

---

## BIBLIOGRAFIA

---

### Acción del agua sobre los cementos.

REGOURD, M. L'action de l'eau de mer sur les ciments. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*. n° 329, junio 1975, pp. 85-102.

En este trabajo se da cuenta del estudio del mecanismo de la acción del agua de mar sobre cementos, desde el punto de vista de la microestructura del material. Se utilizaron técnicas físicas de análisis de elevada resolución: microsonda electrónica, microscopía electrónica de barrido, difracción de rayos X.

Merece destacarse que estas experiencias se basaron en las probetas de un programa de ensayos de resistencia de los cementos a agua de mar iniciado en Francia a comienzos de siglo. En efecto, a partir de 1902 se sumergieron cubos de hormigón en Boulogne, Brest, La Rochelle y Marsella. En particular en el tercer puerto mencionado, del cual la autora recogió información, se expusieron al agua de mar 1260 cubos desde 1904 hasta 1960, con diferentes tipos de cementos. A cada tipo correspondieron 3 cubos de cada una de tres dosis por metro cúbico de mortero: 600 kg, 450 kg y 300 kg. Se utilizaron cementos portland, de escoria, metalúrgico, puzolánico, sobresulfatado, aluminoso y cal hidráulica.

Cada cierto tiempo se realizan observaciones visuales de los cubos, con marea baja, y se anota su estado de conservación con designaciones que comprenden desde TBE (muy bien estado) hasta 1/n D (fracción destruída) y con anotaciones adicionales de las características del deterioro cuando existe. Además se lleva un registro del análisis químico de los cementos y de la resistencia a la tracción y a la compresión de la pasta

pura y del mortero hasta diez años de edad. Con esos datos ya se habían obtenido conclusiones y establecido algunas correlaciones entre la composición química del cemento, la dosis de cemento y la durabilidad, las que fueron objeto de una publicación de M.R. Peltier en la *Revue des Matériaux de Construction* en mayo de 1973.

Con este trabajo se busca sacar más partido a la rica información que se ha almacenado con este programa, extendiendo los estudios de la escala macroscópica y de la observación del aspecto exterior a la escala del micrón y de la observación de las estructuras cristalinas en función del tiempo.

E.G.G.

### Hormigón de alta resistencia a base de infiltración de azufre.

MALHOTRA, V. M. Development of sulfur - infiltrated high strength concrete. *Proceeding. Journal of the American Concrete Institute*, vol. 9 (septiembre 1975), pp. 466-473.

Se ha obtenido hormigón de alta resistencia con infiltración de azufre a hormigones de dos días de edad y de baja dosis de cemento. Se usaron dos procedimientos de infiltración. El procedimiento A consiste en curar probetas de hormigón fresco durante 24 horas en ambiente húmedo, secarlas a 121°C durante 24 horas, sumergirlas en un baño de azufre durante 3 horas, retirarlas del baño hasta que se enfríen y ensayarlas 1 o 2 horas después. El procedimiento B consiste en curar probetas de hormigón fresco en ambiente húmedo durante 24 horas, secarlas por 24 horas a 121°C, sumergirlas en azufre fundido en vacío durante

2 horas, restituir la presión atmosférica y dejarlas en el baño de azufre durante 1/2 hora adicional, retirarlas hasta que se enfríen y ensayarlas 1 o 2 horas después.

Con ambos procedimientos se han obtenido resultados satisfactorios, siendo mejores los del B.

Los incrementos de las propiedades mecánicas y elásticas y de las características de durabilidad de los hormigones con infiltraciones de azufre son espectaculares. Un valor típico de resistencia a compresión de probetas sulfuradas por el procedimiento B fue de  $560 \text{ kgf/cm}^2$  ( $55.3 \text{ MN/m}^2$ ) comparado con  $58 \text{ kgf/cm}^2$  ( $5.6 \text{ MN/m}^2$ ) de los hormigones comparativos curados húmedos. Las probetas infiltradas con azufre mantenían excelentes condiciones después de más de 800 ciclos de congelación y deshielo, mientras que las comparativas se habían desintegrado después de 40 ciclos.

