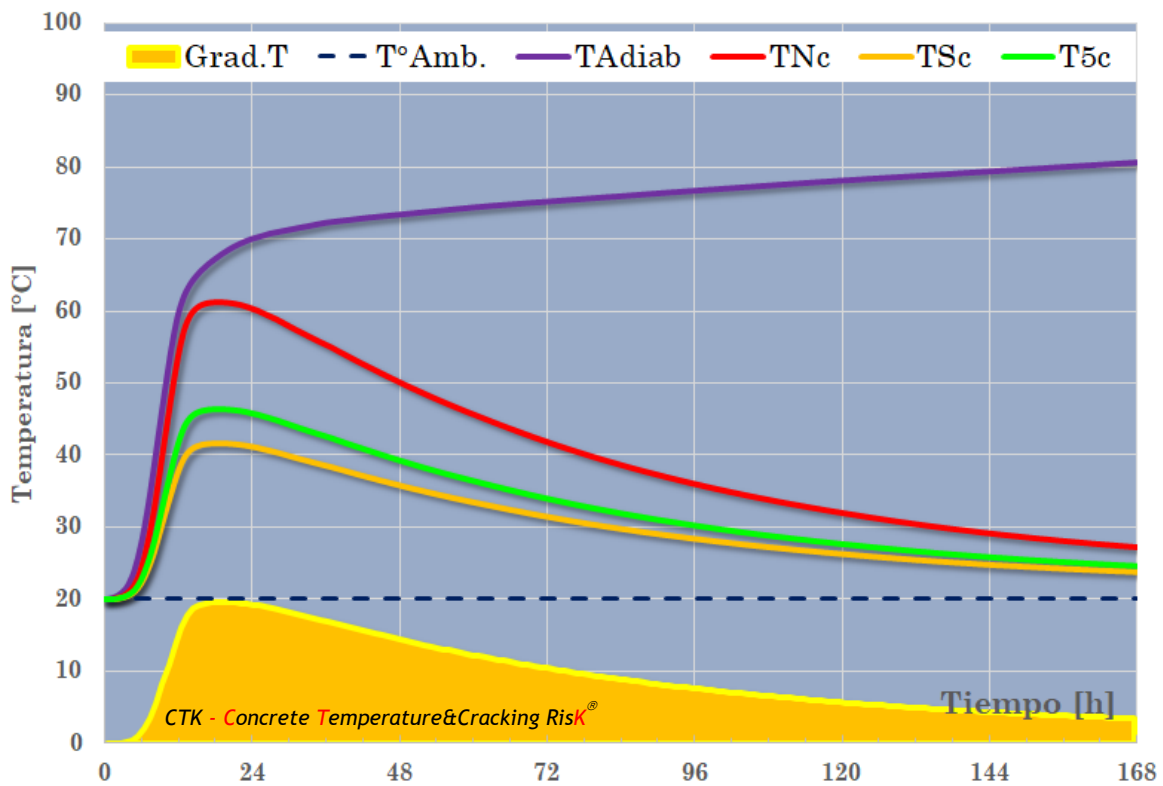


Modelo CTK – Concrete Temperature & Cracking Risk®

I.

Estimación de *Temperaturas* por efecto del Calor de Hidratación del Cemento

Desarrollo de Temperaturas [°C]

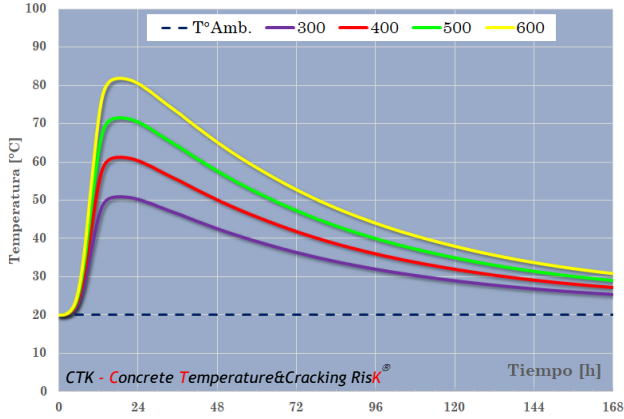


Para un elemento dado, el Modelo CTK determina el desarrollo en el tiempo de las siguientes temperaturas:

