

---

## BIBLIOGRAFIA

---

Hormigón de áridos livianos. Manual de proyecto y tecnología.

CEB/FIP. Manual of design and technology. Lightweight aggregate concrete. *Bulletin d'Information* nº 121, octubre 1977, 169 pp.

El Comité Euro-Internacional del Hormigón (CEB) en colaboración con la Federación Internacional de la Pretensión (FIP) ha tomado la iniciativa de elaborar una serie de manuales técnicos para proporcionar a los proyectistas y también a los organismos de normalización de cada país orientaciones y aclaraciones en la interpretación de las Recomendaciones Internacionales CEB/FIP sobre Hormigón. El manual sobre hormigón de áridos livianos es el primero que ve la luz de la serie que se tiene el propósito de editar.

El CEB, a lo largo de su vida de 21/2 décadas y en especial desde 1970, se ha esforzado en coordinar las investigaciones y en asegurarse que las normas, códigos y reglamentos de la construcción tanto nacionales como internacionales se mantengan al día en la incorporación de los conocimientos científicos y de la experiencia de ingeniería, por medio de sus Recomendaciones Internacionales para la Seguridad de las Estructuras y para la Construcción de Hormigón. En particular así lo ha hecho en lo referente a las construcciones de hormigón con áridos livianos.

El presente manual entrega a la vez una interpretación de las reglas respectivas y una explicación de la evidencia científica y de la experiencia práctica que constituyen sus fundamentos en la actualidad.

El manual expone en sendos capítulos 8 temas principales atinentes al hormigón

con áridos livianos y a cada uno de ellos le da un desarrollo suficiente para cumplir el objetivo señalado en el párrafo anterior, según resumimos a continuación.

Los áridos livianos se subdividen en naturales, procesados y subproductos industriales. Se hace una relación de las propiedades físicas y mecánicas que son de interés y se presentan una tabla y algunos gráficos con los datos pertinentes a los áridos livianos más usados en Europa. También se exponen en términos generales los procedimientos de preparación de los áridos livianos expandidos. Se incluye, finalmente, la terminología y la clasificación funcional de los hormigones livianos recomendadas por la RILEM.

El cálculo de la dosificación de hormigones livianos exige considerar factores adicionales fuera de los que intervienen en los hormigones normales. Son ellos la densidad del hormigón, la influencia de los áridos en las propiedades del hormigón y la absorción de agua de los áridos. Hay que tener presente que, a menos que se usen cantidades exageradas de cemento, la resistencia del hormigón liviano está limitada por la del árido y ésta, a su vez, es función directa de su densidad, de manera que estos dos factores están íntimamente ligados entre sí. En el manual se ilustra en varios gráficos la interrelación mencionada, de forma que se pueden extraer conclusiones cuantitativas. En los aspectos relacionados con la granulometría estos hormigones presentan también algunas diferencias con respecto a los con áridos normales, la principal es que a mayor tamaño de áridos menores son la resistencia y rigidez y por eso el tamaño máximo debe limitarse a 25 mm. El manual ilustra también, las granulometrías adecuadas de

los áridos y las cantidades de agua necesarias para lograr determinadas trabajabilidades. Finalmente se describen los procedimientos para calcular la dosificación del hormigón de áridos livianos según varios métodos y se desarrolla un ejemplo numérico de cada uno de ellos.

El mezclado del hormigón de áridos livianos plantea algunos problemas propios derivados principalmente de su gran absorción de agua y en alguna medida de la formación de una capa de cemento y finos que se adhiere a la pared de las betoneras de tambor. Estas particularidades hacen necesario verificar frecuentemente el contenido de humedad de los áridos y presaturarlos para reducir la pérdida de trabajabilidad debida a la absorción. El transporte de este hormigón no es muy diferente al del normal, excepto por eventuales pérdidas de trabajabilidad. Sin embargo, para bombearlo es más difícil, porque el árido absorbe agua bajo presión, a consecuencia de ello aumenta la fricción, lo que conduce a mayor presión, hasta que finalmente se produce bloqueo. Se han encontrado algunas soluciones para el problema señalado. Hay también algunos problemas menores en la colocación, compactación y afinado de superficie. El curado de este hormigón requiere especiales cuidados en climas templados y en los procedimientos acelerados. Con estos últimos es necesario evitar que el agua entre en ebullición.