Este nuevo tipo de hormigón parece especialmente apropiado para piezas de hormigón prefabricado, tales como tubos, postes, silos, durmientes y es un sustitutivo práctico del hormigón impregnado con polímeros, que resulta muy caro.

## 50 años de hormigón de alta resistencia.

JOHNSTON, C.D. Fifty-year developments in high strength concrete. *Journal of the Construction Division*, ASCE, vol. 101, n<sup>o</sup> C04 (diciembre 1975), pp. 801-818.

Se expone la situación actual con relación a hormigones obtenidos con cemento portland y se muestra que usando sólo cemento portland, áridos de buena calidad y procedimientos convencionales se logran hormigones de alta resistencia. A continuación se examinan métodos más complejos y generalmente más caros para esos mismos fines.

Se señala que la tendencia sostenida en la producción de cemento portland ha sido aumentar el contenido de  $C_3S$  y la finura de molienda, con lo que se ha llegado a resistencias iniciales y a largo plazo cada vez mayores. Al parecer, ya no resulta conve-

niente seguir más adelante, porque los problemas de retracción y de desprendimiento de calor, que eran de segundo orden en los cementos portland de las primeras épocas, en los de ahora son de consideración. Se señala, también, que en contra de la creencia general derivada de las afirmaciones de Abrams de que la resistencia depende exclusivamente de la razón agua cemento, el tipo de agregado puede tener un efecto significativo en la resistencia del hormigón. Por ejemplo, ya está probado experimentalmente que la resistencia aumenta cuando tanto el tamaño máximo como la cantidad de árido grueso disminuye y que la naturaleza del árido también tiene influencia. Como resultado de experiencias realizadas para obtener hormigones de alta resistencia por métodos convencionales, se obtuvieron sistemáticamente valores por encima de  $1000 \text{ kgf/cm}^2$  a 28 días.

Los métodos especiales incluyen la disminución del contenido de poros en la pasta de cemento y la incorporación de fibras.

La porosidad de la pasta se puede reducir aplicando presión a la mezcla durante la etapa de hidratación y con este método se han obtenido resistencias del orden de  $700 \text{ kgf/cm}^2$ . Otro procedimiento consiste en impregnar el hormigón posteriormente a su endurecimiento. Este último sistema es el que más desarrollo ha tenido en los últimos años y ofrece muchas promesas, tanto en resistencia (sobre  $2000 \text{ kgf/cm}^2$ ) como en impermeabilidad y durabilidad.

La incorporación de fibras también es un procedimiento de auge reciente, con el que se están haciendo avances muy rápidos y explorando la idoneidad de fibras de varias clases: asbesto, vidrio, acero, carbón, nylon y polipropileno. Los resultados dependen, aparte de la naturaleza de la fibra, de la razón longitud diámetro de ellas, la cual debe ser suficientemente grande para que la falla se produzca por rotura de la fibra y no por deslizamiento, y de la concentración de las fibras por unidad de volumen. Con este procedimiento se obtiene mejoramientos netos en la resistencia a la flexión, en capacidad de absorción de energía, en re-

sistencia al impacto y en límite de fatiga.

E.G.G.

### Un modelo para la fluencia lenta del hormigón.

HOPE, B.B. y BROWN, N.H. A model for the creep of concrete. *Cement and concrete research*, vol. 5, n° 6 (noviembre 1975) pp. 577–586.

La deformación del hormigón producida por cargas de larga duración ha sido profusamente estudiada en el nivel fenomenológico en los últimos años. Se han propuesto varios mecanismos para explicar la influencia de diversos factores en este fenómeno. Hay acuerdo general de que la fluencia lenta del hormigón es una propiedad de la pasta del cemento. Las mayores diferencias de opinión giran en torno al papel que juega el agua en la fluencia lenta de la pasta de cemento hidratada.

