CODIGO MODELO CEB-FIP PARA ESTRUCTURAS DE HORMIGON

Antecedentes

En 1953, en pleno desarrollo de la reconstrucción europea tras el final de la 2:ª Gran Guerra, se constituye el CEB (Comité Europeo del Hormigón). En el origen de la constitución del CEB se encuentra, sin duda, la necesidad de economizar esfuerzo y coordinar tareas de los técnicos e investigadores europeos ante las necesidades planteadas por un desarrollo económico incipiente y por las tareas de reconstrucción de una Europa devastada. Estas necesidades se reflejarán de forma obvia en un material como el hormigón, cuyo conocimiento científico por los técnicos era escaso. Si a esto se une la idea de una Europa sin fronteras, que precisa de la unificación y normalización de métodos, ideas y tecnologías, quedan así definidos los dos pilares básicos sobre los que se constituye el CEB.

Fruto de los primeros años de vida del CEB son las viejas Recomendaciones de 1964 (dedicadas, por cierto, a la memoria del profesor Eduardo Torroja) que, circunscritas al hormigón armado, presentan una recopilación y unificación de los conocimientos sobre hormigón en Europa. El avance registrado en la utilización del hormigón pretensado durante los primeros 60, plantea al CEB la colaboración indispensable con otra asociación: La Federación Internacional del Pretensado (FIP) que había surgido como un foro internacional para el intercambio de conocimientos teóricos y prácticos en una tecnología considerada en esa época como «revolucionaria».

Las «Recomendaciones Internacionales CEB/FIP para el Cálculo y la Ejecución de Obras de Hormigón», publicadas en 1970, se presentan como 2.ª edición de las de 1964. En realidad, se trata de un nuevo texto donde las viejas recomendaciones del 1964 son casi irreconocibles. Debe tenerse en cuenta que se incorporan a esta edición un conjunto de cláusulas relativas a lo que entonces se consideraba como un material esencialmente distinto del hormigón armado: el hormigón pretensado.

Como reconocen en el prólogo al Código Modelo CEB/FIP personalidades como Ives Saillard y Franco Levi, **en realidad el texto (de 1970) no era todavia, en este estadio, un Código práctico y operativo.** Con esta conciencia el CEB se embarca en lo que será su proyecto más ambicioso: la realización de un auténtico Código, es decir, un documento que sirva como base para el proyecto y ejecución de obras de hormigón, con las características de operatividad y realidad práctica necesarias, incorporando a su vez los más recientes resultados y avances de la investigación.

Sistema unificado de reglamentación

Pero en la década de los setenta, época de la calidad, superados ya en una Europa en pleno desarrollo los problemas de niveles mínimos, surge un amplio proyecto del que el CEB es un decidido impulsor: La creación de un **Sistema Unificado Internacional de Reglamentación Técnica de la Ingeniería Civil.** Este sistema debería realizarse en estrecha colaboración con las restantes asociaciones técnicas internacionales interesadas en este área, y en particular: Convención Europea para la Construcción Metálica (CECM), Consejo Internacional de la Edificación (C.I.B.), Asociación Internacional de Láminas y Estructuras Espaciales (I.A.S.S.), Asociación Internacional de Puentes y Estructuras (A.I.P.C.) y Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayos de Materiales (R.I.L.E.M.). Este sistema debería incluir, además del Código Modelo de Estructuras de Hormigón, códigos similares para estructuras metálicas, estructuras mixtas, madera y albañilería.

Condición básica y punto de partida necesario de este Sistema Unificado era la elaboración de unas **Reglas Comunes Unificadas para los diferentes tipos de obras y materiales.** Estas reglas deberían plantear un formato de seguridad común para todo tipo de obras, independientemente del material estructural con el que estuviesen construidas. La Comisión Mixta Interasociaciones sobre la Seguridad de las Estructuras (J.C.S.S.), constituida en 1971, ha sido la encargada de la elaboración de estas Reglas.

Estas Reglas (*) se presentan como Volumen I del **Sistema Unificado** en el mismo documento que el Código Modelo CEB-FIP, que constituye el Volumen II del Sistema Unificado antedicho. La formulación del formato de seguridad de los estados límites (últimos y de utilización) es el concepto eje sobre el que giran estas Reglas.

(*) Publicadas como Cuadernos de INFORMES en los números 329 y 330.

Otra conceptualización importante de estas Reglas es la de los diferentes niveles de cálculo en los estados límites, en relación con los niveles de seguridad I, II y III. De aquí resulta una definición clara del método semiprobabilista de los estados límites, llamado método de «nivel 1», así como el establecimiento de su campo de validez, deducido de la comparación con metodologías más avanzadas, llamadas de «nivel 2» y «nivel 3».

El Código Modelo

El Código Modelo (volumen II del Sistema Unificado, como ya se ha señalado) está escrito desde una perspectiva práctica operativa, para su aplicación directa por los ingenieros de proyecto y de obra. Como segundo objetivo, el Código Modelo pretende representar una base sólida para la unificación de los Códigos nacionales y para la elaboración de normas unificadas de reconocimiento universal.

De acuerdo con lo establecido en el Volumen I del «Sistema Unificado», el Código Modelo está escrito en nivel 1, lo que podría interpretarse desde el punto de vista práctico como que los conceptos de seguridad estructural no se han modificado en relación con los usados en las Recomendaciones de 1964 y 1970. Sin embargo, la analogía se refiere más bien a su forma de presentación que a la base científica de su formulación.

