

EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL EN CUBA DESDE LA ACADEMIA Y LA NORMALIZACIÓN PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL

Autoría principal

Juan José Hernández Santana¹, Julio A. Hernández Caneiro².

Otros autores

Mario Bermúdez Machado¹, Santiago Fernández Peña¹, Alexis Negrín Hernández¹, Ernesto Valdés Avellaneda², Francisco Medina Torri², Noel Iraola Valdés³.

Entidades ejecutoras principales

¹Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

²Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría”

Entidades participantes

³Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte”

Aporte científico de cada autor al resultado

- ✓ **Juan José Hernández Santana** (40%): Autor Principal. Libro: Hormigón Estructural. tomos 1 y 2.
- ✓ **Julio Alberto Hernández Caneiro** (40%): Autor Principal. Libro: Hormigón Estructural. tomos 1 y 2.
- ✓ **Ernesto Valdés Avellaneda** (5%): Doctorado: Estado Límite Último de secciones de hormigón armado bajo solicitaciones de flexión y flexo-compresión. Capítulos 4 y 10.
- ✓ **Francisco Medina Torri** (4%): Autor de los textos precedentes de hormigón armado para la Carrera de Ingeniería Civil, y Presidente del Comité Técnico de Normalización NC/CTN 38 para el Cálculo de Estructuras de Hormigón.
- ✓ **Mario Bermúdez Machado** (3%): Doctorado: Diseño eficiente de secciones pretensadas. Capítulo 12.
- ✓ **Santiago Fernández Peña** (3%): Doctorado: Análisis de la fisuración en vigas de hormigón armado. Capítulo 7.
- ✓ **Alexis Negrín Hernández** (3%): Doctorado: Diseño óptimo de estructuras de hormigón armado. Capítulo 10.
- ✓ **Noel Iraola Valdés** (3%): Doctorado: Diseño de estructuras compuestas con losas huecas pretensadas y losa “in situ”, sometidas a flexión bajo la acción de cargas estáticas. Capítulo 12.

Resumen

Desde fines de los años 80 del pasado siglo las universidades cubanas que impartían la carrera de ingeniería civil concertaron un trabajo para estudiar el comportamiento de secciones de hormigón estructural. Esta estrategia común condujo a la realización de 5 tesis de doctorado y varias publicaciones científicas de diferente tipo, terminadas, fundamentalmente en la década de 1990-2000. Estos estudios iniciales aportaron

respuestas a la comprensión del comportamiento de secciones de hormigón estructural bajo los requerimientos de las normativas europeas, principios que regían el diseño y la comprobación de estos elementos en Cuba en la época.

Al comienzo del siglo XXI se decide por los órganos competentes de la construcción en el país basar el diseño y ejecución de obras de hormigón estructural en el reglamento norteamericano ACI 318, lo que implica un cambio trascendental en la labor docente y de proyecto. Esta decisión planteó la necesidad de la modificación radical del reglamento NC 207, labor que está a punto de finalizar. Estas coyunturas obligaron escribir un libro que, recogiendo todas las investigaciones realizadas en Cuba en los 90, actualizará los contenidos del tema según las indicaciones del reglamento ACI 318. Este libro es el resultado principal de toda esta labor, que también incluye las investigaciones realizadas por el colectivo en el último año.

El libro Hormigón Estructural. Diseño por Estados Límites se presenta en dos tomos y responde fundamentalmente a las asignaturas de las carreras de Ingeniería Civil, Hidráulica y Arquitectura, y a las maestrías de Estructuras que se desarrollan en Cuba. Viene a dar respuesta al problema de la desactualización de los textos sobre la temática en el país, tanto en pre como en postgrado y a adelantarse a los cambios que se producirán próximamente en las normativas del país. En este contexto el texto es una herramienta clave en la transformación de la enseñanza y en la actualización a los profesionales en ejercicio.

En el texto los autores han volcado más de 30 años de experiencia docente ejercida tanto en pre como en postgrado en Cuba y en el extranjero y contiene los resultados investigativos alcanzados en el período y que han sido publicados en libros, monografías y artículos de revistas, presentados en eventos científicos y defendidos en tesis de doctorado y maestrías.

Por tanto la obra resulta un aporte al desarrollo de los estudios del diseño y revisión de elementos de hormigón estructural en Cuba y una fuente inestimable para la consulta de los proyectistas estructurales, los estudiantes de postgrado y de ingeniería.

