

SEMINARIOS TORROJA sobre TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y SUS MATERIALES

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE PROCESOS DE PENETRACIÓN BALÍSTICA EN PLACAS DÚCTILES Y FRÁGILES

Miguel Ortiz Herrera
19 septiembre 1996

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Ph. D. Universidad de Berkeley

Graduate Aeronautical Laboratories
California Institute of Technology
Pasadena, California

Los métodos numéricos avanzados, desde sus orígenes en la industria civil y aeronáutica, se aplican actualmente en todos los campos de la física y de la ingeniería. Aparte del conocimiento tecnológico particular asociado a cada campo, las herramientas matemáticas y numéricas son, sorprendentemente, similares en casi todos los casos.

Se expusieron resultados relacionados con modelos Lagrangianos de Elementos Finitos para contacto multi-cuerpo aplicados a problemas de penetración balística. Estos modelos utilizan remallado continuo para aliviar los problemas de distorsión de los elementos asociados con deformaciones finitas y acoplamiento termo-mecánico, con respuesta dinámica de cuerpos múltiples discretizados en contacto. Se tienen en cuenta la iniciación y propagación de fractura dúctil y frágil.

Como ejemplos de aplicación se discutieron casos de impacto en placas cerámicas y de penetración en blindajes metálicos.

MATERIALES COMPUESTOS. DISEÑO Y APLICACIONES

José Luis Pérez Aparicio
10 octubre 1996

Dr. Ingeniero Industrial

Instituto Investigación Tecnológica
U.P. Comillas

Los materiales compuestos se pueden

definir como aquéllos formados por dos o más fases, con propiedades generales superiores a cada una de ellas.

Estos materiales son comunes en la naturaleza (caña de bambú, etc.) y, de forma artificial, tan antiguos como la civilización (adobe). En su fase moderna, y referido a lo que se suele denominar como "materiales avanzados" (de altas prestaciones), su uso se incrementó notablemente justo después de la II Guerra Mundial, con la necesidad de materiales ligeros y rígidos para la industria aeroespacial (sin demasiadas restricciones económicas). Poco a poco, en otros sectores, se han hecho dominantes (artículos deportivos), importantes (transporte no aéreo) o emergentes (construcción, biomecánica, etc.).

Durante el seminario se explicaron, de forma muy resumida, las posibilidades que estos materiales proporcionan (ligereza, resistencia, montaje...) pero también los nuevos desafíos que crean (falta de experiencia en funcionamiento, mayor dificultad de diseño...), aunque aparentes puntos débiles como resistencia al fuego, pueden resultar, incluso, mejores que en materiales tradicionales con diseño y fabricación apropiados.

La construcción y obra civil puede ser la nueva frontera en la que se vea grandes (en número e importancia) aplicaciones de estos materiales. Es probable que ya se estén dando las circunstancias necesarias para ello, en precio del material y experiencia de aplicabilidad.

Se mostraron también varios ejemplos de piezas y estructuras en los que se utilizan materiales compuestos de forma habitual: palas de aerogenerado, cascos de buque, aparatos de ortopedia, instrumentos musicales y, por último, una estructura natural en la que el hombre tardará, probablemente, siglos en replicar dada su perfección: un hueso humano, con estructura de varios materiales compuestos, de geometría optimada, inteligente, autorreparable y, a la vez, productor de fluidos vitales (sangre).

MÉTODOS ACTUALES DE CONSTRUCCIÓN RÁPIDA EN LA EDIFICACIÓN: EL SISTEMA CORTINA

José F. del Tiempo Marqués
24 octubre 1996

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

CICORSA, Madrid

El Sistema Cortina permite la construcción de estructuras de hormigón armado y postensado con elementos estructurales verticales, formados por muros de carga o pilares, sin imponer ninguna servidumbre estructural, por lo que es compatible con cualquier tipo de fachadas. Su característica más destacable es la reducción espectacular de los tiempos empleados en su construcción, con el consiguiente ahorro de costes indirectos y financieros, por incorporar, como parte inherente al Sistema, además de la estructura, otras unidades de obra e instalaciones, total o parcialmente terminadas.

