

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
MASTER Y PROGRAMA DE DOCTORADO: TEORIA Y PRACTICA DE LA INTERVENCION ARQUITECTONICA EN LA CIUDAD
EXISTENTE: ASPECTOS HISTORICOS, URBANOS, PROYECTUALES, TECNICOS, ECONOMICOS Y JURIDICOS

LA FISURACION EN EL HORMIGON ARMADO

Autor: Dr.Carmelo PADRON DIAZ

ARQ
69.059
PAD
fis



DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION ARQUITECTONICA
DEPARTAMENTO DE TEORIA, HISTORIA Y PROYECTACION URBANA
DEPARTAMENTO DE EXPRESION, COMPOSICION Y PROYECTACION ARQUITECTONICA
ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

- 1: INTRODUCCION.

 - 2: LA FISURACION Y LA TEORIA DE LOS ESTADOS LIMITES.
 - 2.1: La fisuración como estado límite de utilización.
 - 2.2: Razones para la limitación del ancho y número de fisuras.
 - 2.2.1: Por exigencias de durabilidad de la edificación.
 - 2.2.1.1: Evitar la corrosión de las barras de acero.
 - 2.2.1.1.1: Factores desencadenantes:
 - 2.2.1.1.1.1: Los cloruros: La corrosión localizada.
 - 2.2.1.1.1.2: La carbonatación: La corrosión generalizada.
 - 2.2.1.1.2: Factores acelerantes de la corrosión.
 - 2.2.2: Por exigencias de funcionalidad: la estanqueidad.
 - 2.2.3: Por exigencias estéticas.
 - 2.2.4: Evitar el riesgo psicológico.
-
- 3: LA FISURACION REOLOGICA DEL HORMIGON.
 - 3.1: La fisuración inherente al hormigón en estado plástico
 - 3.1.1: Fisuración de afogado o de retracción plástica.
 - 3.2: La fisuración inherente al hormigón durante el endurecimiento.
 - 3.2.1: Fisuración de retracción hidráulica.
 - 3.2.2: Fisuración por consolidación y/o segregación del hormigón en las primeras horas de puesto en obra.
 - 3.3: La fisuración térmica.
 - 3.4: Fisuración por degradación superficial.
-
- 4: LA DESAGREGACION DEL HORMIGON.
-
- 5: LA DISGREGACION DEL HORMIGON.
-
- 6: LA FISURACION DEBIDA A LA ACCION DE LAS CARGAS: LA FISURACION SISTEMATICA COMO FISURACION NECESARIA.
-
- 7: PROPUESTAS DE PREDICCION DE LA ANCHURA DE LAS FISURAS DEL HORMIGON ARMADO EFECTUADAS POR LAS DISTINTAS NORMATIVAS.



69.059
PAD
45

- 7.1: La normativa española.**
- 7.1.1: Evolución de la normativa española en la regulación de las fórmulas de previsión de la anchura de las fisuras.**
 - 7.1.1.1: La Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón de 1939.**
 - 7.1.1.2: La Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón de 1944.**
 - 7.1.1.3: Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado de 1968, EH-68.**
 - 7.1.1.3.1: Comprobación relativa al diámetro de las barras.**
 - 7.1.1.3.2: Comprobación relativa a la zona de tracción.**
 - 7.1.1.4: Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado de 1973, EH-73.**
 - 7.1.1.5: Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado de 1980, EH-80.**
 - 7.1.1.6: Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado de 1982, EH-82.**
- 7.2: Normativa extranjera:**
- 7.2.1: Formulas de PCA-Portland Cement Association.**
 - 7.2.2: Propuesta del Comité de la American Concrete Institute-ACI.**
 - 7.2.3: Propuesta del CEB-FIP en el Model Code.**
- 8: PROPUESTAS DE PREDICCIÓN DE LA ANCHURA DE LAS FISURAS DEL HORMIGÓN ARMADO EFECTUADAS POR LA DOCTRINA CIENTÍFICA.**
- 8.1: Propuesta de J. Ferry-Borges.**
- 9: LA PREDICCIÓN DE LA ANCHURA DE LAS FISURAS EN LA EII-88.**
- 9.1: Formulas generales para la predicción de la anchura de las fisuras en el hormigón armado.**
 - 9.2: Fórmulas simplificadas para la predicción de la anchura de las fisuras en el hormigón armado.**
 - 9.3: Casos en los que no es necesario comprobar la anchura de las fisuras.**
- 10: CONCLUSIONES: RECOMENDACIONES PARA UNA REDUCCIÓN DE LA FISURACIÓN.**
- 11: LA FISURACIÓN DEBIDA A LA ACCIÓN DE LAS CARGAS: LA FISURACIÓN PATOLÓGICA: INTRODUCCIÓN.**
- 12: LA FISURACIÓN EN TIRANTES.**

13: LA FISURACION PATOLOGICA EN VIGAS.

