

Parte 1

Introducción

Karl - Heinz Reineck

Karl - Heinz Reineck recibió sus títulos de Ingeniero y Doctor en Ingeniería de la Universidad de Stuttgart. Se dedica tanto a la investigación como a la docencia en el Instituto de Diseño Conceptual y Estructural de Estructuras Livianas (ILEK), Universidad de Stuttgart, donde es director de dos grupos de investigación y director ejecutivo del Instituto. Sus investigaciones abarcan el diseño de hormigón estructural, el diseño con modelos de bielas y tirantes, y el diseño de tanques de hormigón para agua caliente de rendimiento elevado. Es miembro del Comité 445 de ASCE-ACI, “Corte y Torsión” donde preside dos subcomités y también es miembro del Grupo de Trabajo *fib* 1.1 “Diseño Práctico”.

Parte 1: Introducción

1 Nota Histórica

Durante los últimos quince años se han producido importantes avances en los métodos de diseño para estructuras de hormigón, y estos avances se reflejan en la terminología empleada. Se propuso “hormigón estructural” como término unificador para todos los tipos de aplicaciones de hormigón y acero a fin de superar las tradicionales divisiones entre hormigón armado, hormigón pretensado y hormigón parcialmente pretensado y aún hormigón pretensado externamente u hormigón simple. Se decidió que estas diferencias eran artificiales, y provocaban tanto confusión en los códigos y la docencia como restricciones innecesarias en la práctica, según se señaló en el Coloquio IABSE “Hormigón Estructural” realizado en abril de 1991 en Stuttgart [IABSE (1991 a, b)]. Poco tiempo después el American Concrete Institute modificó el nombre del código ACI 318.

Las limitaciones de los procedimientos puramente empíricos se están volviendo cada vez más aparentes, lo que aumenta la demanda del desarrollo de modelos de diseño claros. Se ha aplicado la teoría de la plasticidad al diseño de miembros sometidos a corte y torsión, específicamente en los trabajos de Thürlimann (1975, 1983) y Nielsen (1978, 1984) y sus colaboradores. Esto también conformó la base para los modelos de bielas y tirantes siguiendo los trabajos de Schlaich et al. (1987, 2001). Los modelos de bielas y tirantes han constituido una valiosa herramienta de diseño desde los orígenes del diseño del hormigón armado, según lo demuestra el empleo de modelos reticulados para el diseño al corte, por ejemplo, en los trabajos de Ritter (1899), Mörsch (1909, 1912, 1922), Rausch (1938, 1953) entre otros. Esto es particularmente cierto en el caso de las regiones con discontinuidad (regiones D), las cuales no han sido tratadas adecuadamente en los códigos aún cuando un diseño y detallado incorrecto de estas regiones ha llevado algunas estructuras a la falla [Breen (1991), Podolny (1985)]. El desarrollo de modelos de bielas y tirantes presenta una oportunidad única de avanzar hacia la unificación del concepto de diseño, abarcando las regiones D y las regiones B con modelos similares. Además, la aplicación de modelos de bielas y tirantes enfatiza el rol esencial del detallado dentro del diseño. Todo esto fue señalado en el Informe sobre Corte presentado por el Comité ASCE-ACI 445 (1998).

En consecuencia, el Apéndice A de ACI 318-2002 refleja este desarrollo internacional y por lo tanto es consistente con algunos otros códigos como los códigos Modelo CEB-FIP 1990, el EC 2, el Código Canadiense, el AASHTO, así como con las recientes Recomendaciones FIP (1999) y el nuevo código alemán DIN 1045-1 (2001-07).

2 Procedimientos de dimensionamiento según los códigos actuales

En la mayoría de los códigos los principios de diseño están claramente definidos, ya que al definir los requisitos y principios de diseño los códigos tratan estructuras enteras y no sólo secciones. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con los principios, los procedimientos de dimensionamiento y los procedimientos de verificación se concentran en secciones, y se realizan diferentes verificaciones para las diferentes acciones, tales como los momentos y las fuerzas de corte. Además, las reglas de detallado incluidas en los códigos pretenden garantizar la seguridad global de las estructuras.

