención o control. Se presentan métodos de predicción del riesgo de agrietamiento térmico y se resumen los factores y procedimientos de construcción actualmente recomendados para prevenirlo.

I. INTRODUCCION

La colocación de grandes volúmenes de hormigón, la velocidad a la que actualmente los constructores pueden realizar sus operaciones de hormigonado y el desarrollo de cementos de alta resistencia inicial, han acentuado los problemas producidos por los cambios volumétricos generados por contracciones térmicas. Ensayos (1,2,3) han demostrado que aumentos de temperatura de 20 a 30 °C durante las primeras 24 horas después de hormigonado, no son poco comunes en elementos delgados tales como muros o losas. Cuando el hormigón se enfría se producen deformaciones que pueden provocar el agrietamiento.

Por lo tanto, las deformaciones térmicas a temprana edad de elementos de hormigón armado deben ser consideradas en alguna etapa de los procedimientos de diseño y construcción, y deben tomarse medidas apropiadas para su prevención o control.

En este trabajo se examina la prevención del agrietamiento térmicamente inducido, comenzando con un estudio de sus causas y mecanismos de agrietamiento. Posteriormente se revisan los métodos de predicción del riesgo de agrietamiento y se resumen los factores y procedimientos constructivos recomendados para prevenirlo.

II. CAUSAS DEL AGRIETAMIENTO

Las reacciones químicas que se producen entre el cemento y el agua durante el proceso de endurecimiento del hormigón, liberan cantidades importantes de calor. Parte de este calor es retenido en el hormigón, por lo que su temperatura aumenta. La magnitud de este aumento de temperatura y el instante después del hormigonado en que se alcanza la máxima temperatura, dependen de factores tales como la dosificación del hormigón, las condiciones ambientales, el tamaño y forma de la sección, la temperatura de colocación y el tipo de moldaje (4). La expansión inicial debida a este aumento de temperatura es seguida muy pronto por una contracción térmica, a medida que el hormigón se enfría a la temperatura de su medio circundante. Estos cambios de temperatura producen movimientos térmicos potenciales del hormigón iguales al producto de la variación de temperatura por el coeficiente de expansión térmica.

Si el hormigón no está restringido se dilatará y contraerá sin generar tensiones significativas, sin embargo, en general, el movimiento térmico potencial está parcial o totalmente restringido. Por lo tanto, se produce agrietamiento térmico cuando las tensiones debidas a movimientos térmicos restringidos exceden a la resistencia a la tracción del hormigón o cuando el movimiento térmico restringido sobrepasa la extensibilidad o capacidad de deformación a tracción del hormigón.

2.1 El concepto de restricción

La respuesta del material a cambios volumétricos internos difiere de aquella debida a la aplicación de cargas externas en que, en ausencia de restricción, la deformación se produce sin tensión o, si el material está totalmente restringido, se generan tensiones sin deformación. Por lo tanto, los cambios volumétricos por si solos no producen tensiones y es solamente el movimiento restringido el que induce tensiones que pueden producir agrietamiento en el hormigón.

Considerando compatibilidad de deformaciones unitarias y suponiendo deformaciones pequeñas, se puede demostrar que la deformación térmica restringida viene dada por la diferencia entre la contracción térmica libre ϵ_{th} y la deformación medida en el elemento ϵ_m , es decir, por:

$$\epsilon_r = \epsilon_{th} - \epsilon_m \quad [1]$$

$$y \quad \epsilon_{th} = \alpha \Delta T \quad [2]$$

en que: α = coeficiente de dilatación térmica del hormigón
 ΔT = descenso de temperatura

El grado de restricción al movimiento térmico libre define, por lo tanto, las zonas potenciales de alta tensión. El factor de restricción R se define como la proporción del movimiento térmico libre que está restringido, es decir:

$$R = \epsilon_r / \epsilon_{th} \quad [3]$$

Por lo tanto, mientras mayor es el factor de restricción, mayor es la tensión potencial debida a movimientos térmicos (5).