13.1: *Fisuración en el hormigón de las zonas traccionadas bajo un esfuerzo de flexión simple o flexo-tracción.*

13.2: *Fisuración del hormigón de las zonas comprimidas bajo un esfuerzo de flexión simple o flexo-compresión.*

13.3: *Fisuración por esfuerzo cortante.*

13.3.1: *Características generales de la fisuración de cortantes por tracciones excesivas en el alma.*

13.3.2: *Características generales de la fisuración de cortantes por compresiones excesivas en el alma.*

13.4: *Fisuración por adherencia deficiente.*

13.5: *Fisuración por anclaje deficiente.*

13.6: *Fisuración por esfuerzo torsor.*

14: LA FISURACION PATOLOGICA EN PILARES INTERIORES DE ESTRUCTURAS RETICULARES.

14.1: *Fisuración bajo esfuerzo de compresión simple o compuesta en piezas poco esbeltas.*

14.1.1: *Fisuración por agotamiento de la capacidad resistente del hormigón.*

14.1.2: *Fisuración por pandeo de las armaduras.*

14.2: *Fisuración de pilares esbultos bajo esfuerzo de compresión simple o compuesta.*

14.3: *Fisuración de pilares sometidos a flexo-compresión.*

14.4: *Fisuración de los pilares por corrosión de las armaduras.*

14.4.1: *Fisuración por corrosión de los estribos.*

14.4.2: *Fisuración por corrosión de las barras longitudinales.*

15: LA FISURACION PATOLOGICA EN PILARES EXTERIORES DE ESTRUCTURAS RETICULARES.

15.1: *Patología del pilar extremo correspondiente al último forjado.*

15.1.1: *Fisuración de flexo-compresión.*

15.1.2: *Fisuración ante acciones horizontales.*

15.2: *Patología del pilar extremo correspondiente a la primera planta o al primer sótano.*

16: BIBLIOGRAFIA.

1: INTRODUCCION.

Los autores, en términos generales, utilizan indistintamente los términos fisuras y grietas, para referirse al mismo concepto. Si bien en el ámbito europeo es más frecuente la utilización de fisuración y en el americano el de agrietamiento. De esta forma cuando desde los países sudamericanos se traduce a Dan E. Branson-autor en el que se basa la EH-88 para el estudio de las deformaciones- al español se utiliza el término agrietamiento. Es claro que tanto en el lenguaje coloquial como el técnico la expresión agrietamiento lleva unas connotaciones más graves que el de fisuración.

Ejemplo de la desorientación de la que hablamos es buena muestra la traducción para la edición española de la obra de Albert Joisel' "Les fisures du ciment" por "Fisuras y grietas en morteros y hormigones", cuando en el texto no se diferencian ambos términos.

Dado, pues, la inconcreción con la que en términos generales se manejan los conceptos de microfisuras, fisuras y grietas, creemos oportuno, a los efectos que aquí nos interesa, dar una definición estrictamente dimensional de las mismas, superando así la conocida expresión: "las fisuras son propias, las grietas de los demás". En ese sentido, entenderemos por microfisuras cuando la anchura máxima sea inferior a 0.05 mm.², fisuras cuando esté comprendida entre 0.05 mm. y 0.6 mm. y, por último, grietas cuando las aberturas superan los 0.6 mm. La magnitud de 0.6 mm. como tope absoluto para la fisuración tiene su justificación en ser la máxima abertura autorizada por el artículo 44.2 de la nueva Instrucción EH-88-referido al ambiente I-, que a su vez sigue el comentario del artículo 15.1.4.3 del "Code-model CEB-FIP pour les structures en beton".

Esta cuantificación dimensional, u otra que se considere oportuna, debemos uniformarla a los efectos que el lenguaje de los técnicos, por ejemplo ante los tribunales, sea una referencia unívoca. Es claro que las dimensiones que manejamos no tienen que referirse a otros elementos estructurales, así en rigor sería exagerado, hablando de un muro de carga, que una anchura de 0.6 mm. sea una grieta¹.