Comunicación Corta

Como parte del Programa Nacional de Ciencia y Técnica de la ACC, en el período 1986-1990, se inscribió y aprobó el Programa Científico Técnico (PCT 017-06) relacionado con el “Desarrollo de las Construcciones en Cuba”, con el propósito de ofrecer respuesta a numerosas inquietudes del sector productivo relacionadas con la construcción civil, especialmente en el complejo escenario de la normalización. Formaron parte de aquel proyecto docentes del Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría” y de las Universidades Central de Las Villas y de Camagüey. Como resultado de estas investigaciones se defendieron las siguientes tesis de doctorado:

- Negrín Hernández A. "Diseño óptimo de estructuras de hormigón armado". Kiev 1988
- Hernández Santana JJ "Comportamiento estructural de columnas sometidas a cargas con grandes excentricidades" UCLV 1990
- Valdés Avellaneda E. "Estado Límite Último de secciones de hormigón armado bajo solicitaciones de flexión y flexo-compresión". ISPJAE 1993
- Fernández Peña S. "Análisis de la fisuración en vigas de hormigón armado". UCLV 1995
- Bermúdez Machado M. "Diseño eficiente de secciones pretensadas" UCLV 2000
- Hernández Caneiro, JA. "Modelo físico mecánico para el análisis de paredes de directriz cilíndrica, utilizadas en depósitos apoyados y elevados para el almacenamiento de líquidos". ISPJAE. 2000

Estos trabajos brindaron importantes contribuciones al estudio de estos fenómenos y en el plano práctico sus resultados se reflejaron en los procedimientos de cálculo de elementos de hormigón estructural en Cuba. Sin embargo los análisis respondieron a las normativas europeas, principios en que se basaban los reglamentos cubanos del período.

Posteriormente los expertos que integran el CTN 38 para el Cálculo de Estructuras de Hormigón, decidieron pasar al reglamento "BuildingCodeRequirementsforStructural Concrete (ACI 318-08) and Commentary" de EE.UU, lo que implica modificar radicalmente la NC 207 "Cálculo y ejecución de obras de hormigón estructural". Este proceso está en desarrollo desde mediado de la pasada década y próximo a concluir.

Ante estas realidades se hizo imprescindible elaborar materiales que pusieran en manos de estudiantes y profesionales un compendio sobre el diseño de elementos de hormigón estructural que respondiera a las nuevas disposiciones de cálculo y por otra parte que recogiera los resultados científicos obtenidos por los investigadores de las universidades cubanas en los últimos años. Es entonces que surge el proyecto de escribir el texto Hormigón Estructural. Diseño por Estados Límites, que resulta el logro principal presentado.

El libro Hormigón Estructural. Diseño por Estados Límites se presenta en dos tomos, 12 capítulos y anexos y responde a los programas de varias asignaturas en las carreras de Ingeniería Civil, Hidráulica y Arquitectura, y de las maestrías de Estructuras que se desarrollan en la UCLV y el ISPJAE. Viene a dar respuesta al problema de la desactualización de los textos sobre la temática en el país, tanto en pre como en postgrado y a adelantarse a los cambios que se producirán próximamente en las normativas del país.

En el campo didáctico el texto está estructurado siguiendo el ordenamiento tradicional de los similares en otras partes del mundo: materiales, seguridad, flexión, fuerzas cortantes, torsión, funcionamiento, disposiciones constructivas, columnas, losas y

hormigón pretensado. Su aporte fundamental en la esfera radica en la incorporar el análisis del comportamiento estructural de los elementos ante las diversas solicitaciones como preámbulo al desarrollo de los procedimientos de diseño y revisión. Con estos fines se despliegan en el capítulo 2 los principios generales del comportamiento en secciones sometidas a esfuerzos normales, lo que se complementa en el capítulo 10 a abordar la construcción e interpretación de los diagramas de interacción para la flexión compuesta recta y biaxial. De la misma forma se procede a la evaluación del comportamiento de secciones bajo esfuerzos tangenciales, a corte o torsión, en los capítulos correspondientes y de estas bajo las cargas de servicio en el capítulo 7.

Cuenta el texto con cerca de 100 ejercicios resueltos con un enfoque profesional en su desarrollo, con 120 ejercicios propuestos y con anexos contentivos de importantes ayudas para el cálculo de hormigón estructural, destacando entre ellas los ábacos para el diseño y comprobación de secciones sometidas a flexo-compresión.

