

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS

CONCLUSIONES

En el presente proyecto fin de carrera se han desarrollado un total de seis modelos numéricos con un programa comercial de elementos finitos (ABAQUS), con el objetivo principal de realizar un amplio estudio del comportamiento térmico, mecánico y en fractura del hormigón a edades tempranas.

Del modelo de los ensayos a flexión en tres puntos sobre las probetas de Efecto Tamaño se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se han constatado los resultados experimentales con los resultados numéricos obtenidos para los ensayos a flexión en tres puntos realizados sobre probetas entalladas geoméricamente similares (probetas de Efecto Tamaño).
- A través de las leyes de comportamiento de los muelles elásticos que se han obtenido mediante análisis inverso, se determina el ablandamiento en tracción (para cada edad) que se produce en el hormigón teniendo en cuenta el área de influencia de cada muelle.
- Los resultados anteriores se pueden extrapolar para especímenes de mayor dimensión, en función de la edad del hormigón considerado.

Si se analizan los resultados obtenidos en el modelo térmico del cubo de un metro cúbico de hormigón se pueden sacar las conclusiones que se mencionan a continuación:

- La precisión de los resultados numéricos obtenidos con el modelo del cubo con respecto a los que se obtuvieron en la campaña experimental es elevada.
- El máximo de la evolución de las temperaturas en los distintos nodos del cubo se produce en las edades cercanas a las 12 horas del proceso de curado del hormigón.
- Las temperaturas, dentro de un mismo plano del cubo, son mayores al irse acercando hacia el centro del cubo, es decir, en los nodos centro son mayores que en los nodos arista y, a la vez, en los nodos arista también son mayores que en los nodos vértice, los cuales se encuentran más cerca de la interfase hormigón-aire.

- Con respecto a los planos, al irse acercando al centro del cubo, tanto por la parte superior del mismo (plano 1 → plano 2 → plano 3) como por la inferior (plano 5 → plano 4), las temperaturas de los nodos van siendo mayores, ya que se van alejando del contorno del cubo.
- Las máximas temperaturas que alcanza el cubo se dan en el plano número 4.

Con respecto al primer modelo termo-mecánico de aplicación de un muro de contención de hormigón armado se pueden añadir las siguientes conclusiones:

- Analizando el estado tensional del muro en los instantes anteriores a la aplicación de la carga del terreno:
 - Se observa que las tensiones en la dirección perpendicular al terreno son principalmente de compresión para todas las edades, con un máximo en la parte inferior del muro y presentando zonas pequeñas con una tracción de valor prácticamente despreciable.
 - Las tensiones en dirección vertical en las edades tempranas son, casi en la totalidad del muro, de tracción debido a la dilatación que produce la acción del calor de hidratación en el muro de hormigón salvo en la parte inferior del muro, donde el empotramiento impide dicha dilatación, produciendo tensiones de compresión en esta zona. A medida que la edad del hormigón va avanzando, el flujo de calor que modela el calor de hidratación va disminuyendo, lo que provoca que cada vez haya más zonas comprimidas en el muro de contención.
- Las tensiones que soporta la armadura en los instantes previos a la aplicación del empuje del terreno sobre el muro son de tracción y van disminuyendo a medida que la edad del hormigón es mayor debido a que por un lado el calor de hidratación va disminuyendo con la edad y por otro el hormigón cada vez presenta mejores características mecánicas.
- No se producen deformaciones plásticas en el hormigón del muro en los instantes previos a la aplicación de la carga del terreno, ya que la carga térmica y la del peso propio no son lo suficientemente grandes para generarlas.