¹ JOISEL, Albert. FISURAS Y GRIETAS EN MORTEROS Y HORMIGONES, versión española de la obra LES FISURES DU CIMENT de Santiago HOSPITAL RUBINOL. Editoras Técnicas Asociadas, S.A., 3ª edición, Barcelona, 1.981.

Este parámetro es también el propuesto por el profesor Manuel FERNANDEZ CANOVAS: HORMIGON, Servicio de Publicaciones de la Revista de Obras Públicas y E.T.S. Ingenieros de Caminos, Madrid, pag.392.

Efectivamente, José PAZ DAEZ en su trabajo "Sistemas constructivos: muros de carga y muros entramados", incorporado a la obra colectiva CURSO DE REHABILITACION, nº 7, "CERRAMIENTOS Y ACABADOS", editado por el Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1.988, sostiene en pág.17 que las grietas se miden en milímetros o más y las fisuras cuando no lleguen a un milímetro.

Cuando afrontemos una labor de peritaje creemos debemos posicionarnos en línea con Lyall Addleson' cuando señala:

El diagnóstico de un defecto debe ser el juicio imparcial de todos los datos disponibles y no debe ser un método para confirmar una opinión ya formada.

2: LA FISURACION Y LA TEORIA DE LOS ESTADOS LIMITES.

2.1: La fisuración como estado límite de utilización:

En términos generales la fisuración se incorpora al estudio de los estados límites de utilización. Sin embargo, en situaciones muy especiales, debe ser estudiado teniendo como referente los estados límites últimos. Son los casos en los que hay que evitar, en términos totales, la fisuración, por ejemplo en los depósitos de líquidos muy contaminantes o cuando el ambiente es singularmente agresivo que puede acabar en la ruina de la edificación, si la agresión acaba entrando en el hormigón. En esas situaciones el hormigón armado se muestra especialmente inconveniente, si se quiere absorber las tracciones con el acero. Para la eliminación integral de las fisuras habrá que utilizar el hormigón en masa-en todo caso con armado para acotar las fisuraciones de retracción, afogado..etc-o el hormigón pretensado, en este caso las tracciones del hormigón son compensadas o anuladas por el pretensado.

2.2: Razones para la limitación del ancho y número de fisuras.

En la mayor parte de la edificación arquitectónica las exigencias no será de evitar totalmente la fisuración sino de acotarla. Las razones por las cuales hay que acotar la fisuración se pueden concretar en los siguientes aspectos:

2.2.1: Por exigencias de durabilidad de la edificación:

Seguindo a Jiménez Montoya, García Mesequer y Morá Cabre², se puede definir la durabilidad "como el conjunto de propiedades necesarias para conseguir que el material conserve, durante su vida de servicio y hasta el final de la misma, un coeficiente de seguridad de valor aceptable". La durabilidad de las estructuras de hormigón armado se consigue no sólo a través de lograr no superar ninguno de los estado límites últimos, sino que hay que asociarla también, tal como dispone la Instrucción EH-88 en su artículo 24, a las acciones físicas-variaciones de temperatura, humedades,

ADDLESON, Lyall: FALLOS EN LOS EDIFICIOS, versión española de la obra "Guide to Building Failures" de Rafael Fontes, Editorial Hermann Blume, Madrid, 1.988, pág. 13.

JIMENEZ MONTOYA, P., GARCIA MESEGUER, A. y MORAN CABRE, F.: HORMIGON ARMADO, Editorial Gustavo Gili, S.A., 9ª edición, Barcelona, 1.978, tomo I, pág.111.

heladas, corrientes eléctricas, radiaciones, temperaturas extremas..etc-, a los ataques químicos-aire, gases, aguas agresivas como las del mar, naturales e industriales, áridos reactivos, productos químicos orgánicos e inorgánicos..etc- y a la corrosión. Estos aspectos pueden poner fuera de servicio la estructura si las acciones-de origen físico o químico-derivadas del ambiente, generan un paulatino deterioro que acortan su vida útil. Por tanto una estructura debe no sólo resistir sino que también debe durar, junto a la resistencia mecánica, la estructura debe mostrar capacidad de resistencia química y a la corrosión.