Las propiedades del hormigón de áridos livianos se presentan con amplio desarrollo en este manual. En efecto, hay varios gráficos que recopilan información cuantitativa profusa sobre varios aspectos y entre ellos la influencia en la resistencia y en la densidad de reemplazar el fino liviano por arena natural; la relación entre resistencia y densidad del hormigón liviano para varios tipos de áridos livianos; la relación entre la resistencia a la tracción por hendimiento y la resistencia a la compresión; la relación entre ésta y la tracción por flexión; la relación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad; el efecto del nivel de carga en la fluencia lenta; más

otros gráficos relacionados con la contracción, con la adherencia con el acero, con la resistencia a cargas sostenidas y a cargas cíclicas, con la durabilidad, con la conductividad térmica y con las propiedades acústicas. Finalmente se proponen valores para el cálculo de hormigón armado de áridos livianos; al respecto vale la pena señalar que, si bien en muchas de las propiedades no hay variaciones significativas con relación al hormigón normal, sí las hay en resistencia a la tracción y en módulo de elasticidad.

El proyecto de cálculo de estructuras de hormigón armado y pretensado de áridos livianos también está comentado en este manual en forma extensa, e incluso se desarrollan dos ejemplos completos de cálculo.

Las técnicas constructivas aplicables al hormigón liviano son fundamentalmente comunes con las del hormigón normal. Se distinguen tres categorías de hormigones sobre la base de sus aplicaciones y funciones, la categoría I corresponde a aplicaciones estructurales en que se usan hormigones con densidad seca al aire de 1600 a 2000 kg/m<sup>3</sup> y resistencias entre 200 y 700 kgf/cm<sup>2</sup>. La categoría II se usa cuando interesan simultáneamente la capacidad de carga y la aislación térmica: las densidades son inferiores a 1600 kg/m<sup>3</sup> y de preferencia de alrededor de 1450 kg/m<sup>3</sup> y las resistencias fluctúan entre 100 y 200 kgf/cm<sup>2</sup>. La categoría III corresponde a los casos en que el factor predominante es la aislación térmica: las densidades son bastante inferiores a 1450 kg/m<sup>3</sup> y las resistencias están entre 7.5 y 50 kgf/cm<sup>2</sup>, aunque excepcionalmente puede descender a 5 kgf/cm<sup>2</sup>. El manual detalla y describe los aspectos en que las técnicas constructivas son diferentes a las normalmente usadas.

El capítulo final se dedica al análisis económico del hormigón liviano. Las ventajas del hormigón liviano estriban en su menor peso, de donde resultan economías en las armaduras, en moldaje y alzaprímado, en fundaciones y en transporte y colocación. Cada uno de los puntos se estudian separa-

damente y se presentan las conclusiones en forma de gráficos comparativos en función de la densidad. Las desventajas de este hormigón derivan del mayor precio de los áridos con relación a los naturales. En general, la construcción en hormigón liviano resulta más cara que con hormigón normal. Sin embargo, en casos especiales, puede invertirse la situación. Tales casos se presentan cuando los áridos naturales se encuentran a distancias largas y quedan muy gravados por los costos de transporte y con mayor razón cuando se trata de estructuras de gran peso propio.

E.G.G.

### Comportamiento de cerchas de madera de tamaño natural reparadas con resinas epóxicas.

AVENT, R.R.; EMKIN L. Z. y SANDERS, P.H. Behavior of epoxy repaired full-scale timber trusses. *Journal of the Structural Division, ASCE*, vol. 104, n° ST6 (junio 1978), pp. 933-951.