- Si analizamos el estado tensional del muro tras la aplicación del empuje del terreno sobre el muro:
 - Se observa que las tensiones en la dirección perpendicular al terreno son principalmente de compresión para todas las edades, con un máximo en la parte inferior del muro y presentando zonas pequeñas con una tracción de valor prácticamente despreciable.
 - Las tensiones en la dirección vertical son de tracción en la cara donde se aplica la carga del terreno y de compresión en la cara opuesta. Debido al mejor comportamiento del hormigón a compresión que a tracción, en la parte inferior de la cara traccionada, donde las tensiones van a ser mayores, es donde va a estar la zona más crítica donde es posible que se generen fisuras.
- Las tensiones que soporta la armadura en los instantes posteriores a la aplicación del empuje del terreno sobre el muro son de tracción y van disminuyendo a medida que la edad del hormigón es mayor debido a que el hormigón cada vez presenta mejores características mecánicas.
 - Con respecto a las deformaciones plásticas que se producen en el muro de contención, mencionar que se generan en la parte inferior del mismo en la zona traccionada, ya que el comportamiento del hormigón es peor a tracción que a compresión. Dichas deformaciones plásticas van disminuyendo a medida que aumenta la edad del hormigón ya que las propiedades mecánicas del mismo van siendo cada vez mejores. Dichas deformaciones pasan a ser nulas cuando el empuje del terreno se aplica a los 28 días. Asimismo se ha establecido el criterio de aptitud de la estructura al servicio, resultando que las fisuras que se producen por la tracción en el hormigón son admisibles si se retiran los puntales cuando el hormigón tiene 7 días de edad.

Con respecto al segundo modelo termo-mecánico de aplicación del muro real de contención se pueden añadir las siguientes conclusiones:

- Dicho modelo constituye una aplicación de un caso real de un muro de contención de hormigón armado, el cual ya ha sido proyectado por lo que, como es lógico, cumple todos los estados límite tanto de servicio como últimos. En el caso de que las tierras se

hubieran vertido antes se habrían producido deformaciones plásticas debidas a la tracción, teniendo mayor probabilidad de no ser apta la estructura frente al servicio cuanto antes se hubieran vertido las tierras.

- Asimismo el modelo ha sido generado teniendo en cuenta el proceso constructivo del muro de contención, en el que las propiedades del hormigón van evolucionando con el tiempo de curado del hormigón. Dichas propiedades son las que se obtuvieron en la campaña experimental mediante los distintos ensayos realizados en el Laboratorio de Estructuras de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla.
- Analizando la evolución de la temperatura de los nodos del muro, ésta va disminuyendo a medida que avanza el tiempo de análisis, ya que el calor de hidratación va disminuyendo y a los 28 días pasa a tener un efecto casi insignificante.
- Con respecto al estado tensional, se puede observar cómo la zona más desfavorable del muro es la base del mismo, justo antes de llegar a la zapata. La resultante del empuje del terreno provoca un momento importante en esta zona, generando tracciones en las caras donde se aplica la carga y compresiones en las caras opuestas. Este momento es mayor a medida que se va descendiendo, razón por la cual el espesor del muro es escalonado y mayor a medida que nos acercamos a la base.
- Debido a la variación del espesor del muro, las máximas tensiones de tracción se dan en la zona inferior de cada escalón de cambio de sección ya que aunque el momento vaya disminuyendo a medida que ascendemos por el muro, al producirse el cambio de sección se provoca un ascenso de la tensión. Es por ello por lo que las zonas inferiores de cada tramo tienen una mayor densidad de armado.
- Con respecto al armado se detecta que en la zona traccionada hay más armadura y las barras son de mayor diámetro que en la zona comprimida. Esto es porque como es bien sabido, el comportamiento del hormigón a tracción es mucho peor que a compresión, por lo que se compensa este peor comportamiento armando mejor la zona que va a trabajar a tracción.

DESARROLLOS FUTUROS

Por último, añadir los trabajos futuros que se pueden realizar a partir del presente proyecto fin de carrera. Una vez obtenidos los resultados para unos parámetros determinados, se pueden realizar análisis paramétricos variando el tipo de cemento empleado, el tipo de hormigón, la temperatura de colocación del mismo, la cantidad de armadura introducida en el modelo, la geometría del mismo, etc.