La durabilidad del hormigón depende de un conjunto de factores, entre los cuales, cabe destacar: 1º. Las características del medio en el que se encuentre la edificación; 2º. Las propiedades de los componentes del hormigón como los cementos, áridos-gravas y arenas-, agua, aire, poros y, en su caso, aditivos; 3º. La calidad del proyecto de la estructura, y en general de la edificación; 4º. La calidad de la ejecución de las obras, su curado y, posterior, mantenimiento. En relación con los agentes químicos y la corrosión serán las medidas preventivas las más eficaces y menos costosas. La regla matriz preventiva es la ejecución de un hormigón homogéneo, compacto e impermeable. ¿Cuáles son las sustancias que, a título referencial, resultan agresivos al hormigón?, siguiendo la EH-88, los siguientes:

- a) Gases que posean olor amoniacal o que, por su carácter ácido, enrojecen el papel azul de tornasol humedecido con agua destilada.
- b) Líquidos que desprendan burbujas gaseosas, posean olor nauseabundo, dejen residuos cristalinos o terrosos al evaporarlos o que por su carácter ácido enrojecen el papel azul de tornasol; aguas muy puras o de alta montaña y aceites vegetales.
- c) Tierras o suelos con humus o sales cristalizadas; sólidos secos o húmedos cuyas dispersiones acuosas enrojecen el papel azul de tornasol.

Centrándonos concretamente en las fisuras, veamos algunas de las razones por las cuales es necesario limitar el ancho de fisuras.

2.2.1.1: Evitar la corrosión de las barras de acero.

Como es sabido los metales no se encuentran libres en la naturaleza, sino que están formando compuestos-óxidos, sulfatos..etc-con otros elementos. Para la obtención del metal es preciso desarrollar un costoso proceso de reducción, en base a la utilización de importantes cantidades de energía. Pero los metales, en terminos generales, son

Puede resultar paradójico el que se señale que el hormigón es un material heterogéneo y a continuación se recomiende la máxima homogeneidad. El profesor Alfredo Pérez lo ha definido el hormigón, en el aspecto que aquí interesa, muy explícitamente: "homogéneo en su conjunto, aunque marcadamente heterogéneo en su detalle".

inestables, excepción hecha de los metales nobles, por lo que de forma progresiva y espontánea tienden a volver a su estado natural mediante su oxidación-pérdida de electrones-, fenómeno que denominamos corrosión. La corrosión es, de alguna forma, el proceso inverso de la metalurgia extractiva, por medio del cual el metal tiende a regresar al estado combinado en el que se encontraba en la Naturaleza y el fenómeno se produce mediante la corrosión química o la corrosión electroquímica.

Por tanto la corrosión es un proceso natural que para evitarlo o paliarlo tendremos que tomar una suma de medidas preventivas que, en el caso del hormigón armado la fundamental es recubrir las barras con hormigón a manera de barrera física. Tanto el hormigón en su conjunto como el cemento portland es un hábitat alcalino, que ofrece condiciones adecuadas contra la corrosión de las armaduras.

La destrucción metálica debida a la corrosión supone cuantiosas pérdidas económicas, que pueden alcanzar el 3.5% del producto nacional bruto en los países industriales¹, el profesor Calavera² llega a sostener que "posiblemente el 90% de las grietas que hay en el mundo son debidas a la corrosión", junto a esta dimensión del problema señalar que el fenómeno de la corrosión es factible su prevención pero muy difícil de solucionar una vez presentado, de ahí que la Instrucción EH-88, en su comentario al artículo 24.3, insiste en la necesidad de la prevención de la oxidación, dado que una vez comenzada, sus efectos son imposibles o muy difíciles de evitar, y siempre a un costo elevado, finalizando con una recomendación un tanto curiosa:

Cuando se presuman riesgos serios de corrosión, es aconsejable documentarse debidamente, recurriendo a las publicaciones especializadas o al dictamen de especialistas ulóneos.