El Código sigue, en su estructura, las pautas más o menos clásicas: una primera parte dedicada a datos generales para el cálculo (propiedades de los materiales, datos relativos al pretensado, tolerancias); en segundo lugar, las reglas de proyecto estructural (acciones, solicitaciones, estados límites últimos y de utilización, reglas de detalle del armado); por último, ejecución, mantenimiento y control de calidad.

Pero el Código incluye aspectos nuevos: reglas para estructuras con elementos prefabricados y estructuras de hormigón con áridos ligeros. Además, el conjunto de Anejos ha incorporado el «Anejo d» sobre Tecnología del hormigón y el «Anejo e» relativo a la fluencia.

Interesa resaltar aquí los aspectos más novedosos tratados en el Código Modelo del 78: determinación de solicitaciones, estados límites últimos de cortante y torsión, estado límite último de pandeo y estado límite último de fisuración.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Grupos de exigencias	Condiciones de ambiente	Combinación de acciones	Sensibilidad de las armaduras a la corrosión: muy sensible → estado-límite	muy sensible → w_k	poco sensible → estado-límite	poco sensible → w_k
a	no severas	frecuentes	abertura de fisuras	$\leqslant w_2$	abertura de fisuras	$\leqslant w_3$
		cuasi-permanentes	decompresión o abertura de fisuras	$\leqslant w_1$		
b	moderadamente severas	frecuentes	abertura de fisuras	$\leqslant w_1$	abertura de fisuras	$\leqslant w_2$
		cuasi-permanentes	decompresión			
c	severas	raras	abertura o formación de fisuras	$\leqslant w_1$	abertura de fisuras	$\leqslant w_2$ ó
		frecuentes	decompresión			$\leqslant w_1$

Cuadro 1.—Exigencias funcionales.

Determinación de solicitaciones.— El formato de seguridad en el Código Modelo exige la comparación entre solicitación actuante y solicitación resistente para comprobar la seguridad frente a un estado límite concreto. La determinación de la solicitación actuante se realiza a partir de las acciones sobre la estructura. Sin embargo, el cálculo de estas solicitaciones puede efectuarse siguiendo diferentes modelos de análisis de estructuras: análisis lineal, análisis lineal con redistribución, análisis no lineal, análisis plástico. El mérito del Código Modelo ha consistido en definir los límites de aplicabilidad de estos diferentes modelos y los grados de seguridad asociados a ellos. La conclusión práctica es que los métodos no lineales son apenas más complejos que los cálculos lineales tradicionales, teniendo sobre ellos dos ventajas: mayor libertad para el proyectista y apreciación más precisa de los márgenes de seguridad.

Estados límites últimos de cortante y torsión.— Los avances teóricos producidos mediante la introducción de la teoría plástica, así como el enorme volumen de experiencias acumuladas en los últimos 20 años, han permitido, manteniendo el esquema formal típico de la celosía de Mörsch, importantes mejoras en el diseño. Se presentan dos posibilidades al proyectista: el método normal y el método afinado. Este último permite, dentro de ciertos límites, la elección de la inclinación óptima de las bielas de compresión, reduciendo por lo tanto la armadura transversal necesaria, aunque esa reducción de la inclinación exige a cambio una prolongación de la armadura longitudinal a posiciones más lejanas que las deducidas de la tradicional regla del decalaje.

Estado límite último de pandeo.— Se realiza una definición precisa y muy estricta sobre lo que se debe entender por estructura traslacional, estructura intraslacional y columna aislada. Si bien la solución rigurosa del problema de pandeo sólo puede alcanzarse con el concurso del ordenador, el Código Modelo presenta métodos simplificados aplicables a estructuras traslacionales e intraslacionales, así como a columnas aisladas. Es de destacar, para estas últimas, la simplificación de la «columna modelo». Se incluyen asimismo criterios para la consideración de efectos de 2.° orden provocados por la fluencia.

Estado límite de fisuración.— Abolidas las clases de verificación de 1970 que pretendían representar (o al menos, así lo parecía) una idea de calidad, se presenta en esta versión un cuadro de exigencias funcionales (ver Cuadro 1) relativas al requerimiento de durabilidad. Así, se definen varios estados límites: de decompresión, de formación de fisuras, de diferentes aberturas de fisuras. Se expone, asimismo, un método de evaluación de abertura de fisura basado en la definición de una sección denominada «de recubrimiento» que incluye la consideración del hormigón que circunda a la armadura.

Puesta a punto del Código Modelo.— De especial interés en lo que se refiere a la elaboración del Código Modelo fue la constitución de una comisión en el seno del CEB, que preparó y distribuyó una encuesta entre las distintas Delegaciones del CEB de todos los países miembros, consistente en un conjunto de 15 casos prácticos que abarcaban de forma casi completa los posibles ámbitos de utilización del Código. Los técnicos de diferentes países resolvieron estos problemas-tipo de acuerdo con las especificaciones del Código Modelo, detectando puntos oscuros, contradicciones, lagunas, etc. En una segunda fase, los problemas fueron atacados con ayuda de los Códigos Nacionales. Esto permitió comparar los resultados obtenidos según Código Modelo y Código Nacional, y también comparar entre sí los derivados de la aplicación de los Códigos Nacionales.

Complementos al Código Modelo.— El Boletín de Información n.° 139 del CEB, constituye el Documento Final de los Complementos al Código Modelo. Este Boletín incluye las erratas del Código y los complementos propiamente dichos, entendidos éstos como: interpretaciones, justificaciones, adiciones y enmiendas al Código Modelo.

S.M.

Nota Editorial: El Instituto Eduardo Torroja acaba de publicar la versión española del Código Modelo CEB/FIP.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es