El proceso constructivo consiste en hormigonar, en forma horizontal y a nivel del suelo, todos los muros y forjados del edificio. Cada una de las losas o muros sirve de molde a la siguiente capa, con lo que se eliminan los encofrados y las cimbras. El acabado - pulido de todas las capas evita los yesos, tanto en paredes como en techos, y también el plastón en los suelos. Estas losas y muros son izados posteriormente a su posición definitiva utilizando gatos hidráulicos, comandados, simultáneamente, desde una consola central que elimina la aparición de asentamientos diferenciales. Las máquinas y elementos auxiliares utilizados en el proceso anterior se fabrican, bajo licencia, en los Estados Unidos y, en sus versiones actuales, incorporan la experiencia de los más de tres millones de metros cuadrados realizados, hasta la fecha, en el mundo.

Desde el punto de vista estructural, cabe destacar que el producto final de la aplicación del Sistema Cortina es, sencillamente una estructura de hormigón armado o mixta -si lleva algún pilar

metálico- que se dimensiona en cada país de acuerdo con la normativa vigente y que tiene una gran capacidad de resistencia a los esfuerzos horizontales (viento y sismo), este último de gran importancia en Méjico, país de origen de esta tecnología.

El campo de aplicación del **Sistema Cortina** abarca la edificación de viviendas entre una y ocho plantas, así como aparcamientos, hospitales, colegios, centros penitenciarios y grandes superficies comerciales, teniendo en todos los casos gran importancia, para evidenciar las ventajas de su uso, la magnitud de la obra, más aún que la repetitividad de sus elementos.

* * *

CORROSIÓN BAJO TENSIÓN DE ACEROS DE PRETENSADO

José Fullea García
María Cruz Alonso Alonso
7 noviembre 1976
Dres. en Ciencias Químicas

Instituto Eduardo Torroja. Madrid

El acero empleado en las estructuras de pretensado es un material sensible a la fragilización cuando actúan conjuntamente determinados ambientes agresivos bajo la acción de tensiones elevadas, habitualmente conocido como corrosión bajo tensión, CBT. Dichos procesos de fragilización llevan asociados fenómenos de formación y crecimiento de fisuras.

Los estudios realizados en este campo asocian la fisuración frágil del acero a defectos de diseño de la estructura y a una mala calidad del hormigón o del acero utilizado. Se conoce también la influencia de determinados agentes agresivos que pueden estar presentes en el hormigón, imputando, a éstos, la etapa de iniciación de la fisura.

Hasta el momento no existe un mecanismo, comúnmente aceptado, que explique el fenómeno de la CBT. De las teorías existentes para explicar la fisuración de un metal sometido a tensiones de tracción en un medio agresivo: 1) Disolución anódica de la capa pasiva del acero, 2) Clivaje inducido y 3) Movilidad superficial, únicamente esta última permite predecir la velocidad de propagación de la fisura en función de las variables que intervienen, como son la composición del medio, la tensión a que está sometido el material, la temperatura y la resistencia a la tracción del material.

La teoría de la movilidad superficial se basa en la autodifusión superficial de los átomos y también cómo ésta puede cambiar drásticamente en presencia de contaminantes. Según esta teoría, la grieta avanza un espaciado atómico cada vez que se produce una vacante en el fondo de la fisura, como consecuencia de la concentración de tensiones en ese punto. La velocidad de propagación de la fisura es dependiente de la difusión de los átomos sobrantes desde el fondo al exterior de la fisura. Dicha difusión se ve fuertemente influenciada por la presencia de sustancias contaminantes o productos de corrosión en las paredes de la fisura.

Contaminantes de alto punto de fusión reducen la difusión superficial, inhibiendo, por tanto, la CBT; por el contrario, contaminantes que dan lugar a productos de bajo punto de fusión incrementan, en varios órdenes de magnitud, la autodifusión superficial y, por consiguiente, la CBT.

En el caso particular de los aceros de pretensado se han realizado amplias e importantes investigaciones. Parte de las mismas permitieron mejorar sensiblemente el tipo de acero empleado actualmente. Sin embargo, aún hoy existen muchas incógnitas por resolver; por un lado está la identificación de medios agresivos, que siendo posibles en un hormigón, pueden, en determinadas condiciones, conducir a la fragilización del acero de pretensado; entre ellos están la presencia de cloruros, sulfatos o medios carbonatados. Es, sobre todo, con estos dos últimos con los que se han realizado la mayor parte de las investigaciones en este área en el IETcc; en ambos casos se han encontrado problemas de fragilización en el acero pretensado. Así, se ha visto que el agente causante de la fragilización es el hidrógeno atómico, generado en la semirreacción catódica de los procesos de corrosión, que se mete en la red metálica del acero, deformándola y fragilizándola.