Los autores exponen en este trabajo una serie de ensayos que realizaron para medir los cambios físicos de la estructura de la pasta sólida y de los poros como consecuencia de tensiones de compresión y variaciones de humedad. En estos ensayos trabajaron con pasta de cemento en una de las series y en la otra, con mortero de 20% de contenido de arena silíceo fina en volumen.

Proponen un mecanismo del fenómeno basado en el modelo Feldman – Sereda de la estructura de la pasta, pero válido para cualquier modelo que acepte que el agua situada en los microporos del cemento hidratado soporta cargas.

Este modelo explica los resultados experimentales obtenidos. Se encontró que la hidratación es inhibida por las tensiones de compresión. Esas tensiones tienen por efecto reducir la porosidad y aumentar el volumen entre capas con un aumento correspondiente del peso de agua en los espacios entre capas, en fluencia normal básica y por secado. En probetas completamente secas bajo carga, el volumen entre capas disminuye con las cargas

### Control de calidad no convencional de los hormigones

BRACHET, M., RAY, M. y CHARONNAT, Y. Vers un contrôle de qualité non conventionnel des béton hydrauliques. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, n° 336 (febrero 1976), pp. 93–120.

El control tradicional de la calidad del hormigón se hace por ensayos de resistencia a la compresión de probetas tomadas en obra y curadas independientemente de la obra. Por ello tiene un carácter convencional por falta de representatividad física y estadística de las muestras.

El Laboratorio Central de la Construcción (L.C.P.C.) de Francia ha desarrollado un sistema de control integrado que consiste en registrar parámetros de fabricación del hormigón, con el cual se contrarrestan los defectos mencionados.

Se registran las indicaciones de las básculas de pesada de los materiales, el contenido de humedad de los áridos y la potencia de mezclado, que da una información cualitativa de la cantidad de agua total de la mezcla y del tiempo de revoltura.

Este sistema permite constatar la conformidad de la dosificación del hormigón, apreciar la calidad de mezclado de cada carga y eventualmente eliminar cualquier mezcla anormal, detectar inmediatamente anomalías o irregularidades de funcionamiento del equipo, y accesoriamente determinar a muy breve plazo los parámetros estadísticos de la distribución de las características de una producción dada.

En el trabajo se describe el equipo y la forma de interpretar los registros. Se ponen de relieve los beneficios que aporta el sistema para los tres participantes tradicionales en la construcción: el proyectista, el constructor y el controlador.

El método propuesto, asociado a métodos de control no destructivos de hormigón en sitio (tema que no se desarrolla en el trabajo), da lugar a un mejoramiento de la calidad de las obras de hormigón.

## Algunos procedimientos nuevos de impermeabilización y aplicaciones realizadas.

CARON, C. Quelques procédés nouveaux d'étanchéité et les réalisations qui ont découlé. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, n° 334 (diciembre 1975), pp. 53-67.

Es fácil impermeabilizar un material de construcción pero, en cambio, no es tan fácil impermeabilizar una estructura, pues en la mayoría de los casos se trata de un conjunto heterogéneo de piezas y partes que consta de un gran número de uniones y de puntos singulares.

Debido a ello, no hay un método general de impermeabilización, sino que, en cada caso hay que explorar las condiciones específicas que imperan y buscar la mejor solución.

En este trabajo se da cuenta de casos que se han presentado en algunas construcciones y que se han resuelto con éxito aplicando en ellos métodos originales.

En la Iglesia Nôtre-Dame de Royan no se pudo evitar la segregación del hormigón debido al poco espesor de los muros y techo (10 cm y 7 cm, respectivamente). Cada junta de construcción (cada 1,50 m) está marcada por una fisura horizontal y una zona segregada y por allí se filtra el agua. La impermeabilización se hizo por impregnación a baja presión de resina cuya formulación se eligió especialmente, después de estudios experimentales, para que, cumpliendo el propósito básico de sellado, no quedara afectado el aspecto interior y exterior de la iglesia por diferencia de coloración entre la resina y el hormigón a la vista.