2.2 Tipos de restricción

Como se verá en la sección 3, el tipo de restricción tiene una influencia fundamental en el mecanismo de agrietamiento. Los tipos de restricción al movimiento se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- a) Restricción externa. Se produce cuando el origen de la restricción es externo a la sección hormigonada y puede ser subdividido en: de borde (horizontal y vertical), de extremo e intermitente.
- b) Restricción interna. Se genera cuando una parte de la sección se expande o contrae diferencialmente con respecto a otra parte de la misma sección. Ejemplos de este caso incluyen gradientes de temperatura y retracción hidráulica diferencial entre regiones exteriores e interiores del hormigón.
- c) Restricción secundaria. Es el resultado de movimientos diferenciales entre los constituyentes del hormigón, como es la expansión diferente entre los áridos y la pasta de cemento, lo que produce micro-agrietamiento. El efecto de este micro-agrietamiento en el agrietamiento térmico del hormigón es desconocido y normalmente se ignora. Sin embargo, se estima que su incidencia más probable es la de modificar la extensibilidad del hormigón (4).

En muchos casos uno de los tipos de restricción, externa o interna, es dominante, pero obviamente ambos tipos pueden existir en el mismo elemento de hormigón como es en el caso de secciones gruesas.

2.3 El papel de la armadura

La armadura no previene el agrietamiento del hormigón; de hecho, tiene un efecto despreciable en el comienzo del agrietamiento y sólo llega a ser efectiva una vez que el hormigón se ha fisurado (6). Por lo tanto, la principal función de la armadura es restringir el movimiento del hormigón a cada lado de una grieta, una vez que esta se ha formado, e inducir una serie de grietas finas, poco espaciadas, permitiendo satisfacer los estados límites de fisuración, según sean las condiciones de exposición del elemento.

III. MECANISMO DE AGRIETAMIENTO

De acuerdo con el tipo de restricción los mecanismos de agrietamiento son los siguientes:

3.1 Por restricción externa

La curva de línea llena mostrada en la Figura 1 representa la expansión potencial de un elemento no restringido debido al aumento de temperatura provocado por el calor de hidratación. Si se considera un elemento rígidamente empotrado en sus extremos, esta curva mostraría ahora la deformación total que el elemento debería soportar para mantener su longitud inalterada. Si el hormigón fuera perfectamente elástico, sufrirá una compresión que seguiría a los cambios de temperatura y se producirían sólo tensiones de compresión en el elemento. Sin embargo, el hormigón a temprana edad y muy en particular en las primeras etapas, durante el proceso de aumento de temperatura, presenta una alta capacidad de deformación por fluencia lenta o creep, lo que permite una importante relajación de la tensión de compresión potencial generada por la deformación térmica restringida. Una vez que la velocidad de disipación de calor excede a la velocidad de generación de calor, el hormigón comienza a enfriarse y a contraerse. La porción elástica de la compresión decrece a cero y se empiezan a generar tensiones de tracción. Las deformaciones unitarias de tracción son en parte elásticas y en parte de creep, pero esta última es mucho

menor en esta etapa debido al progreso del proceso de endurecimiento. Finalmente, cuando la deformación de tracción total sobrepasa a la capacidad de deformación a tracción del hormigón, el elemento se agrieta. Estas grietas atraviesan completamente la sección del elemento (7).

3.2 Por restricción interna

La Figura 2 muestra la distribución de temperaturas durante el proceso de endurecimiento del hormigón de un muro de gran espesor sin ningún tipo de restricción externa. En el período inicial después del hormigonado (tiempo 0 a t_2), la temperatura del hormigón aumenta porque la velocidad de generación de calor es superior a la velocidad de disipación de calor al medio ambiente. La distribución de temperaturas crece de modo tal que aumenta la diferencia de temperatura entre el centro y la superficie. Como el centro trata de expandirse más que la superficie, el movimiento del centro queda restringido por las zonas superficiales. Se desarrollan, por lo tanto, deformaciones unitarias que tienen una distribución como la indicada por las áreas achuradas en la Figura 2, con deformaciones unitarias de tracción cerca de la superficie y de compresión en el centro. Estas deformaciones unitarias son proporcionales a la diferencia entre la temperatura media de la sección y la temperatura del punto considerado. Aunque los efectos de fluencia lenta juegan un importante papel en las etapas iniciales del endurecimiento, sigue existiendo riesgo de agrietamiento térmico en esta etapa.

