

Aplicaciones de XC en el desarrollo de proyectos de I+D en la construcción.

Luis C. Pérez Tato. XC Ingeniería Estructural



9 de abril de 2013

1. Introducción

En los párrafos siguientes se analizan brevemente las posibles aplicaciones de XC¹ en el desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo en la industria de la construcción.

Se puede pensar que las aplicaciones son las mismas que tuviera cualquier otro paquete de análisis mediante elementos finitos, sin embargo, al tratarse de software de código abierto y estar orientado a la solución de problemas de ingeniería estructural ofrece ventajas que no son fáciles de obtener por otros medios.



Figura 1: «Cluster» Arina de la universidad del País Vasco (España).

2. Flexibilidad

Durante el desarrollo de un proyecto de investigación se va adquiriendo paulatinamente un mayor conocimiento sobre el problema objeto de ésta. En consecuencia, modelos que pueden ser aceptables en los inicios del trabajo dejan de serlo según avanza el mismo.

Este hecho puede dar lugar a que se presenten dificultades cuando se emplea software propietario que, en el mejor de los casos, podremos modificar con ciertas limitaciones. Por el contrario al emplear herramientas basadas en software libre se tiene un control completo sobre ellas de modo que podremos adaptarlas a nuestras necesidades en cada momento.

¹XC es un programa de código abierto para el análisis de estructuras mediante elementos finitos.

3. Potencia y escalabilidad

Los problemas de estructuras que se presentan corrientemente en la oficina técnica se pueden resolver satisfactoriamente con un ordenador de sobremesa. Sin embargo si se trata, por ejemplo, de problemas de análisis dinámico de estructuras complejas con materiales de tipo no lineal será necesaria una potencia de cálculo mayor. Las herramientas de cálculo que aquí proponemos pueden ejecutarse en un sólo ordenador o en paralelo en varias máquinas mediante el estándar MPI².

²Message passing interface. Sistema estándar para escribir programas que se ejecuten en paralelo en varias computadoras.



Figura 2: Puente de plástico reciclado construido por la empresa Veritech en Gales (Reino Unido).

4. Nuevos materiales

Cuando el proyecto de investigación implica el desarrollo o la utilización de nuevos materiales (morteros o aglomerados reforzados con fibras, hormigones expansivos, . . .) se hace necesario modelizar el comportamiento tensodeformacional del mismo de modo que sea posible simular la respuesta de los elementos estructurales construidos con dicho material. Como ejemplos de este tipo de problemas podemos citar:

- Dispositivos amortiguadores para vibraciones inducidas por el sismo.
- Simulación del comportamiento no lineal del acero inoxidable estructural.
- Simulación del comportamiento de hormigones expansivos empleados para refuerzo de estructuras.
- Simulación del comportamiento de materiales de uso corriente (hormigón, aceros, . . .) en condiciones extraordinarias (altas temperaturas (incendio), corrosión, . . .).

5. Reparación de estructuras

A medida que envejecen las infraestructuras construidas en las últimas décadas aumentan

las necesidades de reparación y mantenimiento de las mismas por lo que en los últimos años se están dedicando bastantes esfuerzos a desarrollar soluciones que hagan estas actuaciones de reparación más sencillas y más económicas.

Un problema común a todas las actuaciones de reparación es la necesidad de conocer el estado de la estructura antes de la intervención para, después, simular el efecto que los elementos de reparación (apeos, refuerzos adheridos, . . .) tienen sobre la misma. La posibilidad de activar y desactivar elementos (y de activar y desactivar fibras de una sección) y las herramientas de análisis no lineal hacen posible tratar estos problemas de forma rigurosa. Ejemplos de esta clase de análisis serían:

- Estudios de la capacidad portante de estructuras con distintos tipos de daño:
 - Armaduras corroídas.
 - Elementos estructurales destruidos.
 - Asientos diferenciales.
- Simulación del efecto producido, sobre el conjunto de la estructura, por distintos elementos de refuerzo (activos y pasivos):
 - Refuerzos a base de bandas de fibra de carbono adheridas.
 - Refuerzos mediante apeos metálicos.
 - Refuerzos mediante postesado exterior no adherente.
 - Refuerzo de pilares mediante hormigones expansivos confinados.
- Simulación de la respuesta de la estructura reforzada frente al sismo mediante integración directa de la ecuación diferencial en el tiempo. Esto permite, por ejemplo, obtener la respuesta de la estructura (y de los elementos de refuerzo) frente a un sismo de cuyo registro se dispone.
- Reparación de estructuras singulares (atirantadas, . . .).



Figura 3: Refuerzo estructural mediante postesado exterior.