En un edificio de Issy-les-Moulineaux el problema era impermeabilizar el radier de hormigón monolítico, fundado sobre pilotes y pilares periféricos. La dificultad principal residía en que de antemano se podía concluir que el radier se iba a fisurar por efectos de cargas alternadas a que estaría sometido. Se eligió como solución una membrana continua de poliuretano de 2 mm de espesor,

con alargamiento a la rotura de más de 600%, protegida en su cara inferior por una lámina de polivinilo celular de 2 a 3 mm de espesor para evitar el punzonamiento del poliuretano por las asperezas del radier y su cara superior por mortero de cemento para evitar daños durante la colocación del hormigón del sobre radier.

El ejemplo anterior sirvió de base para la impermeabilización del fondo de depósitos de agua en las Canarias. Se utilizaron como estanques de almacenamiento los cráteres de antiguos volcanes, cuyos fondos eran de halysita suelta en la cual están inmersos bloques de rocas a profundidades diferentes. Este material no es impermeable y además, por efecto de la acumulación de agua, se asentará (asentamiento estimado de varios metros) y no uniforme sino diferencialmente, por la presencia de los bloques rocosos. Se adoptó la misma solución anterior: una membrana continua de gran elasticidad. Pero en este caso, era necesario que el material usado no se afectara por la presencia de agua y fuese de precio bajo. Para lograr este doble objetivo se desarrolló un producto nuevo, que se denominó Cesacryl, formado por resina acrilamídica, emulsión de bitumen aniónico y tres elastómeros sintéticos. Las proporciones entre los componentes se pueden variar para ajustar las propiedades del compuesto.

Es posible obtener con este material, que está actualmente en pleno desarrollo, alargamiento a la rotura de 350% y total elasticidad.

E.G.G.

## Enfoque probabilístico de la seguridad estructural.

COMMITTEES 114 y 348 ACI. Probabilistic approaches to structural safety. *Proceedings. Journal of the American Concrete Institute*, vol. 73, n° 1 (enero 1976), pp. 37-49.

Este es un conjunto de opiniones y discusiones recogidas en un foro sobre el tema, patrocinado por los Comités 114 y 348 en la

convención de otoño de 1973 del ACI, realizada en Ottawa, Canadá. Hay contribuciones separadas de Raymond C. Reese, C.A. Cornell, Luis Esteva, R.N. White y R.G. Sexsmith; además, el primero de ellos, que ofició de presidente del grupo de trabajo, presenta un resumen de las ideas principales.

Así, se hizo ver que los métodos probabilísticos dan la probabilidad de comparar los factores de seguridad para diferentes materiales y diferentes tipos de construcción; permiten ajustar esos factores según que las consecuencias de la falla de la estructura se estimen como más o menos graves; dan margen a destacar algunas situaciones debido a que son de ocurrencia extremadamente rara, y mejoran y hacen más consistente la evaluación de factores de seguridad para combinaciones de cargas o de materiales. Todas estas son ventajas de estos métodos; pero también tienen desventajas, como requerir gran acopio de datos estadísticos y hacer más complejo el análisis, especialmente en estructuras con alto grado de hiperestaticidad.

Los enfoques probabilísticos manejan simultáneamente los conceptos de variabilidad y de incertidumbre, ésta se puede reducir por el incremento de información, que más allá de un cierto nivel puede ser muy caro. Se cree que, dentro de límites económicos, se puede estimar el efecto de las incertidumbres de las cargas en el factor de seguridad.

Una manera de obtener información es hacer ensayos de estructuras reales, por ejemplo, edificios, para determinar su respuesta estructural y disminuir la incertidumbre en este aspecto. Este punto fue motivo de un esbozo de plan experimental con una estimación global de costos. Hay alternativas de menor costo, que también se analizaron en sus lineamientos generales; la principal es ensayar modelos a escala de un octavo hasta un veinticinco avo, que exige el uso de microhormigón y puede hacer surgir problemas nuevos de interpretación.

En todo caso, se estimó que la ingeniería tiene la obligación frente a la sociedad de proporcionar un grado adecuado de seguridad y para ello debe respaldar sus proce-

dimientos tanto como sea posible por medio del análisis y de la experiencia. La reducción de incertidumbres debe desembocar en ventajas económicas que justifican el esfuerzo. Las actuales normas están empezando a reflejar estas ideas en grado importante.