Si se retira el moldaje, se acelera la disipación del calor al medio ambiente y se aumenta muy rápidamente la diferencia de temperatura a través de la sección (tiempo t_3 a t_4). En esta etapa la fluencia lenta es mucho menor que en el período inicial de endurecimiento y en la mayor parte de los casos la "carga de temperatura" asociada con el desmolde representa el mayor riesgo de agrietamiento superficial (7). Estas grietas pueden penetrar a mayor profundidad que las armaduras, pero, debido a la posición de la restricción, no pueden ser continuas a través de la sección (4). El ancho de las grietas, que son visibles muy poco después del desmolde, decrece durante los siguientes períodos de enfriamiento.

A medida que el hormigón gana madurez, el módulo de elasticidad aumenta y la fluencia lenta se reduce. Por lo tanto, la tensión generada cuando el muro se enfría no es simplemente la reversión del estado tensional producido durante el ciclo de calentamiento. Debido al cambio de estas propiedades se produce una inversión de tensiones. Las tensiones de tracción

en las zonas superficiales se alivian (se cierran las grietas formadas previamente) a medida que el hormigón se enfría, entonces, como el centro continua contrayéndose más que las zonas superficiales, su movimiento es restringido por la superficie y se producen tensiones de compresión en las zonas superficiales y de tracción en el centro. Cuando el hormigón alcanza la temperatura ambiente, las grietas superficiales deben haberse cerrado suficientemente para ser capaces de transmitir tensiones de compresión. En casos extremos se produce agrietamiento interno debido a las tensiones de tracción generadas en el centro.

Por lo tanto, si la diferencia de temperatura entre el centro y la superficie es suficientemente grande, se producirá agrietamiento. La máxima diferencia de temperatura puede ocurrir ya sea durante el período de aumento de temperatura, en cuyo caso las grietas se generarán en el interior, o durante el proceso de enfriamiento cuando las grietas se producirán en la superficie (8). Además, las grietas causadas por restricción interna penetran hasta una cierta profundidad pero, debido a la posición de la restricción, no pueden ser continuas a través de la sección a no ser que también exista restricción externa (9).

IV. METODOS DE PREDICCIÓN DEL RIESGO DE AGRIETAMIENTO

La magnitud de la tensión generada en el hormigón como resultado de una deformación térmica restringida, es fundamental para evaluar la propensión al agrietamiento de un elemento. Sin embargo, la deformación unitaria restringida no puede ser convertida directamente en tensión debido a la influencia de la fluencia lenta. Con el objeto de determinar si una estructura sufrirá agrietamiento térmico los siguientes enfoques han sido sugeridos:

4.1 Análisis de tensiones

Los métodos más exactos para calcular las tensiones en una sección de hormigón a partir de su historial de deformaciones o temperaturas, están basados en técnicas incrementales (6). En este caso, la tensión en el hormigón en un cierto instante se determina como la suma de todos los pequeños incrementos de tensión residual (tensiones reducidas por efecto de la fluencia lenta) producidos en el período considerado. Cuando la tensión de tracción así calculada excede a la resistencia a la tracción del hormigón, se producirá agrietamiento. Suponiendo una relación lineal tensión-fluencia lenta (10) y que

el coeficiente de dilatación térmica del hormigón se mantiene constante para edades superiores a un día (6), esta condición se puede expresar como (1):

$$f_{ot} = \alpha R \sum_0^{t=t_1} \Delta T E'_o(t) > *f_{ot} \quad [4]$$

en que f_{ot} = tensión de tracción estimada del hormigón.
 ΔT = descenso de temperatura en el intervalo de tiempo Δt
 $E'_o(t)$ = módulo de elasticidad efectivo entre el tiempo t y t_1
 $*f_{ot}$ = resistencia a la tracción directa del hormigón en el instante considerado.