La temperatura es otro de los parámetros sobre los que existe escasa información, ejerciendo un papel de gran relevancia en los procesos de fragilización. Los estudios realizados en el IETcc han indicado que existe una temperatura intermedia, próxima al ambiente, en torno a 25 °C, donde la fragilización es máxima. El fenómeno de fragilización se inhibe sensiblemente al aumentar o disminuir la temperatura.

Otro punto sobre el que se está trabajando en el IETcc es la validación del mecanismo

de la movilidad superficial con el acero pretensado, con el fin de hacer predicciones sobre la fragilización del acero pretensado en un determinado medio agresivo y sobre la velocidad de propagación de la fisura. Hasta la fecha, se ha encontrado una buena concordancia entre los datos experimentales y teóricos, calculados a partir del modelo de movilidad superficial, sobre todo cuando en estos últimos se contempla la posibilidad de actuación simultánea de la CBT y la fragilización del hidrógeno con las vacantes generadas en el fondo de la fisura.

* * *

ARQUITECTURA SIN FISURAS. LA FACHADA CONTEMPORÁNEA. APLICACIONES DE LA FÁBRICA ARMADA

Josep M^a Adell Argilés
21 noviembre 1996
Dr. Arquitecto

E.T.S. Arquitectura
Madrid

Cuatro años han transcurrido desde que se publicó el nº 421 de *Informes de la Construcción*, donde el conferenciante inició el camino expuesto en su artículo *Razón y Ser de la Fábrica Armada*, siguiendo la línea abierta por D. Eduardo Torroja en su conocido libro *Razón y Ser de los Tipos Estructurales* (CSIC).

La Fábrica Armada se ha venido entendiendo a partir de una *Razón Arquitectónica, Ser Constructivo y Tipo Estructural*.

Es por ello que en la mayoría de las ocasiones, partiendo de motivos de orden estético o formal ligados a la sencillez de la técnica constructiva de la albañilería, permiten crear en obra un tipo estructural nuevo: *La Fábrica Armada*, entendida como *Nuevo Material Compuesto*.

Las aplicaciones constructivas de obras de fábrica, hechas con diversos materiales, a lo largo de estos últimos años, han venido a confirmar las teorías expuestas como primicia desde esta Revista del Torroja, en septiembre de 1992.

El conferenciante mostró importantes ejemplos de utilización de la fábrica armada coordinados por él, entre los que destacaban edificios de carácter singular, edificios industriales-almacenes y edificios de viviendas de lujo o de protección oficial.

En cada caso concreto quedaban claros, de manera suficiente, cuáles fueron los motivos arquitectónico-constructivo-estructurales que dieron lugar a la decisión de adoptar la *Fábrica Armada* en el proyecto. En definitiva, se sumaban a las exigencias de garantía de calidad, con ausencia de fisuras y/o grietas, las ventajas económicas de colocar *cerchas de alambres en los tendeles*, frente a otras alternativas donde fuera necesario armar con redondos.

El profesor Adell, con el fin de dar una solución eficiente a los continuos casos de patología apreciados en la construcción de los cerramientos españoles, ha desarrollado, a partir de la fábrica armada por tendeles con cerchas, el primer *Sistema de Albañilería Integral* que existe en el mundo, que permitirá afrontar, con garantías de estabilidad y control de fisuración, la construcción de *La Fachada Contemporánea* del próximo siglo. Se presentó en el Instituto Torroja como primicia, llamándolo Allwall.

Este nuevo sistema combina cerchas horizontales con dobles cerchas verticales que se sitúan en la fábrica, colocando, estas últimas, por acceso lateral a las piezas o a los ladrillos de cualquier tipo, después de practicarles una hendidura a máquina.

El sistema ALLWALL desarrolla, para *La Fachada Contemporánea*, cuatro tipos de cerramiento diferenciados, con diversas ventajas de aplicación, según sea el edificio tipo de que se trate: *Cerramiento Autoportante, Semivolado, Tangente y Cortina*.