6. Modelización de estructuras durante un incendio

Tradicionalmente, para determinar la seguridad de las estructuras frente al incendio, se vienen utilizando métodos semi-empíricos propuestos por las normas. Sin embargo, los avances en el conocimiento sobre el comportamiento de los materiales frente al incendio, permiten que cada vez sea más frecuente el análisis de la respuesta de la estructura en cada caso particular. Para poder simular esta respuesta es necesario que el software de análisis posea las siguientes capacidades (ver referencia [2]):

- Modelización de la carga de fuego, de modo que sea posible representar las condiciones de contorno del problema termodinámico.
- Análisis de la transferencia de calor a los elementos de la estructura.
- Materiales con propiedades dependientes de la temperatura.
- Formulación de los elementos que incorpore los efectos térmicos.

En el caso de XC estas capacidades se basan en el resultado de los trabajos realizados por el equipo del profesor Usmani en la escuela de ingeniería de Edimburgo ([2]).

7. Evaluación de la sensibilidad de la respuesta

El análisis de la sensibilidad de la respuesta consiste en obtener cómo varía la respuesta al introducir una variación en alguno de los parámetros de la estructura³ (características del material, condiciones de contorno, . . .). Para resolver este problema de modo eficiente se emplea el algoritmo denominado «direct differentiation method». Este algoritmo sirve para calcular la sensibilidad la respuesta del modelo frente a variaciones en las propiedades los materiales o los valores de las cargas. Este tipo de análisis puede aplicarse para:

- Análisis probabilístico simplificado⁴.
- Análisis de la fiabilidad de la estructura.
- Estudio de la importancia relativa de los distintos parámetros (propiedades del material, cargas, . . .).
- Optimización de estructuras.

8. Casos de estudio poco habituales

Últimamente ha crecido el interés por la seguridad de las estructuras frente a acciones extraordinarias como explosiones o colisiones. La combinación de algunas de las técnicas de análisis citadas anteriormente permite abordar la simulación de la respuesta de una estructura frente a este tipo de acciones. También podríamos considerar en este apartado los análisis de vulnerabilidad estructural de una estructura frente a sismos reales.

También se pueden encuadrar en este apartado los análisis realizados para el desarrollo de nuevos procedimientos constructivos.

³El modo trivial de resolver el problema consistiría en introducir la modificación deseada y volver a resolver el problema.

⁴En lugar del método semi-probabilístico que empleamos habitualmente.

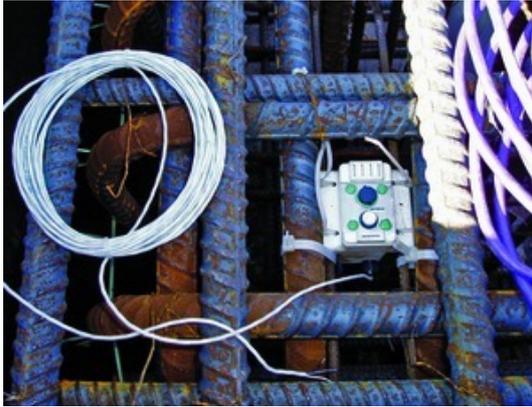


Figura 4: Sensor instalado en el puente «Twin Span» Nueva Orleans (EEUU).

9. Análisis de los datos de la instrumentación

Cada vez es más frecuente dotar a las estructuras de sensores de distinto tipo que permitan conocer y analizar la evolución en el tiempo de determinados parámetros (desplazamientos, tensiones,...). El desarrollo de un modelo matemático de la estructura y de una aplicación que a partir de los datos recibidos de la instrumentación obtenga los resultados de dicho modelo permitirá calibrar el mismo y, posteriormente, extrapolar los resultados de la instrumentación al conjunto de la estructura con la consiguiente mejora en el conocimiento de su comportamiento.

10. Desarrollo de nuevos métodos de análisis

Por último, cuando se trata de evaluar nuevos procedimientos de análisis (desarrollo de nuevos elementos, nuevos algoritmos de solución,...) las herramientas que forman XC proporcionan un entorno de desarrollo idóneo para este fin.

Referencias

- [1] Fabio F. Taucer et al., *A fiber beam-column element for seismic response analysis of reinforced concrete structures*. (EERC University of California, Berkeley. 1991).

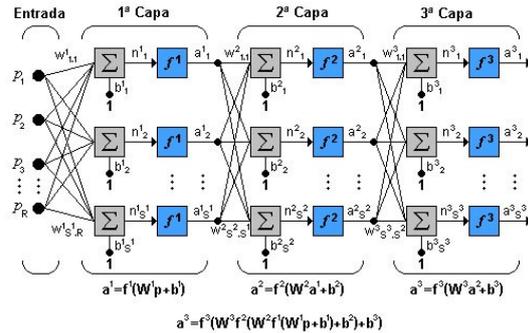


Figura 5: Esquema de una red neuronal multi-capas.

- [2] Asif Usmani et al., *Using OpenSees for structures in fire*. (School of Engineering. The University of Edinburgh. United Kingdom. 2010).