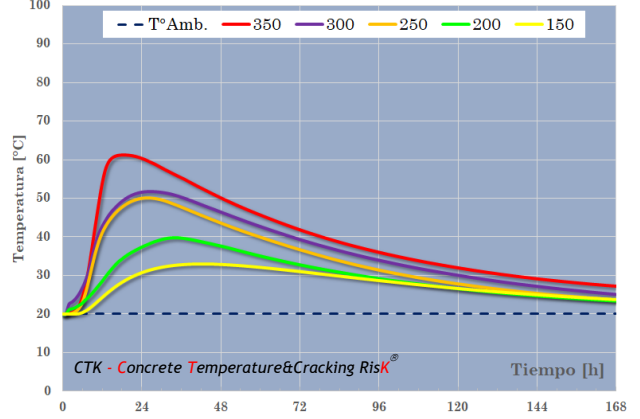
- Adiabática
- Núcleo
- A 5 cms del borde
- Superficial
- Ambiental
- Gradiente en la Sección

Las siguientes Figuras muestran sólo el efecto en la Temperatura del Núcleo.

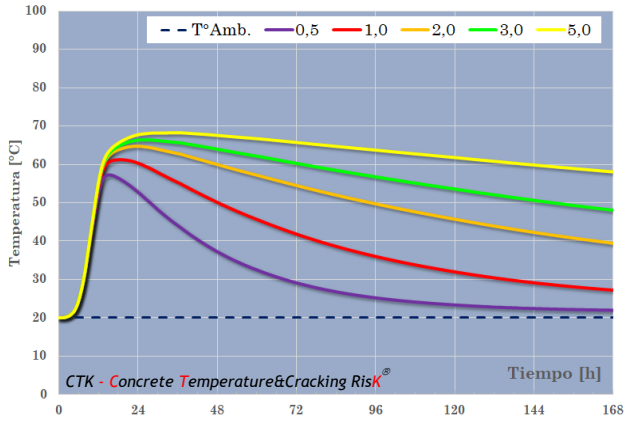
Efecto Contenido de Cemento [kg/m³]



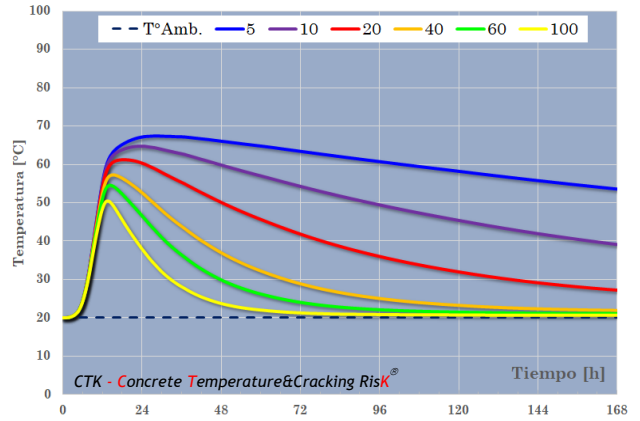
Efecto Calor de Hidratación del Cemento [J/g a 7d]



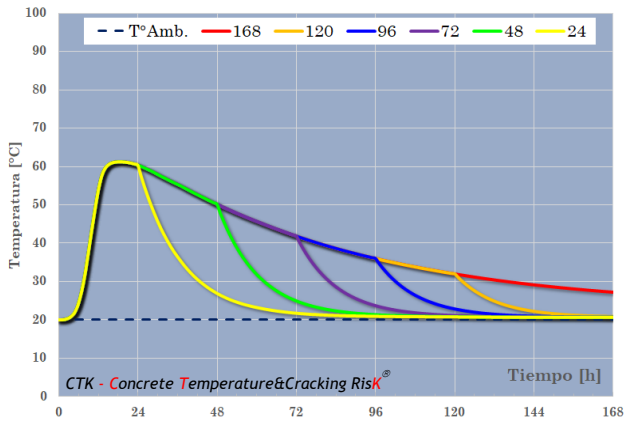
Efecto espesor del elemento [m]