MÓDULO DE ATLETISMO CUBIERTO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE MADRID

Carlos García Tolosana

5 diciembre 1996

Arquitecto

Senado Español

Eduardo Beotas Lalaguna

Arquitecto

Consejo Superior de Deportes

En la exposición se detallaron algunos aspectos relativos a la construcción del módulo de atletismo, que a continuación se mencionan.

Respecto a los materiales proyectados y sus acabados, en el exterior e interior de la

edificación se ha seguido el criterio de emplear el menor número posible de ellos, atendiendo a una lectura rápida y sencilla de situaciones constructivas similares a su adecuación, conservación, mantenimiento y seguridad y el usar sus condiciones y cualidades para lograr un ambiente y estética adecuados. Así, la textura, el color, la absorción acústica, etc., han sido parámetros que han decidido su elección.

Exteriormente, todo el edificio se cierra por todos sus lados con panel arquitectónico de chapa de acero y aislamiento interior. Solamente a la fachada Este se abren luces, por medio de carpintería de aluminio lacado y doble acristalamiento.

Interiormente, el acabado de la zona deportiva está determinado por un suelo de altas prestaciones deportivas, adecuado para el entrenamiento; las paredes son de ladrillo visto, dispuesto para la absorción acústica y en tono caliente, quedando vista la estructura y material de cubierta (tipo deck).

Cuenta el módulo con todas las instalaciones necesarias para su perfecto funcionamiento como son la ventilación y renovación de aire, su calefacción y filtraje. No se ha previsto, por no ser adecuado al uso del edificio (entrenamiento juvenil), ningún sistema de refrigeración.

La producción de agua caliente (calefacción y A.C.S.) se realiza por medio de calderas, alimentadas por gas natural.

La alta potencia eléctrica instalada en el módulo obliga a la instalación de un centro de transformación, de acuerdo con las especificaciones al uso. Los niveles de iluminación artificial son altos (1.500 lux), con distintas posibilidades de uso, según las circunstancias. Se dota al edificio con alumbrado de señalización y emergencia, redes de telefonía interior y megafonía, así como dispositivos de medición y toma de tiempos para el entrenamiento deportivo.

Se proyecta el empleo de temporizadores de agua y fluxores. La detección y defensa contra el fuego, puertas de evacuación y emergencia, etc., de acuerdo con la normativa vigente.

APLICACIONES DE LA RADIACIÓN SINCROTRÓN EN CIENCIA DE MATERIALES

Javier Miguel Turrillas Maisterra

19 diciembre 1996

Dr. en Ciencias Químicas

Físico-Química de Materiales de Construcción

Instituto Eduardo Torroja. Madrid

La radiación sincrotrón (R.S.) es una radiación natural emitida por ciertos objetos estelares, como la nebulosa del Cangrejo, que es el residuo de la explosión de una supernova que tuvo lugar en el año 1054 de nuestra era. Artificialmente se produce en aceleradores de partículas (electrones en la mayoría de los casos, aunque también se ha intentado con positrones). Se origina como consecuencia de la aceleración que sufre, a su paso por un campo magnético, toda partícula cargada viajando a velocidad cercana a la de la luz. Es un fenómeno puramente relativista. La R.S. producida así tiene una serie de características interesantes: polarización (el vector magnético es perpendicular al plano de la trayectoria) y quasi-unidireccionalidad (es decir, se emite en forma de un estrecho abanico).

Los modernos aceleradores conocidos como de tercera generación, por ejemplo, el European Synchrotron Radiation Facility (E.S.R.F.), de Grenoble, suministran flujos extraordinariamente elevados de fotones, pudiendo llegar, en términos comparativos con un tubo de rayos X convencional, a ser hasta 10^{12} veces más intensos. La radiación así obtenida es policromática o blanca y cubre un espectro continuo que puede ir desde el ultravioleta a los rayos gamma.

Es posible, por tanto, utilizar la radiación electromagnética de estas diferentes zonas espectrales para estudiar como interactúan con la materia y adquirir información estructural de la misma. En Ciencia de Materiales se utilizan varias modalidades, que abarcan desde la espectroscopía de fotoemisión (con fotones de la zona espectral ultravioleta - rayos X blandos) a la difracción en energía (con fotones de la zona de rayos X duros, de hasta 160 keV).