Browne y Blundell (5) han señalado que cuando las variaciones de deformación son rápidas, como por ejemplo cuando se desmolda hormigón aún caliente, es suficiente la utilización de un módulo de elasticidad promedio para el período bajo análisis. Sin embargo, en hormigones masivos los cambios de temperatura son muy lentos y se requiere un conocimiento de las propiedades de fluencia lenta del hormigón utilizado.

Esta técnica de cálculo ha sido utilizada para investigar, por ejemplo, el efecto, sobre el funcionamiento del hormigón, de materiales de reemplazo parcial del cemento Portland (11) y el comportamiento a temprana edad de hormigones masivos utilizados en plantas nucleares (5).

4.2 Simulador de tensiones

Para estudiar los hormigones utilizados en centrales nucleares y prevenir su agrietamiento, la empresa Taylor Woodrow Construction Limited (5) desarrolló un Marco de Tensión que permite medir la tensión simulada de la estructura. En este aparato, una muestra de hormigón es sometida al mismo historial de tensiones y deformaciones que aquel de un punto apropiado de la obra. La compatibilidad de temperaturas se logra calentando artificialmente la probeta sellada. La compatibilidad de deformaciones se obtiene, al mismo tiempo, por medio de la variación de la carga sobre la muestra; esta sollicitación entrega una medida de la tensión existente en el hormigón de la estructura.

4.3 Criterio de deformación unitaria límite

El análisis de tensiones generadas por contracciones térmicas restringidas requiere un conocimiento considerable de las propiedades del hormigón a utilizar. Obtener esta información se justifica y es factible para algunas obras de gran envergadura pero, en la práctica, estos datos no están disponibles para la gran mayoría de las construcciones. Por lo tanto, un método más simple ha sido propuesto por varios investigadores (6,12), basado en la capacidad de deformación a tracción del hormigón y en el que se supone que el hormigón fragua a su temperatura máxima sin ninguna tensión inducida y que se producen tensiones de tracción en cuanto comienza la fase de enfriamiento. En la práctica, debido a las pequeñas tensiones iniciales de compresión, las tensiones de tracción no se generan hasta algún tiempo después de alcanzada la temperatura más alta. Esta suposición conduce a una sobreestimación de las tensiones de tracción y es por lo tanto una base segura para determinar la posibilidad de agrietamiento.

Este criterio para verificar el riesgo de agrietamiento se puede expresar como: el hormigón se agrietará cuando

$$\alpha T R / (1 + \psi) > \epsilon_{ult} \quad [5]$$

en que T = descenso de temperatura desde la temperatura máxima alcanzada durante la hidratación.

ψ = coeficiente de fluencia lenta para el período considerado.

ϵ_{ult} = capacidad de deformación a tracción del hormigón; es función de la velocidad de deformación y de las condiciones térmicas y de humedad de la sección durante el período de enfriamiento.

Harrison (6) sugiere utilizar $\psi=1$, $\epsilon_{ult} = 100$ mm/m para secciones delgadas (espesor menor que 0,5 m) y $\epsilon_{ult} = 200$ mm/m para secciones gruesas.

4.4 Criterio de máxima diferencia de temperatura

Para el caso de secciones masivas de hormigón armado, se ha encontrado apropiado usar un criterio de máxima diferencia de temperatura como una guía para evaluar el riesgo de agrietamiento debido a restricción interna. Varios investigadores (7,8) sugieren que si se produce un diferencial de temperatura,

entre la superficie y el centro de la sección, superior a 20°C, existe un riesgo creciente de agrietamiento por contracción térmica. Se ha encontrado que existe una relación sistemática entre la magnitud de la diferencia de temperatura y la ocurrencia de grietas térmicamente inducidas.