E.G.G.

### Investigación sobre la aceleración de la corrosión del acero en el hormigón armado. Estudio electroquímico teórico experimental.

HACHEMI, A.A., MURAT, M. y CUBAUD, J.C. Recherche sur l'accélération de la corrosion des aciers dans le béton armé. Etude électrochimique théorique et expérimentale. *Revue des matériaux de construction*, n° 700-3/76, pp. 149-155.

El propósito del trabajo es desarrollar un procedimiento electroquímico de demolición de obras de hormigón armado y para ello los autores estudiaron el comportamiento electroquímico de probetas embebidas en soluciones salinas y sometidas a una fuerza electromotriz externamente aplicada. La idea fundamental era acelerar los procesos de corrosión de las armaduras para obtener rápidamente una fisuración macroscópica, fenómeno que sigue al aumento de volumen por formación de óxidos de fierro hidratado en la interfaz acero hormigón.

Los fenómenos de corrosión se amplifican cuando se aumenta la cantidad de corriente, y a corriente constante, la cantidad de óxidos formados varía según la naturaleza de la solución salina usada (NaCl, KCl,  $\text{NO}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ).

Fue posible determinar la energía eléctrica mínima necesaria para obtener en la probeta de hormigón armado la primera fisura macroscópica, la cual resulta de la formación de los productos de corrosión del acero, cuyos volúmenes molares son superiores al del metal. Esta cantidad de energía varía por aumen-

to de la intensidad de corriente y, a corriente constante, por incorporación de aditivos a la solución salina usada (agua oxigenada).

### Estado del conocimiento sobre resistencia sísmica por corte de albañilerías. Evaluación y vista general.

MAYS, R.L. y CLOUGH, R.W. State of the art in seismic shear strength of masonry. An evaluation and review. *Earthquake Engineering Research Center*, n° 75-21 (octubre 1975), 137 pp.

Es tarea larga separar lo que es útil y aprovechable para un cierto objetivo de entre la multitud de trabajos que se acumulan sobre un tema determinado y hay peligro de que, sin una visión ordenada de conjunto, la mucha abundancia se transforme en farrago asfixiante.

Los autores nos dan en este informe esa visión clarificadora sobre la resistencia al corte de albañilerías, haciendo una revista a la vez panorámica y en profundidad de 25 trabajos dedicados a ese problema. Entre ellos hay uno anterior de los mismos autores titulado *Revisión bibliográfica de la resistencia de las albañilerías a la compresión, a la tracción, a la adherencia y al corte*, que constituye la base y la materia prima para el presente.

El informe comienza con una descripción

crítica de las técnicas de ensayo que han empleado los diversos investigadores, luego define los posibles modos de falla y a continuación hace un análisis de los métodos para predecir o calcular teóricamente la resistencia de las albañilerías sometidas a ensayos, según cada uno de los modos posibles, haciendo ver que los métodos para calcular la resistencia límite por flexión son bastante exactos, mientras que los que se han propuesto para el cálculo de la rotura por corte o tracción diagonal son sólo aproximados.

En sucesivos capítulos se examinan los efectos en la resistencia de parámetros tales como calidad del mortero, tipo de adherencia, relleno de los huecos, armadura, carga normal y velocidad de carga.

El efecto de las cargas cíclicas está expuesto con mucha amplitud, a pesar de que son pocas las experiencias realizadas, por venir claramente al caso de las sollicitaciones sísmicas; se incluyen las curvas carga-deformación e ilustraciones de las formas de falla. Se hace una comparación entre los ensayos pseudo-estáticos (cíclicos con frecuencia inferior a 1 ciclo por segundo) y los dinámicos, en que se concluye que los primeros pueden inducir a errores contrarios a la seguridad.

Finalmente, se tratan los problemas de ductilidad, la disminución de capacidad portante asociada con el comportamiento cíclico y la disminución de rigidez de esos mismos efectos.

E.G.G.