Los procedimientos de diseño y revisión de secciones se presentan bajo dos enfoques prácticos de cálculo: analíticos y gráficos, ofreciendo al lector alternativas de selección de cualquiera de ellos en función de las características del proyecto a ejecutar, y de la importancia del mismo. En todos los casos estos procedimientos van acompañados de un análisis detallado de la influencia de diferentes factores, que completan una visión integral del proceso.

La efectividad de los contenidos del libro ha sido comprobada durante más de 30 años de práctica profesional de los autores, en versiones previas que sirvieron de prueba a su actual estructura y contenido. En esta dirección destacan para el pregrado los materiales creados bajo los principios del ACI en los últimos años:

- Comportamiento de secciones de hormigón armado y pretensado. Monografía digital utilizada en la CUJAE desde 2004
- Solicitaciones normales. Enfoque unificado para la flexión recta simple y compuesta. Monografía digital utilizada en la CUJAE desde 2006
- La redistribución plástica en vigas de hormigón armado. Principios del ACI 318:05. Monografía digital utilizada en la CUJAE desde 2006
- Disposiciones constructivas y de diseño. Detallado de la armadura en elementos de hormigón armado. Principios del ACI 318:05. Monografía digital utilizada en la CUJAE desde 2007
- Estudio de la Torsión en elementos de hormigón armado. Principios del ACI 318:05. Monografía digital utilizada en la CUJAE desde 2007
- Estados Límites de Servicio. Estudio de la Fisuración y la Deformación en elementos de hormigón armado. Principios del ACI 318:05. Monografía digital utilizada en la CUJAE desde 2007
- Hormigón Estructural. 1era parte. Vigas de Hormigón Armado, en uso en la UCLV desde 2007

- Capítulo 10: Columnas, Capítulo 11: Losas y Capítulo 12: Hormigón Pretensado, materiales digitales empleados en la UCLV desde el 2009
- Hormigón Estructural II. Apuntes para un libro de texto. Monografía digital utilizada en la CUJAE desde 2010

Versiones anteriores del libro fueron traducidas al portugués por uno de sus autores y empleadas en los cursos de pregrado de Betão Armado I y Betão Armado II impartidos en la Escola Politécnica da Lunda Sul, perteneciente a la Universidad LuijeA'Konde, Lunda Sul, Angola entre 2010 y 2012.

Como soporte al desarrollo de actividades de postgrado, fundamentalmente como parte de las asignaturas de la Maestría de Estructuras, se ha empleado en texto en sus versiones digitales en:

- Asignatura **“Métodos de Diseño avanzado de hormigón armado”**. Maestría de Ingeniería Estructural. Facultad de Ingeniería – UMSA. La Paz, Bolivia. 2001
- Asignatura **“Métodos avanzados de diseño en hormigón pretensado”**. Maestría de Ingeniería Estructural. Facultad de Ingeniería – UMSA. La Paz, Bolivia. 2002
- Asignatura **“Estructuras Especiales de hormigón”**. Maestría de Ingeniería Estructural. Facultad de Ingeniería – UMSA. La Paz, Bolivia. 2003
- Asignatura **“Cálculo y diseño de elementos estructurales de hormigón armado y pretensado”**. Maestría de Ingeniería Civil y Desarrollo Sustentable. Mención: Vivienda de interés social. Loja, Ecuador. 2004
- Curso de postgrado **“Método Unificado para el cálculo y diseño de elementos de hormigón armado y pretensado. Enfoque en Estados Límites”**. Zamora, Ecuador. 2004
- Asignatura **“Análisis y Diseño avanzado para el hormigón armado”**, Maestría de Ingeniería Civil, Mención de Estructura, CUJAE, desde el 2005
- Asignatura **“Análisis y Diseño avanzado para el hormigón pretensado”**, Maestría de Ingeniería Civil, Mención de Estructura, CUJAE, desde el 2006
- Asignatura Comportamiento del Hormigón, Maestría de Estructura de la UCLV desde el 2007
- Asignatura Diseño Estructural, Maestría de Estructura de la UC desde el 2009
- Asignatura Diseño Estructural, Maestría de Estructura de la UCLV desde el 2010
- Curso de postgrado “Concreto Reforzado” USAC Guatemala 2013
- Curso de postgrado “Concreto Preforzado” USAC Guatemala 2013

Como complemento a los documentos elaborados, resalta un grupo importante de herramientas que consolidan el impacto del libro y facilitan su empleo por estudiantes y profesionales en ejercicio. Entre estas ayudas se destaca la multimedia **“Herramientas de avanzada para el Diseño Estructural”** que contiene tres secciones:

- Las Hojas de Cálculo en MathCAD para el diseño de secciones de hormigón armado y pretensado
- La información sobre el diseño estructural
- Otros materiales de apoyo a la docencia

Las hojas de cálculo son el centro de la multimedia y están concebidas como un complemento imprescindible en el proceso de aprendizaje, situada como una interface entre los conocimientos y conceptos fundamentales y el software profesional. Estas se crean para su explotación por estudiantes de pre y postgrado y por los profesionales dedicados al proyecto y la construcción de edificaciones. Empleando los métodos más avanzados para el diseño y comprobación de secciones de hormigón estructural, se han producido más de 60 hojas de cálculo para los siguientes elementos: vigas de hormigón armado, vigas de hormigón pretensado, columnas, muros de cortantes (tímpanos), secciones a torsión, losas en 2 direcciones y modelos de bielas y tirantes. Buscando una cabal comprensión de los procedimientos y potencialidades de cada hoja de cálculo estas se acompañan por una breve caracterización de los métodos empleados para lo que se vincula con los epígrafes correspondientes del libro, por Demos y ejercicios resueltos

Por otra parte el libro contiene un conjunto de temáticas que son el resultado investigativo de los autores y que pueden considerarse aportes al conocimiento en la temática. La mayor parte de estos resultados están respaldados por publicaciones y presentación en eventos. Entre los más significativos están:

- El desarrollo del diagrama rectangular equivalente en secciones triangulares, trapezoidales y T.
- La construcción de curvas de comportamiento de secciones armadas y pretensadas simplificadas.
- La evaluación de la resistencia a tracción del hormigón, de la influencia de la deformación previa de pretensada y el acero ordinario en el comportamiento de secciones pretensadas.
- La introducción del método de seguridad del ACI en Cuba y la adecuación del coeficiente de reducción de la capacidad resistente de la sección para los aceros cubanos.
- La adecuación del Diagrama de Dominios a las hipótesis para los estados límites últimos que reconocerá el nuevo reglamento cubano para el tratamiento de las solicitaciones normales, especialmente la definición de dos nuevos dominios: 3a y 5a.
- El aporte del acero comprimido en flexión.
- Método para el diseño a cortante de vigas de sección variable, bajo cortante a fricción y en secciones compuestas
- El estudio del comportamiento de secciones a torsión y la confección de curvas de momento torsor contra curvatura y la introducción al método del tubo equivalente.
- El cálculo de las características mecánicas de la sección bajo las cargas de servicio y comportamiento elástico.
- La introducción en Cuba de los métodos para el chequeo de la fisuración del ACI 318-99. Cálculo del ancho de la fisura por el método de Frösch. Análisis crítico del chequeo de la fisuración bajo las condiciones cubanas.

- El estudio del comportamiento de secciones a flexión compuesta recta y biaxial, como preámbulo para el análisis en el agotamiento. La conceptualización del diagrama de interacción como vía fundamental para estos análisis.
- La valoración del aporte del refuerzo más comprimido en secciones a flexo-compresión.
- Diseño de secciones a flexo-tracción y de secciones circulares y anulares a flexo-compresión.
- Diseño de columnas rectangulares a flexo-compresión biaxial.
- Introducción en Cuba del Método de Diseño Directo y sus conceptos correspondientes y el Método del Pórtico Equivalente, para el análisis de losas que trabajan en dos direcciones.
- El empleo del Método de la Líneas de Tensión para el diseño de secciones pretensadas a flexión no fisuradas.
- Diseño de secciones pretensadas óptimas bajo las tensiones admisibles fijadas por el ACI y diseño de secciones compuestas
- Tratamiento riguroso de las pérdidas de tensión del acero de pretensado.

Finalmente debe destacarse el papel que desempeñará el libro en la implementación de la normativa cubana para el cálculo y ejecución de obras de hormigón estructural NC 207, reorientada por vez primera luego del triunfo de la revolución, al reglamento norteamericano ACI 318. Esta norma está actualmente en proceso de revisión y se espera entre en vigencia durante el año 2014.

Los autores han tenido una participación directa en la redacción de la NC 207 sobre todo en el Capítulo 11 (Análisis y Diseño. Consideraciones generales), Capítulo 13 (Fuerza Axial, Flexión y Flexión Compuesta) y el Capítulo 27 (Hormigón Pretensado), e indirecta en otros que se relacionan en dicho Reglamento. De los aportes antes señalados muchos se han incorporado a dicho reglamento.