V. PREVENCIÓN DEL AGRIETAMIENTO

Básicamente la clave para reducir o prevenir el agrietamiento térmico se encuentra en la ecuación [5]. De esta ecuación se puede ver que la prevención se puede lograr por dos métodos:

- a) Modificación de las propiedades del hormigón para reducir o eliminar el cambio volumétrico potencial y para aumentar su extensibilidad. Esto incluye una selección, dosificación y control cuidadoso de los constituyentes del hormigón (tipo y contenido de cemento, tipo y forma del árido, etc.) y la adopción de procedimientos adecuados de colocación y curado (temperatura de colocación, material del moldaje, tiempo de desmolde, etc.). Sin embargo, esta solución puede estar limitada por la necesidad de mantener los niveles de otras propiedades del hormigón y por los materiales locales disponibles. Además, su utilización depende de un análisis económico para cada situación particular. Es necesario hacer notar que cualquier factor que se modifique variará más de un término de la ecuación [5], por lo que se debe evaluar el efecto neto de cualquier cambio propuesto.
- b) Modificación de restricciones efectivas para reducir o eliminar las tensiones generadas por la contracción total. Esto se puede lograr proveyendo juntas de dilatación o por la secuencia de construcción (13). Sin embargo, a menudo sucede que la inclusión de juntas no es aceptable por motivos estructurales o arquitectónicos, además de ser un procedimiento caro.

La descripción de las precauciones y procedimientos para reducir la contracción térmica y /o la restricción ha sido hecha por muchos autores (2,13) y una discusión de los diferentes factores que influyen en el agrietamiento térmico ha sido llevada a cabo por Harrison (4). La Tabla Nº1, tomada y adaptada a partir de este último trabajo, resume los factores principales que afectan el agrietamiento térmicamente inducido y los procedimientos que ayudan a prevenirlo o controlarlo.

FACTOR	PEOR ELECCION	MEJOR ELECCION	COMENTARIOS
Forma del árido	Redondo (rodado)	Angular (chancado)	BS 612 : 1967
Tipo de árido	Alto α Pedernal Horsteno Cuarzita Cuarzo	Arenisca Mármol Granito Dolomita	Bajo α Basalto Andesita Caliza Agregado liviano
Tipo de cemento	De alta resistencia Portland puro Portland puzolánico Portland siderúrgico De endurecimiento rápido	Portland puro Portland puzolánico Portland siderúrgico Corrientes	Corriente Portland resistente a sulfatos Cemento puzolánico Cemento siderúrgico Portland de bajo calor de hidratación
Cantidad de cemento	Alta	Baja	Dentro de estos grupos es posible hacer una distinción más fina si la obra lo justifica; deben realizarse ensayos y tomar en cuenta consideraciones de tipo económico Verifique condiciones de durabilidad
Aditivos	Ninguno	Reductores de agua Plastificadores	Como reductores de cemento y por lo tanto, de la cantidad de calor generado. Verifique condiciones de durabilidad
Temperatura de colocación del hormigón	Alta	Baja y pre-enfriamiento del hormigón - Agua enfriada - Enfriamiento de los áridos con aire helado - Roclar con agua los acopios de áridos.	- Hielo en forma de escamas o bloques triturados. - Nitrógeno líquido Verificación de la factibilidad y análisis económico del sistema de enfriamiento
Temperatura ambiente	Alta	Baja	Factor poco controlable
Enfriamiento del hormigón colocado		- Refrigeración forzada a través de serpentines embebidos en el hormigón. - Enfriamiento superficial	Efectivo, pero caro Podría usarse sólo en secciones de espesor menor a 500 mm
Material de moldaje			
a) Secciones delgadas (menor que 500 mm de espesor)	Aislada	Madera	Acero
b) Secciones gruesas sin restricción externa.	Acero	Madera	Aislada
Plazo para desmoldo			
a) Secciones delgadas	Periodo largo	Periodo corto	
b) Secciones gruesas sin restricción externa.	Periodo corto	Periodo largo	También mantenga la superficie aislada.
Reducción de restricción			
a) Secuencia de construcción	Alternada	Secuencial o alternada dejando vanos cortos entre paños largos	La secuencia de construcción no es importante si se dejan juntas de dilatación poco espaciadas
	Periodos largos entre capas sucesivas Gran espesor de la etapa de hormigonado	Periodos cortos entre capas sucesivas	Moldaje deslizando Poco espesor de la etapa de hormigonado
b) Juntas de movimiento	Ninguna	Juntas parciales	Juntas de dilatación completas Conduce a plazos de construcción muy largos.
Control del ancho de grietas con armadura	Barras lisas Grandes diámetros y barras muy espaciadas	Barras con resaltes Pequeños diámetros y barras poco espaciadas Mallas soldadas	