A modo de sumario se puede decir que la espectroscopía de emisión provee información sobre la superficie y es útil para el estudio de la catálisis o el crecimiento cristalino epitaxial. La espectroscopía de absorción atómica, en sus dos modalidades, XANES y EXAFS (acrónimos ingleses para designar X-ray Absorption Near-Edge Spectroscopy y Extended X-ray Absorption Fine Structure, respectivamente), suministra información de corto alcance, alrededor del tipo de

átomo al que se aplica RS en la región cercana a su absorción, en torno a las capas K ó L generalmente. Quizá es la modalidad más utilizada por su versatilidad. Permite estudiar muestras amorfas o en disolución, así como muestras cristalinas. Puede utilizarse también en condiciones de presión y temperaturas extremas.

Por supuesto, los métodos de difracción también son posibles. Se utiliza para ello tanto radiación monocromática (gracias a la introducción de elementos de inserción denominados onduladores) como radiación policromática en la zona del espectro electromagnético de rayos X duros. La radiación monocromática se emplea, principalmente, en la determinación de estructuras cristalinas de muestras en polvo o en forma de monocristal. De hecho, éste es el método que actualmente permite conocer la estructura de la materia en estado sólido con mayor precisión.

La intensa radiación policromática obtenida con sincrotrón, gracias a la utilización de dispositivos magnéticos conocidos como serpentines, ha hecho resurgir la primera modalidad de difracción que se empleó tras el descubrimiento de los rayos X; la difracción de Lane, que se utiliza para el estudio de monocristales. Por último, mencionar que una modalidad, no suficientemente explotada y muy prometedora, es la difracción en energía

de muestras en polvo. La precisión de esta técnica depende, en último término, de la resolución de los detectores de energía. Su evolución está ligada, pues, al desarrollo tecnológico de dichos detectores. En el momento actual se logran resoluciones comparables a las de un difractor convencional operando en condiciones de rutina. La principal ventaja de la difracción en energía es que permite estudiar transiciones cristalinas y reacciones en las que hay alguna fase cristalina involucrada, con resoluciones temporales de hasta un segundo. Además, estas reacciones pueden ser realizadas en condiciones muy variadas, altas presiones y/o temperaturas, suspensiones, geles, superficies, lo cual hace que la difracción en energía sea sumamente versátil.

BAU '97

BAU'97: Un éxito ferial pese a la coyuntura actual de baja actividad económica del sector de la construcción en Alemania.

Tanto en número de expositores (1.724), como de visitantes (190.000, procedentes de 80 países) BAU'97, con un nuevo récord, ha vuelto a ser el certamen feria de mayor magnitud en el sector de la construcción.

Entre el 14 y el 19 de enero se ha materializado el **XII Salón Internacional de Materiales de Construcción, Sistemas de Construcción y Restauración de Edificios**, en un área de 149.000 metros cuadrados de superficie bruta, en el recinto Ferial de Munich, próximo al centro de la ciudad. En el caso de España la representación expositora ha sido de 72 firmas, con dos empresas representadas adicionalmente. Esta participación es significativa puesto que ocuparía el tercer lugar en número de expositores, de los treinta países presentes, si bien muy alejada de la anfitriona, Alemania (1.190 expositores) o de Italia, en segundo lugar (229 expositores).

Las previsiones para el próximo evento, BAU'99, parecen ser inmejorables, según datos que aporta la propia organización, al fijar en el 97% de los expositores la intención de volver a exponer.

BAU'99 se celebrará entre el 19 y 24 de enero de 1999, en el Recinto Ferial de Munich, Riem.

Para mayor información contactar con FIRAMUNICH, S.L., Sta. Martina Claus, Tf (93)488 17 20, Fax (93) 488 15 83. Paseo de Gracia 60, 2º C. Edificio "Palacio Elcano", 08007 Barcelona.

Publicación del Instituto Eduardo Torroja - CSIC

Número monográfico de INFORMES



La fábrica armada

(n.º 421)

- La arquitectura de ladrillos del siglo XIX: racionalidad y modernidad.
- Razón y ser de la fábrica armada.
- El desarrollo de armaduras para tendeles a lo largo de dos décadas.
- Avances en la construcción de obras de fábrica.
- La postura holandesa frente al control de la fisuración.
- Arquitectura e investigación con fábrica armada.
- Cálculo de la fábrica armada.
- Cálculo de estructuras de fábrica armada contra el seísmo.
- La armadura tridimensional para la fábrica armada.
- Las bóvedas de la Atlántida.