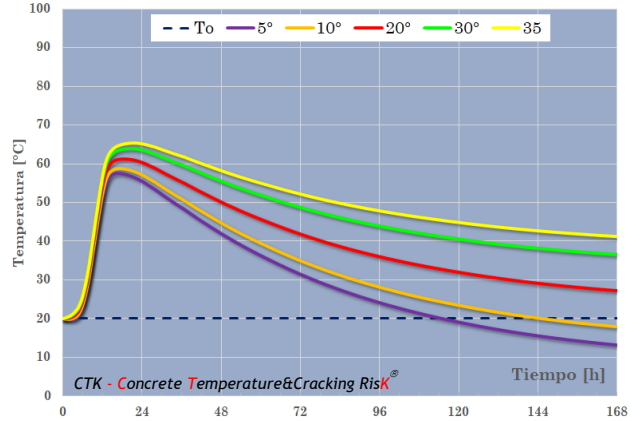
Efecto Coef. de Transferencia de Calor U [kJ/(m²h°K)]

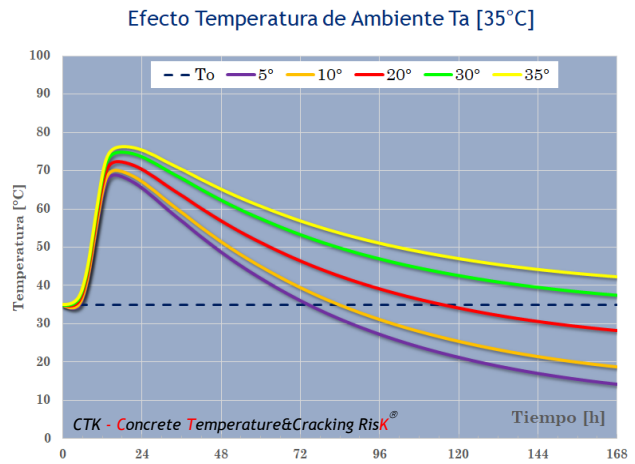
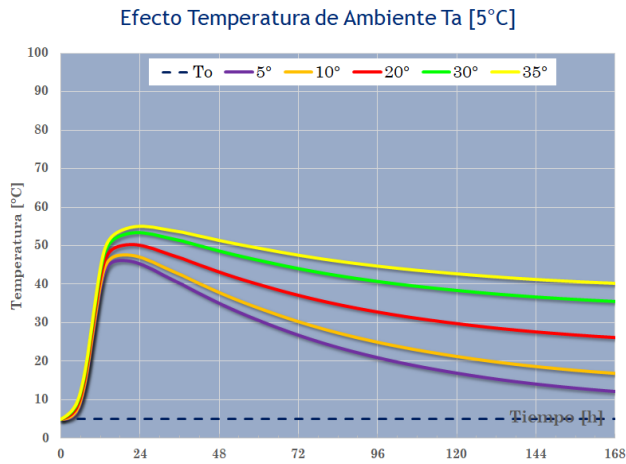


Efecto Desmolde sin Protección posterior [h]



Efecto Temperatura de Ambiente Ta [20°C]