Tabla Nº 1. Resumen de factores que ayudan a prevenir o controlar el agrietamiento térmico (4)

Como ha sido señalado por Neville (8), otro importante factor que afecta el riesgo de agrietamiento térmico es el tiempo. De hecho, el tiempo juega un doble papel: la resistencia aumenta, reduciendo por lo tanto el peligro de agrietamiento, pero por otra parte el módulo de elasticidad también aumenta, de modo que las tensiones inducidas por una deformación térmica dada son mayores. Aún más, el alivio de tensiones por fluencia lenta decrece con la edad por lo que la tendencia al agrietamiento es mayor.

VI. CONCLUSIONES

Se han presentado métodos simplificados para la verificación del riesgo de agrietamiento térmico de secciones delgadas y gruesas de hormigón, los que en conjunto con el conocimiento de los factores que influyen y en especial, de los procedimientos de construcción más adecuados para evitar este tipo de agrietamiento, permiten a los ingenieros de construcción considerar este problema en la planificación del proceso constructivo de obras de pequeña y mediana importancia. Para obras de gran envergadura, como es el caso de grandes represas, centrales hidroeléctricas y plantas nucleares, son necesarios métodos más sofisticados y una investigación considerable acerca de las propiedades del hormigón a utilizar.

REFERENCIAS

1. Videla, C., "Early-Age Thermal Cracking in Reinforced Concrete", M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Birmingham, Birmingham, 1984.
2. Turton, C.D., "To Crack or not to Crack?", Concrete, Vol.8, Nº2, 1974, 32-36.
3. Hughes, B.P. y Miller, M.M., "Thermal Cracking and Movement in Reinforced Concrete Walls", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Supplement Paper 7254S, Vol.45, 1970, 65-86.
4. Harrison, T.A., "Early-Age Thermal Crack Control in Concrete", CIRIA Report 91, Industry Research and Information Association, London, 1981.
5. Browne, R.D. y Blundell, R., "Early Age Behaviour of Mass Concrete Pours", Symposium on large Pours for R.C. Structures, University of Birmingham, Birmingham, 1973, Paper 6, 42-65.
6. Harrison, T.A., "A Simple Approach to the Prediction of Early-Age Thermal Cracking", RILEM International Conference on Concrete at Early Ages, RILEM, Paris, abril 1982

7. RILEM Committee 42-CEA, "Properties of Set Concrete at Early Ages. State of the Art Report", Materials and Structures, Vol.14, Nº84, 1981, 399-450.
8. Neville, A.M., "Properties of Concrete", Pitman Publishing Limited, London, 1981.
9. Hughes, B.P., "Joint Free Construction in Rich Concretes. Design for Early Thermal Stresses in Massive R.C. Structures", Symposium on Large Pours for R.C. Structures, University of Birmingham, Birmingham, 1973, Paper 3, 21-31.
10. Illston, J.M., "Creep: Part 1 and Part 2", Concrete, Current Practice Sheet Nº29 and 30, 1976, 39-41 y 37-38.
11. Bamforth, P.B., "In Situ Measurement of the Effect of Partial Portland Cement Replacement using either Fly Ash or Ground Granulated Blast-Furnace Slag on the Performance of Mass Concrete", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 2, Vol.69, 1980, 777-800.
12. Hunt, J.G., "A Laboratory Study of Early-Age Thermal Cracking of concrete", Technical Report TR 42.457, Cement and Concrete Association, London, 1971.
13. Hughes, B.P., "Limit State Theory for Reinforced Concrete Design", Pitman Publishing Limited, London, 1980.
14. Browne, R.D., "Thermal Movements of Concrete", Concrete, Vol.6, 1972, 51-53.