El peligro de un enfoque de diseño seccional es que existe la posibilidad de ignorar el flujo general de las fuerzas y no cubrir algunas regiones críticas. En particular las regiones con discontinuidades de carga y/o geometría, las regiones D, a excepción de algunos casos particulares (por ejemplo, esquinas de pórticos o ménsulas) no se dimensionan sino que son cubiertas por las reglas de detallado. Todas estas consideraciones motivaron discusiones en el Coloquio IABSE “Hormigón Estructural” realizado en abril de 1991 y llevaron a las conclusiones publicadas con posterioridad [IABSE (1991 a, b)]. La demanda del desarrollo de modelos claros, tales como los modelos de bielas y tirantes, fue expresada por Schlaich (1991) y Breen (1991). Muchas de estas ideas fueron recogidas por la Comisión FIP 3 “Diseño Práctico”, presidida por Julio Appleton, y uno de sus Grupos de Trabajo desarrolló las Recomendaciones FIP “Diseño Práctico del Hormigón Estructural”, publicadas en 1999 por *fib*. Estas recomendaciones se basan plenamente en los modelos de bielas y tirantes e indican la dirección a seguir para futuros desarrollos. Sin embargo, la mayoría de los códigos continúan con los conceptos tradicionales y sólo han agregado un nuevo capítulo o apéndice, sin integrar el nuevo concepto en la totalidad del código. Una excepción la constituye el caso del diseño al corte, en el cual durante muchos años se ha utilizado un modelo reticulado para considerar la contribución de las armaduras,

3 Objetivo y contenidos de esta Publicación Especial

La implementación de modelos de bielas y tirantes en el Apéndice A de ACI 318-2002 es un paso importante hacia un concepto de diseño más consistente. Aún más, es un avance sumamente importante para los ingenieros y debería dar pie a esfuerzos para aplicar los modelos de bielas y tirantes en la práctica diaria. Por lo tanto, el principal objetivo de esta Publicación Especial es mostrar por medio de ejemplos de diseño la aplicación de los modelos de bielas y tirantes de acuerdo con el Apéndice A de ACI 318-2002.

Esta Publicación Especial se compone de cinco partes. Luego de la introducción (Parte 1), la Parte 2 presenta información sobre el desarrollo del Apéndice A de ACI 318-2002 y las discusiones del Comité ACI 318 E “Corte y Torsión”. Se describen los alcances y

objetivos del Apéndice A y se incluyen explicaciones exhaustivas y adicionales a las ya presentadas en el Comentario del Apéndice A.

La Parte 3 presenta un resumen de importantes ensayos que justifican el uso de modelos de bielas y tirantes para el diseño de hormigón estructural. Entre los ensayos se encuentran los ejemplos clásicos para regiones D, tales como vigas de gran altura, ménsulas y vigas con extremos entallados.

La Parte 4 constituye la parte central de esta Publicación Especial; presenta nueve ejemplos diferentes diseñados con modelos de bielas y tirantes usando el Apéndice A de ACI 318-2002. La mayoría de estos ejemplos fueron tomados de la práctica:

- El Ejemplo 1 (viga de gran altura), el Ejemplo 2 (viga con extremos entallados) y el Ejemplo 3 (ménsula doble y ménsula en columna) constituyen regiones D clásicas, las cuales desde hace tiempo se diseñan con modelos de bielas y tirantes y para las cuales hasta se efectuaron ensayos, según se describe en la Parte 3.
- El Ejemplo 5 (viga con apoyos indirectos) y el Ejemplo 6 (viga pretensada) tratan las conocidas regiones D de las vigas, las cuales hasta el momento han sido tratadas en los códigos mediante reglas para el diseño al corte.
- El Ejemplo 7 (tablero en pila de un puente) y el Ejemplo 9 (cabezal de pilotes) tratan las regiones D de estructuras tridimensionales, para cuyo diseño la mayoría de los códigos apenas contienen información.

Algunos ejemplos fueron seleccionados para demostrar el potencial de los modelos de bielas y tirantes para resolver problemas de diseño excepcionales, entre ellos el Ejemplo 4 (viga de gran altura con abertura) y el Ejemplo 8 (muro de gran altura con dos aberturas).

Todos los ejemplos ilustran el enfoque para encontrar un modelo, lo cual constituye el primer y más importante paso en un diseño con bielas y tirantes. Los ejemplos también señalan dónde podrían aparecer problemas de dimensionamiento o de detallado o anclaje de las armaduras y cómo se podría mejorar el diseño.

La Parte 5 presenta un resumen y discute algunos temas que son comunes a todos los ejemplos o que aparecieron en varios ejemplos. Luego de un breve repaso de los procedimientos para encontrar un modelo, se discute la unicidad de cada modelo y por qué diferentes ingenieros podrían optar por diferentes modelos. El otro tema trata la transición entre Regiones D y B de las vigas y es de importancia general para muchos ejemplos, ya que muchas regiones D son parte de una estructura mayor y deben ser “recortadas” de ella, es decir, es necesario aplicar las acciones y fuerzas adecuadas en el borde de la región D. Finalmente, en la Parte 5 se discute la importancia del detallado, la cual fue demostrada en varios ejemplos.