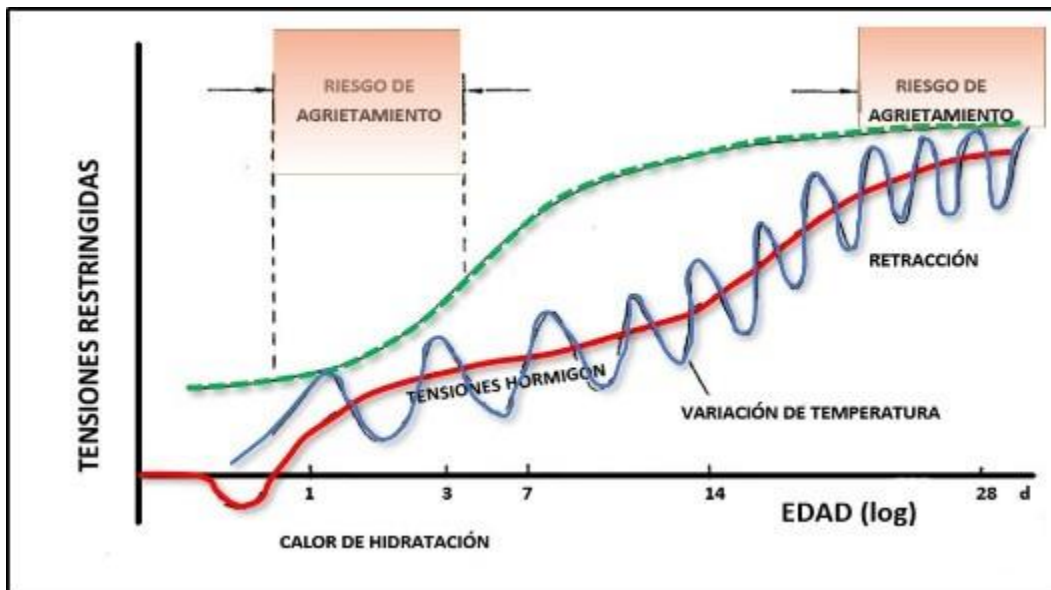


Modelo CTK – Concrete Temperature & Cracking Risk®

II.

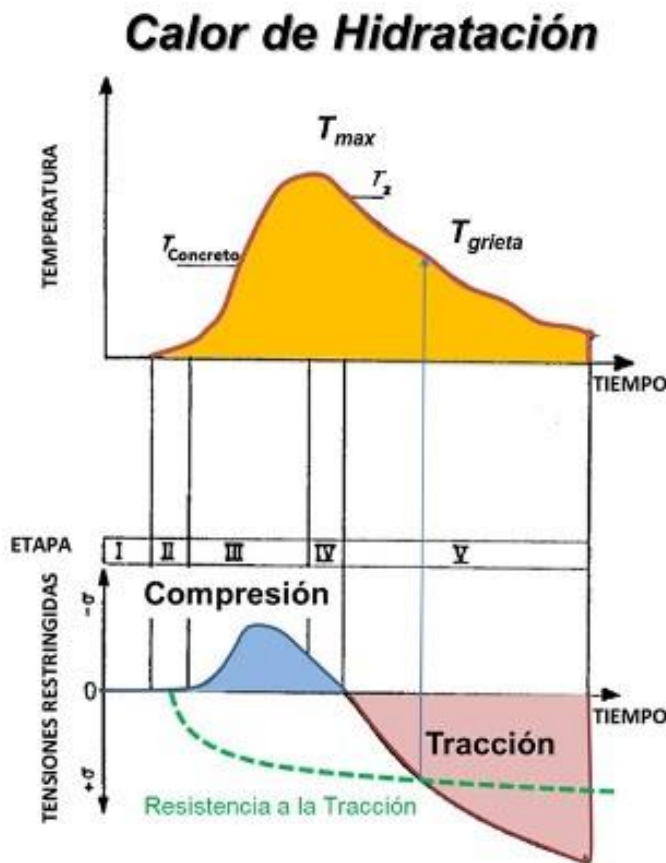
Estimación de *Tensiones* por efecto del Calor de Hidratación del Cemento

Por lo general los diseños en hormigón armado no consideran directamente los fenómenos que ocurren a Edad Temprana, esto es, desde el momento en que el cemento es mezclado con agua y se da inicio al proceso de fraguado y posterior endurecimiento del hormigón, hasta una edad de 7 días.