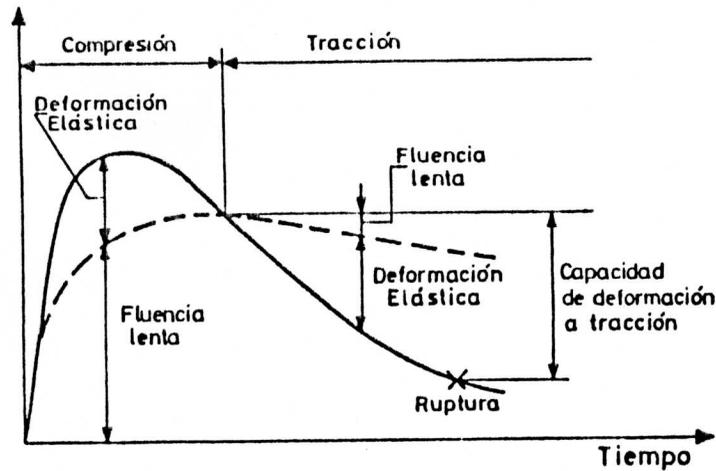


FIG. 1 Distribución de deformaciones unitarias potenciales en un elemento delgado de hormigón externamente restringido durante el endurecimiento (7)

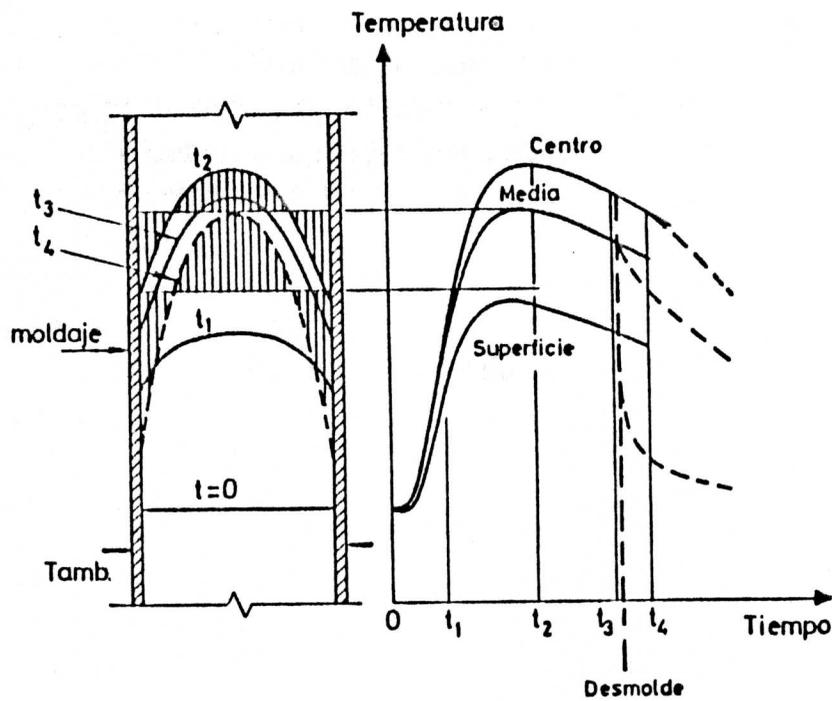


FIG. 2 Distribución de temperaturas y su desarrollo en el tiempo, para un muro grueso de hormigón durante el endurecimiento (7)