Referencias

- AASHTO (1994): AASHTO LRFD Bridge design specifications, section 5 Concrete Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. 2001, 1994
- ACI 318 (2002): Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute, Farmington Hills
- ASCE-ACI 445 (1998): Recent approaches to shear design of structural concrete. Informe del Comité ASCE-ACI 445 sobre Corte y Torsión. ASCE Journal of Structural Engineering 124 (1998), No. 12, 1375-1417
- Breen, J.E. (1991): Why Structural Concrete? p. 15-26 en: IABSE Colloquium Structural Concrete, Stuttgart Abril 1991. Informe IABSE V.62, 1991
- CEB-FIP MC 90 (1993): Design of concrete structures. Código Modelo CEB-FIP 1990. Thomas Telford, 1993
- CSA (1994): Design of Concrete Structures - Structures (Design). Canadian Standards Association (CAN3-A23.3-M84), 178 Rexdale Boulevard, Rexdale (Toronto), Ontario, Diciembre 1994
- DIN 1045-1 (2001): Deutsche Norm: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion. S. 1 - 148. (Hormigón, estructuras de hormigón armado y pretensado - Parte 1: Diseño). Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verl. Berlin, Julio (2001)
- EC 2 (1992): Eurocode 2: design of concrete structures - Part 1: General rules and rules for buildings. DD ENV 1992-1-1. BSI 1992
- FIP Recommendations (1999): "Practical Design of Structural Concrete". Comisión FIP- 3 "Diseño Práctico ", Sept. 1996. Publ.: SETO, Londres, Sept. 1999. (Distribuido por: *fib*, Lausana)
- IABSE (1991 a): IABSE-Colloquium Stuttgart 1991: Structural Concrete. Informe IABSE V.62 (1991 a), 1-872, Zurich 1991
- IABSE (1991 b): IABSE-Colloquium Stuttgart 1991: Structural Concrete-Summarizing statement.
Publ. en: - Structural Engineering International V.1 (1991), No.3, 52-54
- Concrete International 13 (1991), No. 10, Oct., 74-77
- PCI-Journal 36 (1991), Nov.-Dic., 60-63
and: IVBH-Kolloquium "Konstruktionsbeton" - Schlußbericht.
Publ. en: - BuStb 86 (1991), H.9, 228-230
- Bautechnik 68 (1991), H.9, 318-320

- Schweizer Ingenieur und Architekt Nr.36, 5. Sept. 1991
- Zement und Beton 1991, H.4, 25-28
- Mörsch, E. (1909): Concrete Steel Construction. McGraw-Hill, New York, (1909), pp. 368 (Traducción al Inglés de "Der Eisenbetonbau", 1902)
- Mörsch, E. (1912): Der Eisenbetonbau. 4. Aufl., K. Wittwer, Stuttgart, 1912
- Mörsch, E. (1922): Der Eisenbetonbau - Seine Theorie and Anwendung (Construcciones de Hormigón Armado - Teoría y Aplicación). 5ta Edición, Vol. 1, Part 2, K. Wittwer, Stuttgart, 1922
- Nielsen, M.P.; Braestrup, M.W.; Jensen, B.C.; Bach, F. (1978): Concrete Plasticity: Beam Shear-Shear in Joints-Punching Shear. Publicación Especial. Danish Society for Structural Science and Engineering, Dic. 1978, 1-129
- Nielsen, M.P. (1984): Limit State Analysis and Concrete Plasticity. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1984, pp. 420
- Podolny, W. (1985): The cause of cracking in past-tensioned concrete box girder bridges and retrofit procedures. PCI Journal V.30 (1985), No.2, Marzo-Abril, 82-139
- Rausch, E. (1938): Berechnung des Eisenbetons gegen Verdrehung (Torsion) and Abscheren. 2. Aufl.. Springer Verlag, Berlin, 1938. pp. 92
- Rausch, E. (1953): Drillung (Torsion), Schub und Scheren im Stahlbetonbau. 3. Aufl. Deutscher Ingenieur-Verlag, Düsseldorf, 1953 pp. 168
- Ritter, W. (1899): Die Bauweise Hennebique. Schweizerische Bauzeitung, Bd. XXXIII, Nr. 7., Enero, 1899
- Schlaich, J.; Schafer, K.; Jennewein, M. (1987): Toward a consistent design for structural concrete. PCI-Journal V.32 (1987), No.3, 75-150
- Schlaich, J.; Schafer, K. (2001): Konstruieren im Stahlbetonbau (Detallado del hormigón armado). Betonkalender 90 (2001), Teil II, 311 - 492. Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2001
- Schlaich, J. (1991): The need for consistent and translucent models. p. 169-184 en: IABSE Colloquium Structural Concrete, Stuttgart Abril 1991. IABSE Report V.62, 1991
- Thurlimann, B.; Grob, J.; Lüchinger, P. (1975): Torsion, Biegung and Schub in Stahlbetontragern. Fortbildungskurs für Bauingenieure, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zurich. Abril 1975.
- Thurlimann, B.; Marti, P.; Pralong, J.; Ritz, P.; Zimmerli, B. (1983): Anwendung der Plastizitätstheorie auf Stahlbeton. Fortbildungskurs für Bauingenieure, Institut für Baustatik and Konstruktion, ETH Zurich. April 1983