Se hizo un estudio experimental para determinar la eficacia de la reparación de cerchas de madera de tamaño natural con resinas epóxicas. Se ensayaron una serie de cerchas Pratt, construídas de madera nueva y una serie de cerchas Fink, provenientes de edificios en demolición. El procedimiento de ensayo consistió en una prueba de carga inicial hasta la rotura, seguida de una segunda prueba hasta rotura después de reparar con inyección de resina. En el caso de las cerchas de madera nueva, las reparaciones restituyeron la resistencia hasta un nivel aproximadamente igual al original. El método tuvo éxito para los tipos más comunes de fallas: piezas rotas, rajaduras en las uniones de conectores con pernos y rajaduras longitudinales; ninguna de esas uniones reparadas falló durante las pruebas. El método no fue tan exitoso en las cerchas con piezas afectadas de pudrición, aunque aparentemente se incrementó la capacidad

de carga. Los problemas principales fueron la dificultad de detectar todas las zonas podridas, la dificultad de detectar las uniones parcialmente debilitadas, la dificultad de sellar bien las uniones y la débil adherencia del material con avanzada pudrición. Se recomienda que las reparaciones de tales cerchas incluya todas las uniones, aunque aparentemente no estén dañadas.

El mecanismo de refuerzo de la unión por la resina no está en la reparación de la grieta misma, sino en que la resina pega mutuamente las piezas que concurren a la unión y ésta se convierte de unión apertada con altas concentraciones de tensión alrededor de los pernos, en unión rígida con tensiones más uniformemente distribuídas. Es cierto que la fijación de las uniones induce flexiones en los componentes de la cercha, pero el aumento de tensiones se considera poco importante, porque las tensiones son pequeñas y las zonas críticas están en las uniones y no en las piezas principales.

### Revisión bibliográfica de la resistencia transversal de muros de albañilería.

OMOTE, Y.; MAYES, R.L.; SHY-WEN, J.Ch. y CLOUGH, R.W. A literature survey. Transverse strength of masonry walls. *Earthquake Engineering Research Center. Report N° UCB/EERC - 77/07*, 137 pp.

Se revisaron 47 referencias sobre el tema, de cuyas informaciones se pueden anotar varias tendencias y conclusiones.

Los tres factores que más pesan en la resistencia transversal de muros de albañilería son la carga vertical aplicada, la adherencia entre la unidad y el mortero de unión y la cuantía y distribución de la armadura.

En lo que se refiere a la carga vertical, por debajo de una carga  $P_c$  (designada como carga de agrietamiento en un diagrama de interacción momento - carga vertical) un aumento de la compresión incrementa la

resistencia transversal del muro, pero, por otra parte, marca una tendencia hacia modos de falla más frágiles. Por sobre  $P_c$  se produce disminución de la resistencia transversal.

Las armaduras aumentan tanto la resistencia como la ductilidad de los muros de albañilería cargados lateralmente. Como es de suponer las armaduras horizontales o de las uniones son más efectivas para muros con luz de flexión horizontal, mientras que las armaduras verticales lo son para luces de flexión verticales.

En lo que toca a la adherencia entre ladrillos y mortero su aumento aumenta la resistencia transversal del muro. Por otra parte, aquélla depende de muchas variables, algunas de ellas interrelacionadas entre sí, de modo que el asunto no está bien definido. Las siguientes son algunas de las tendencias que muestran los resultados.

- a) La resistencia transversal aumenta con el aumento de la resistencia a la tracción del mortero. Esta, a su vez, está asociada con la resistencia a la compresión.
- b) La resistencia transversal varía inversamente con el espesor de la unión.
- c) La disminución del ancho de la junta disminuye la resistencia transversal. Este efecto se atribuye al secado de la capa más angosta y es más pronunciado en bloques huecos debido al efecto de chimenea interior.
- d) La tasa de absorción de agua de los ladrillos por debajo de 5 y por sobre 3.0 g por minuto y por 30 pulgadas cuadradas disminuye la resistencia transversal.
- e) El efecto de la resistencia a la compresión del ladrillo no está claro. Hay conclusiones en el sentido de que otras variables, tal como la aspereza superficial, pueden ser más importantes.
- f) La calidad de la ejecución afecta a todos los factores anteriores, que a su vez afectan a la resistencia transversal, en consecuencia la ejecución es decisiva, pero muy difícil de cuantificar.

Se han hecho varios intentos teóricos para correlacionar resistencias calculadas con los

ensayos experimentales. Hay un método usado por Yokel para albañilería no armadas, que es muy bueno. Para muros armados el mejor método, cuando no actúan cargas verticales, es similar al que se usa para calcular la carga a la rotura de una viga de hormigón armado.

### Modelos de albañilería basados en elementos finitos.

PAGE, A.W. Finite element model for masonry. *Journal of the Structural Division, ASCE*, vol. 104, n<sup>o</sup> ST8 (agosto 1978), pp. 1267-1285.

El autor desarrolla un método de análisis de albañilería sometidas a cargas en su plano, basándose en el procedimiento de elementos finitos. Las albañilerías se suponen como un continuo de ladrillos elásticos e isotrópicos que actúan en conjunción con las uniones de mortero, las cuales tienen propiedades especiales y restringidas. Son elementos de enlace con resistencia a la tracción reducida, gran resistencia a la compresión (características de deformación no lineales) y resistencia al corte variable según el nivel de compresión presente.

El concepto de elementos de enlace permite reflejar algunas características no lineales de las albañilerías, manifestadas en ensayos uniaxiales con combinaciones variadas de tensiones de compresión y de corte, sin tener que recurrir a ensayos biaxiales.

La distribución de tensiones resultante de flexión en su plano de un panel de albañilería queda representada con bastante exactitud por el modelo de elementos finitos, aun para cargas elevadas que dan lugar a importantes redistribuciones de tensión. Podía haberse obtenido una estimación de la carga de rotura si se hubiera incluido en el análisis un criterio de falla del ladrillo, criterio que es difícil de definir debido al estado complejo de tensiones triaxiales producido por interacción mortero-ladrillo y por efectos locales de adherencia.

A pesar de que no prediga la carga de rotura, el modelo propuesto ofrece una

alternativa más real que el análisis basado en el comportamiento elástico isotrópico. Como reproduce el comportamiento no lineal derivado de las características del material y de las fallas locales de las uniones puede usarse ventajosamente para predecir las configuraciones de agrietamiento y las zonas de concentración de tensiones, como parte de un criterio de cálculo basado en tensiones de trabajo. El modelo puede ser muy útil como instrumento de investigación, ya que se pueden variar las propiedades de los componentes de las albañilerías y estudiar su influencia.

El modelo puede aplicarse a cualquier combinación ladrillo-mortero y a cualquier aparejo, bastando conocer los parámetros básicos de los materiales. La exactitud de los resultados dependerá del grado de variabilidad de los materiales. En la práctica también influirán la historia de tensiones, la fluencia lenta y la ejecución de la albañilería.

### Modelos a escala en ingeniería.

SCHURING, D.J. *Scale models in engineering Fundamentals and applications*. Pergamon Press, 1977, 299 pp.

Aunque cada vez se acrecienta la tendencia hacia la computación, la investigación en ciencias físicas y de ingeniería depende más que nunca de la experimentación. Los experimentos se planifican muy a menudo y se ejecutan con ventajas por medio de modelos a escala; esto es, las dimensiones, los tiempos, las fuerzas, las temperaturas y las corrientes eléctricas del sistema original o prototipo se reproducen a una escala apropiada para que el sistema resultante se pueda estudiar como sustituto válido del original. El término modelo se hace equivar erróneamente con miniaturización y simplificación y la verdad es que puede ser más chico, igual o más grande que el original y sobretodo que no debe conllevar una simplificación o distorsión del fenómeno que se investiga.

El autor ha desarrollado un método simple para diseñar experimentos con mo-

delos a escala, en el cual los números de escala y todas las reglas de modelación se deducen directamente de las leyes físicas que rigen el fenómeno que se estudia. El autor cree que el mérito mayor del método estriba en que es una muy buena ayuda para comprender plenamente el problema que se investiga.

La obra está dividida en dos partes. De ellas, la primera se destina a presentar los fundamentos de la modelación a escala; junto con los procedimientos prácticos para realizar modelos y experimentos y los métodos de distorsión o de relajación.

La segunda parte está dedicada a la presentación de casos particulares seleccionados de los campos más recientes de investigación. El autor considera importante dar a conocer casos especiales dentro de la idea de que la experimentación con modelos tiene mucho de arte.

La obra, fuera de servir de texto para estudios universitarios, es apta como referencia de trabajo para problemas prácticos de ingeniería.

### Procedimientos de ensayo para determinar las principales características pirógenas de los materiales.

ATALA, F. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, julio de 1978.

El análisis de una estructura desde el punto de vista de la seguridad contra el fuego implica en sí un diseño particular, propio de una circunstancia de emergencia que se puede producir en un momento dado dentro de la vida útil del edificio. Este diseño requiere de un conocimiento general y de una metodología adecuada para ir aproximándose sistemáticamente a la solución. Una vez encontrada ésta, debe representar una situación tal que el riesgo sea mínimo a un costo razonable.

Algunos elementos de la estructura necesitan ser diseñados con características de seguridad propias para superar las condiciones adversas que se puedan presentar.

Características que deben ser evaluadas mediante ensayos que producen las condiciones ideales de un incendio.

Para definir dos características muy importantes hay que determinar previamente los tipos de ensayos que es preciso realizar. Uno es el de resistencia al fuego, que evalúa el mayor o menor grado de compartimentación o aislación al fuego que posee un espacio dividido, y el otro mide el riesgo que representa el material en un incendio. Este trabajo consistió en encontrar los procedimientos más adecuados para estos ensayos.

Con respecto a la resistencia al fuego, se diseñó un horno que cumple con la norma Nch 935c73 y una serie de elementos adicionales que se requieren para su funcionamiento.

Como complemento adicional se expone un programa de computación que simula matemáticamente las condiciones del horno de ensayo en elementos de hormigón armado. Los resultados que se obtienen son similares.

Con respecto a la reacción al fuego, se hizo una selección entre los equipos descritos en las normas extranjeras, incluyendo también aquellas que están en vías de normalización y que han surgido como una mejor alternativa para solucionar los defectos que se han encontrado en los aparatos anteriores.

Finalmente se determinaron los costos aproximados de construcción y las bases teóricas en que se fundamenta su aplicación.

Este trabajo fue realizado en IDIEM y fue dirigido por el profesor Gabriel Rodríguez.

### Metodología para el control de asentamientos en estructuras.

CAIOZZI, P., SCHOLZ, A. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, julio de 1978.

Se ha elaborado una metodología para controlar asentamientos de edificios utilizando

la técnica de nivelación topográfica de alta precisión, con la cual se controlaron cinco edificios importantes de Santiago, Concepción y Viña del Mar. De estas estructuras, dos tienen losa de fundación apoyada en suelo arenoso con napa de agua relativamente superficial (Concepción y Viña del Mar); las tres restantes están fundadas en el ripio de Santiago, mediante zapatas aisladas y continuas.

Se analizan y discuten diversas fuentes posibles de error en las nivelaciones, demostrándose que ellos pueden minimizarse hasta hacerlos irrelevantes, salvo posiblemente aquellos derivados de variaciones térmicas que puedan afectar diferentemente a la estructura y a los puntos de referencia. La precisión lograda en las mediciones garantiza la apreciación del 0.1 mm.

Los asentamientos medidos durante la construcción de obra gruesa de los edificios se comparan con los asentamientos estimados según métodos de cálculo basados en la teoría de la elasticidad. De esta comparación se han obtenido valores reales del módulo de Young,  $E$ , en las tres ciudades observadas, los que se proponen para ser utilizados en la práctica profesional en el cálculo de asentamientos totales de zapatas y losas de fundación. Con relación a unos giros y asentamientos diferenciales que se midieron, se concluye que ellos reflejarían preferentemente erraticidades del subsuelo más que diferencias teóricas de solicitaciones. Para los edificios en ripio de Santiago, el asentamiento diferencial máximo entre zapatas es pequeño, del orden del 20 - 38% del asentamiento total, con tendencia general a ser mayor hacia el centro del edificio y menor hacia los bordes.

Finalmente, con la metodología utilizada, se ha visto que es posible establecer un sistema de control permanente de las deformaciones, que pueden ser de gran utilidad para detectar problemas durante la construcción y la vida útil de una obra, especialmente en el largo plazo.

Este trabajo fue realizado en la Sección Mecánica de Suelos de IDIEM y fue dirigido por el profesor Mauricio Poblete.