Para la consideración del efecto de la hidratación a Temprana Edad se utilizan modelos de elementos finitos FEM basados en las propiedades termo, químicas y mecánicas del hormigón; deben ser capaces de simular el efecto químico de la hidratación del cemento (desarrollo de calor), de los procesos térmicos de enfriamiento / calentamiento que ocurre en el hormigón al encontrarse en un ambiente con distinta temperatura, y de las propiedades de conductividad de calor y de las condiciones existentes en la superficie del hormigón, las cuales afectarán el desarrollo de temperatura del elemento de hormigón.

El desarrollo de las propiedades mecánicas y resistentes, junto a la restricción externa que afecta al elemento, influirán en el nivel de desarrollo de las tensiones internas, tanto de compresión en una primera fase, como posteriormente de tracción. Simultáneamente, debido a la propiedades visco-elásticas del hormigón, ocurre una Relajación de las tensiones generadas.



El Modelo CTK de Agrietamiento Térmico para el Hormigón, es un modelo simple y uniaxial (1D), para la estimación del desarrollo de Temperaturas y Tensiones a Temprana Edad en el Hormigón.

La principal problemática que se presenta para la determinación de las tensiones en elementos de hormigón a temprana edad, debido a cambios volumétricos, radica en la imposibilidad de conocer en forma precisa el desarrollo de las distintas propiedades del hormigón, anteriormente mencionadas. Conceptualmente, la siguiente ecuación contiene la totalidad de los efectos ya indicados, mediante los cuales a través del uso de tablas o gráficos que resuman experiencias anteriores, o mejor aún, a partir de ensayos en laboratorio y/o modelos, es posible realizar una estimación. La siguiente Ecuación presenta la relación entre los distintos componentes:

$$\sigma_t = (\epsilon a s_t + \epsilon T_t + \epsilon s_t) * E_t * \psi_t * \gamma_R$$

Dónde:

- σ = tensión de tracción en el hormigón [MPa]
- ϵ_{as} = Retracción Autógena esperada
- ϵ_T = Retracción Térmica esperada
- ϵ_{as} = Retracción Hidráulica esperada
- E = Módulo de Elasticidad del hormigón [MPa]
- ψ = Función de relajación de tensiones del hormigón
- γ_R = Grado de restricción del elemento

Al momento que las Tensiones de Tracción sobrepasan el desarrollo de la Resistencia a la Tracción del hormigón, ocurre el Agrietamiento en el hormigón: la grieta traspasa completamente la sección de lado a lado. A su vez se define el Índice de Agrietamiento **ICr**.

si $\sigma_t > f't_t \rightarrow$ Agrietamiento

$$I_{Cr} = \frac{\sigma_t}{f't_t}$$

INPUT de Datos:

- Diseño de mezcla o Dosificación
- Propiedades Mecánicas a los 28 días
- Propiedades Térmicas
- Condiciones de Colocación
- Condiciones Ambientales
- Condiciones de Transferencia de Calor Superficial
- Condiciones de Curado a Vapor
- Dimensiones y Tipo de Elemento
- Cambios Volumétricos a Temprana Edad
- Grado de Restricción Basal

OUTPUT de Datos:

- Temp. Máxima
- Tiempo de T.Máx
- 2da. Temperatura de Tensión Nula T2,0
- Tiempo de T2,0
- Temp. de Agrietamiento
- Tiempo de T.Agr.
- Tensión de Agrietamiento
- Gráfico de Desarrollo de Temperaturas (TAdiab, TNúcleo, T5cms, TSuperficial, ΔT Sección, ΔT Axial, T.Máx, T2,0, TCr)
- Gráfico de Desarrollo de Tensiones (Tensión con E28d, Tensión con E(t), Tensión con Relajación ER(t), Resistencia a la Tracción)
- Gráfico de Desarrollo del Índice de Agrietamiento (Icr base, Icg 0.25h, Icr 0.50h, Icr 0.75h, Icr 1.0h)

Las siguientes Figuras muestran los resultados del desarrollo de Temperaturas, Tensiones e Índice de Agrietamiento en forma gráfica:

