

---

## BIBLIOGRAFIA

---

**La naturaleza del diseño y de la seguridad estructural.**

BLOCKLEY, D. *The nature of structural design and safety*. Ellis Harwood Limited Chichester, Inglaterra, 365 pp.

Este libro aborda el tema muy vivo, puesto que está en plena evolución y revisión de sus conceptos matrices, de la seguridad de las estructuras y además explora el campo casi virgen de la "filosofía" del diseño estructural, usado ese término en el sentido del enfoque o marco de referencia intelectual global dentro del cual se desenvuelve la ingeniería estructural

Tal vez la preocupación fundamental de la obra es revelar el verdadero y profundo significado de la seguridad o de la incertidumbre de las estructuras y mostrar que puede haber maneras de medirla cuantitativamente, más allá de una mera apreciación fiduciaria. El objetivo se alcanza paso a paso a lo largo de once capítulos.

Por ser las obras de ingeniería realizaciones singulares, en contraste con las de producción industrial, que son plurales o en serie, no pueden someterse, como éstas, a estudios y ensayos previos en prototipos para perfeccionarlas a la luz de los resultados obtenidos. Así es que el proyectista de obras civiles tiene que basarse en modelos teóricos, complementados con información adicional y ensayos parciales de componentes o materiales.

Está dentro de lo realizable predecir con exactitud el comportamiento de un modelo estructural, formado por materiales ideales invariables, sometido a una serie prefijada de solicitaciones. Pero la realidad es dife-

rente: la estructura sólo se parece al modelo, las propiedades de los materiales son sólo semejantes a las del modelo, y el conjunto de las solicitaciones reales tampoco concuerda con el del modelo y además varía aleatoriamente a lo largo del tiempo.

He aquí una triple fuente de incertidumbre, que no hay manera de eludir y cuya significación en el diseño estructural nunca debe perderse de vista.

El autor, después de un análisis introductorio sobre la naturaleza de la ciencia y de la matemática, en las cuales impera la certidumbre, concluye que, en contraste, la ingeniería y en especial el diseño estructural tiene forzosamente que depender, en más de un aspecto, de apreciaciones subjetivas y el problema, entonces es ver si acaso esa subjetividad no es susceptible de algún grado de cuantificación.

A lo largo de la historia la ingeniería pasó de los tanteos y aproximaciones sucesivas a métodos cada vez más "científicos", hasta culminar en el cálculo elástico que, en algún momento, se consideró como la meta anhelada. En la actualidad, sin embargo, no se cree ya con tanta devoción en el determinismo y, en cambio, se ha dado cabida a los conceptos de incertidumbre, de valores característicos para niveles dados de confianza y de estados límites, como base para apreciar el grado de seguridad de las estructuras.

La idea del autor es que la naturaleza del diseño estructural es tan indeterminada que ni siquiera permite ese tipo de tratamiento, basado en la teoría de las probabilidades. Buena ilustración de esta idea es cómo hacer caber dentro de esa teoría a la incidencia en la seguridad estructural de los

errores humanos que, en un buen número de casos de fallas, han sido un factor preponderante. Por eso piensa que más promisorio es situar el problema dentro del ámbito de los *conjuntos borrosos* y de la *lógica borrosa* (*fuzzy set* y *fuzzy logic*), que son partes de la matemática del razonamiento aproximado, en gestación desde los años sesenta.

En los capítulos finales se describen varios ejemplos de fallas de estructuras de diversa índole y en su análisis se utilizan procedimientos basados en los conceptos expuestos y desarrollados previamente.

En resumen, se insiste en que el principio de causalidad se tiene en gran respeto en la práctica de la ingeniería, pero que es trasgredido una y otra vez en beneficio de la seguridad de las estructuras recurriendo al uso de reglas prácticas (*rules of thumb*). Se propone, entonces, una vía más clara que es reconocer desde la partida que la información en que se basa el diseño estructural no puede ser sino imprecisa y por tanto los resultados que se obtendrán también lo serán y en consecuencia corresponde usar matemáticas adecuadas a esa situación de indefinición.

Hay que reconocer, a lo menos, que la idea es imaginativa, está afirmada con buen fundamento y expuesta con mucha consecuencia.

E.G.G.

### Hormigón con fibras.

THE CONCRETE SOCIETY. *Fibrous concrete*. The Construction Press Ltd. Lancaster, Inglaterra. 1980, 202 pp.

Esta es una publicación que reúne los trabajos aceptados para presentación en el Simposio sobre Hormigón con Fibras desarrollado en Londres, en abril de 1980.

Desde que se empezó a explorar el campo de las fibras como armadura del hormigón y de la pasta de cemento, hace unos veinte años, aparte del asbesto cemento que tiene

más de ochenta años de producción y uso, ha habido importantes avances en su desarrollo. Paralelamente, se ha perfeccionado el conocimiento de las propiedades de estos materiales y ha aumentado el interés por extender sus posibles aplicaciones.

Esta publicación nos da una muy buena visión de cuánto se ha avanzado en esta materia y de cuáles son las perspectivas de uso de hormigones con fibras de distintos tipos, tanto desde el punto de vista técnico como económico.

El tema se analiza, en el conjunto de los trabajos, en cabal extensión y profundidad y tal vez el primero de ellos es un buen compendio del alcance del total. En él se exponen los principios teóricos relacionados con las características de las curvas de tensión deformación a tracción y con el comportamiento a flexión. Los métodos de ensayos también están tratados, en vista general. Luego se revisan los factores que afectan la aceptación de estos productos nuevos y los problemas que hay que aclarar todavía antes de que lleguen a ser de uso habitual, como son: el costo, que es todavía alto; los posibles riesgos para la salud por inhalación de fibras durante la fabricación; la durabilidad; el control de las grietas que necesariamente se producen en estas matrices quebradizas de cemento; la obtención de resistencias a la flexión adecuadas, dentro de un límite ya obtenido de hasta 600 kgf/cm<sup>2</sup>; y el desarrollo de técnicas de producción y maquinarias de precio conveniente. Por último se describen los últimos desarrollos en fibras, dentro de las tres o cuatro líneas principales que están en juego. Por el lado de las fibras de acero los esfuerzos e innovaciones se han centrado en los procedimientos de fabricación que abaraten su costo. Las fibras de vidrio han tenido grandes mejoramientos en sus resistencias a los álcalis, que es su punto débil; en las fibras orgánicas, el acento se ha puesto en mejorar sus módulos de elasticidad, que es bajo en el grupo de las fibras relativamente baratas, como polipropileno, celulosa y polietileno, pero que se está mejorando paulatinamente, y en aquellas en que es alto el

módulo, también lo es el precio.

Varios de los temas presentados en el primer artículo son ampliados en los restantes. Cinco de éstos se refieren a las fibras de acero, que todavía son las que de más favor gozan, pero muy cerca están las fibras de vidrio sobre las cuales hay cuatro artículos y los otros tres tienen que ver con fibras orgánicas y fibras naturales.

### Aditivos.

THE CONCRETE SOCIETY. *Admixtures*. The construction Press Ltd. Lancaster, Inglaterra, 1980, 192 pp.

Esta publicación recoge los trabajos presentados en el Congreso Internacional sobre Aditivos celebrado en Londres en abril de 1980.

Hay 15 artículos que abarcan una amplia gama de estos productos cuyo uso se ha incrementado a lo largo del tiempo. Ellos presentan los conocimientos más al día que se tiene sobre los aditivos, cuya acción es en general compleja y por lo mismo el avance en su comprensión es lenta, pero ha tenido algunos progresos en los últimos años.

Algunos artículos dan una visión de los fenómenos que entran en juego en las propiedades del hormigón fresco y en las reacciones entre cemento y agua y en qué virtud son ellos modificados por aditivos.

Por ejemplo, uno de ellos trata sobre los plastificantes y aditivos dispersores sobre la base del análisis de las fuerzas entre partículas desde el nivel árido grueso hasta la dimensión molecular y muestra cómo aquéllos ejercen su acción. Otro trata sobre la hidratación del cemento portland exponiendo las teorías que en la actualidad tienen más aceptación y en especial la que postula como acción primaria la presión osmótica a través de una membrana de gel hidratado. Esta teoría explica las varias etapas del proceso y muchos de los fenómenos observados por diversos medios ex-

perimentales; hay buenas perspectivas de que tenga igual éxito para explicar los efectos de los aditivos retardadores y aceleradores de fraguado.

Varios otros artículos tratan sobre alguna determinada clase o tipo de aditivo, como por ejemplo, aceleradores, superplastificantes, aceleradores desprovistos de cloruros, pigmentos etc.

Otros por último, exponen aplicaciones específicas o en casos específicos. Por ejemplo, para obtener altas resistencias en hormigón prefabricado, para producir losas de piso pretensadas en máquinas con moldes de extrusión o deslizantes; para estructuras marinas de costa afuera; para hormigón bombeado y otros.

### Comportamiento del hormigón armado con un pequeño contenido de fibras.

RAMAKRISHNAN, V.; COYLE, W.V.; KULANDAISAMY, V. y SCHRADER, E.K. Performance characteristics of fiber reinforced concretes with low fiber contents. *Journal of the American Concrete Institute*. Proceedings vol. 78, N<sup>o</sup> 5 (septiembre-octubre 1981), pp. 388-394.

En este trabajo se estudió el efecto de fibras en pequeños contenidos en el comportamiento del hormigón. En experiencias anteriores se habían utilizado contenidos de 80 a 150 kg/m<sup>3</sup> de fibras rectas y 50 a 65 kg/m<sup>3</sup> de fibras dobladas individuales con buenos resultados y los autores desarrollaron un nuevo tipo de fibras con ganchos en los extremos y aglomeradas en haces con adhesivo soluble en agua, con el cual investigaron con contenidos inferiores a los anteriores.

El programa experimental comprendió tres concentraciones de fibras (25, 30 y 40 kg/m<sup>3</sup>) y la serie comparativa sin fibras y consistió en establecer la resistencia a la compresión; la resistencia a la flexión estática incluyendo

la medición de flechas, el módulo de rotura, las curvas cargas-flechas, la determinación de la carga a la primera grieta y de la resistencia a impacto hasta la primera grieta y a la rotura; velocidad de impulsos y módulo de elasticidad estática y dinámica, y condiciones de mezclado plástico.

Aun con el contenido más bajo de fibras se obtuvo un claro mejoramiento en soportar carga después del agrietamiento y muy especialmente en la capacidad de absorción de energía, que se traduce en mayor tenacidad y alta ductilidad.

### Recubrimiento y protección catódica.

MUNGER, C.G. y ROBINSON, R.C. Coatings and cathodic protection. *Materials performance*, vol. 20, N° 7 (julio 1981), pp. 46-52.

Tanto los recubrimientos como la protección catódica son procedimientos ya clásicos en ingeniería para reducir o evitar la corrosión. La protección catódica se realiza por la introducción de corrientes eléctricas de fuentes externas y los revestimientos forman barreras o cortapisas que evitan el flujo de corrientes de corrosión entre zonas anódicas y catódicas o entre pares galvánicos.

En este trabajo se discuten las reacciones químicas que tienen lugar tanto en el cátodo como en el ánodo mostrando que, cuando se usa una combinación de protección catódica y recubrimiento, éste debe tener algunas propiedades específicas. Son éstas gran resistencia dieléctrica; buena estabilidad química, particularmente frente a álcalis; alta adhesión; baja velocidad de transferencia de vapor de agua así como de absorción de humedad; resistencia a la electroendosmosis; espesor óptimo; resistencia al paso de iones, y aplicación sobre una superficie bien preparada.

Tanto en los ensayos de laboratorio realizados como en las observaciones de obras se encontró que el potencial óptimo para protección catódica de estructuras de acero

es de -0.85V y en todo caso debe mantenerse entre ese valor y -1.0V para lograr los mejores resultados en el método combinado de protección. Hay que evitar el sobrevoltaje porque puede tener un efecto perjudicial en el recubrimiento: así, potenciales más negativos que 1.1V pueden dar origen a desprendimiento de hidrógeno y a la acumulación de depósitos altamente alcalinos que acelerarían el deterioro del recubrimiento.

### El control de calidad de los hormigones.

HERRERA, E. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, abril de 1981.

En este trabajo se muestra la implementación de un sistema computacional para el control de calidad de los hormigones. Este nuevo sistema se encargará de emitir los certificados de control e informes estadísticos de la obra, así mismo permite la obtención de correlaciones entre las variables, de familias de histogramas de frecuencia, y se encarga de almacenar toda la información proveniente de los muestreos de hormigón.

Este sistema permitió obtener de un conjunto de obras controladas por IDIEM, en el período 1970-1980, algunas correlaciones de las cuales se obtuvo la información que se anota a continuación.

Relaciones lineales entre resistencias a 7 y a 28 días para distintos tipos de cemento.

Con hormigones de prueba, la relación entre resistencias y razones agua/cemento, para distintos tipos de cemento.

Relación entre resistencia media y el coeficiente de variación de las obras medidas tanto en volumen como en peso.

La prueba de la hipótesis de la constancia del coeficiente de variación de la razón agua/cemento.

La necesidad de establecer la resistencia mínima de probetas individuales indepen-

diente de la dispersión de la obra.

Este trabajo fue realizado en IDIEM y fue dirigido por el profesor Atilano Lamana con la colaboración del profesor Fernando Yañez.

### Estudio de la corrosión del acero en anhidrita y su posible inhibición con nitrato de sodio.

CONTRERAS, M. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, noviembre 1981.

En el presente estudio se ha analizado el comportamiento de la pasta de anhidrita en relación a sus efectos de corrosión en el acero, las causas de estos efectos y su posible inhibición con nitrito de sodio. Se ha analizado, además, el grado de agresividad.

Para realizar lo anterior se programaron y efectuaron variadas experiencias, entre las que destaca la exposición de probetas de acero-pasta de anhidrita a distintas condiciones ambientales por tiempos que variaron hasta 120 días. Se cuantificó la cantidad de corrosión producida, el área afectada, profundidad de la corrosión generalizada o de picadura y el potencial electroquímico del acero en el medio. Se aplicaron técnicas electroquímicas consistentes en el trazado de curvas de polarización y resistencia a la polarización a fin de evaluar la velocidad de corrosión del acero. Complementariamente se realizaron medidas de resistividad, pH y de potenciales de corrosión en diferentes muestras. Para efectuar comparaciones, se aplicaron las mismas técnicas electroquímicas y mediciones señaladas a probetas de hormigón con y sin cloruros. Finalmente se individualizaron algunos factores que producen o afectan a la corrosión en la construcción de obras.

Entre las conclusiones obtenidas destaca la que señala que la incorporación de nitrito

de sodio en cantidades superiores al porcentaje de iones cloruro presente en la anhidrita, inhibe la corrosión pero involucra un cierto riesgo de corrosión localizada en caso de imperfecciones constructivas y, además, disminuye la resistencia mecánica de la anhidrita en aproximadamente un 35%. Otra conclusión importante radica en que las velocidades de corrosión del acero embebido en anhidrita con 1.6% de cloruro de sodio son del orden de 10 veces mayores que la que es dable esperar en hormigón con 2 kg NaCl/m<sup>3</sup> (1.2 kg Cl<sup>-</sup>/m<sup>3</sup> máximo valor contemplado por la norma respectiva). De lo inmediatamente expuesto y con la finalidad de retardar los daños, se refuerza la recomendación obtenida en trabajos anteriores de reducir los porcentajes de cloruros de sodio de la anhidrita a valores no superiores al 1%, los que por lo demás corresponden al porcentaje óptimo en relación a su resistencia mecánica. Así se lograría una vida útil estimada de las estructuras, desde el punto de vista de la corrosión, superior a 30 años.

Este trabajo fue realizado en IDIEM y fue dirigido por el profesor Eugenio Retamal.

### Estudio experimental de materiales y procedimientos de reparación en estructuras de hormigón.

SIMS, P. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, diciembre 1981.

En este trabajo se realiza un estudio experimental de diversos métodos y materiales utilizados en la reparación de fallas o defectos de frecuente ocurrencia en estructuras de hormigón.

Se trata de establecer el grado de recuperación que se logra al reemplazar o reparar la zona defectuosa en un elemento de hormigón, mediante distintos hormigones, y/o diferentes técnicas de reparación.

En todos los casos estudiados se compara

el comportamiento, en compresión axial, de probetas con respecto a probetas con y sin defectos, evaluado a través de sus curvas carga-deformación y tipo de rotura.

El tipo de ensayo realizado consistió en someter a compresión probetas prismáticas de 15 x 20 x 40 cm con zonas defectuosas ubicadas en los centros de las caras de 15 x 40 cm, dejando solamente un núcleo central sano de 7 x 15 cm<sup>2</sup> de sección.

De los resultados se desprende que al reparar hormigón defectuosos se pueden obtener muy distintos grados de mejoría en la resistencia, según cuál sea el método y material usado en la reparación. En efecto, para el caso de inyectar resina epóxica sin alterar las condiciones existentes en el hormigón se obtuvo una recuperación del 95% de la resistencia monolítica, en cambio en el caso de realizar reparaciones superficiales con mortero de cemento se alcanzó solo un 75% de la resistencia monolítica.

Este trabajo fue realizado en IDIEM y fue dirigido por el profesor Federico Delfín.

### Estudio experimental de recubrimientos de protección para las barras de acero del hormigón armado.

VELEZ, E. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, diciembre 1981.

El objetivo principal de este estudio es in-

vestigiar el comportamiento que tienen distintos productos orgánicos como barrera de protección contra la corrosión de las armaduras en hormigones sometidos a la acción de ambientes agresivos. Para tal efecto se recurrió a un ensayo de corrosión acelerada mediante el método electroquímico de electrolisis inducida.

Estos ensayos permitieron evaluar el efecto en el comportamiento de probetas de hormigón armado bajo condiciones de corrosión acelerada de los factores que intervinieron en el estudio, que fueron: calidad del revestimiento; espesor del recubrimiento de hormigón sobre la barra; continuidad del recubrimiento de hormigón, (presencia de grietas inducidas por flexión), y sellado de las grietas mediante sistemas epóxicos de inyección.

Las principales conclusiones obtenidas a través de esta investigación son las siguientes:

- El revestimiento epóxico sobre las barras del hormigón armado mejora notoriamente la resistencia a la corrosión del acero.
- La efectividad de los revestimientos epóxicos, queda disminuía, aparentemente, al producirse agrietamiento en el recubrimiento de hormigón.
- La protección contra la corrosión de la armadura de hormigones reparados, mediante el sellado de las grietas a través de la inyección de resinas epóxicas, es muy incierta, debido a que el proceso es incontrolable.

Este trabajo fue realizado en IDIEM y fue dirigido por el profesor Federico Delfín.