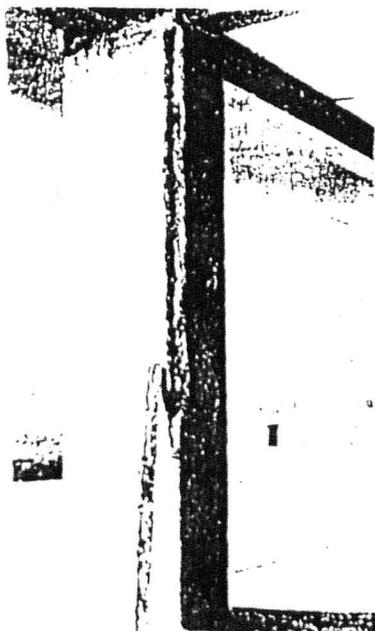
Se puede asegurar que todo proceso que propicie la fisuración, facilita la corrosión. Ello puede ser una exageración dado que son diversos los autores que sostienen que para aberturas de fisuras del orden de 0.2 mm. no afecta a la corrosión de las armaduras, al menos no tanto como la falta de compacidad del hormigón y de recubrimiento. Lo cierto es que la EH-88 limita el ancho de la fisura en función de la agresividad del medio con el objeto de atender el requisito de durabilidad de la estructura, cuando no haya limitaciones superiores por razón del servicio que haya de prestar.

La afectación de las armaduras a través de las fisuras son

Ver la obra de José Antonio GONZALEZ FERNANDEZ: CONTROL DE LA CORROSION: ESTUDIO Y MEDIDA POR TECNICAS ELECTROQUIMICAS, Consejo Superior de Investigaciones Científicas-Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Madrid, 1.989, pág.1.

CALAVERA RUIZ, José: TIPOLOGIAS DE FISURAS EN EL HORMIGON ARMADO, Departamento de Construcción Arquitectónica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, edición al cuidado del profesor José M. Pérez Lizardo, 1.990, pág.27.

fundamentalmente el oxígeno del aire, el agua y el anhídrido carbónico, el proceso de corrosión se incrementa a medida que se genera en torno a las armaduras un ambiente ácido. Inicialmente el hormigón tiene un pH entorno a 13 favorecido por la portlandita- Ca(OH)_2 hidróxido cálcico presente en la pasta de cemento, si ello se mantiene se crean condiciones adecuadas para la protección contra la corrosión de las armaduras, al desarrollarse sobre las mismas una capa pasivante que facilita la inalterabilidad de forma indefinida, del hormigón se puede decir en relación con el acero que es un inhibidor anódico. Ese nivel de pH es el referente seguro para que las armaduras se encuentren pasivadas, que le permite su protección incluso ante la presencia de humedades elevadas en el hormigón, con ello se logra una larga vida en servicio. De lo dicho se deduce que el habitat que propicia la oxidación de las armaduras es aquel que tiene un pH bajo.



Pues bien, el pH puede bajar hasta 8 a través de la carbonatación de la cal por el dióxido de carbono CO_2 del aire, donde está presente con un 0.04% en peso. El volumen de óxido puede ser del orden de ocho a diez veces del metal que se oxida produciendo una fisuración que sigue el trazado de las armaduras, generando, incluso, un desprendimiento del hormigón del recubrimiento.

En el proceso de corrosión será preciso distinguir los factores desencadenantes de los factores acelerantes. Los factores desencadenantes son aquellos que debilitan o anulan la capa pasivante situada en el entorno de las armaduras, mientras los factores acelerantes son aquellos que, una vez rota la capa pasivante, facilitan la corrosión.

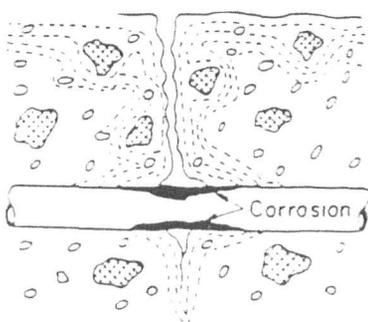
2.2.1.1.1: Factores desencadenantes:

Al analizar los factores desencadenantes debemos distinguir los que propician la corrosión localizada, al romper localmente la película continua pasivante que rodea las distintas barras, de aquellos otros que generan una corrosión generalizada, al romperse íntegramente la referida capa, y que se basan en una reducción del pH del hormigón.

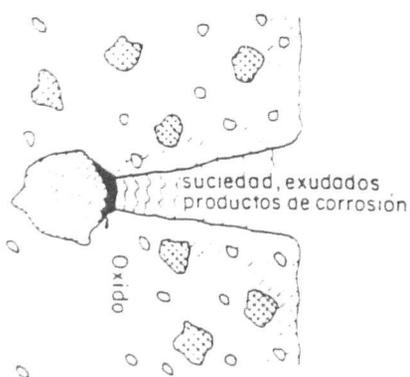
2.2.1.1.1.1: Los cloruros: La corrosión localizada

La presencia de iones cloruros propicia la corrosión

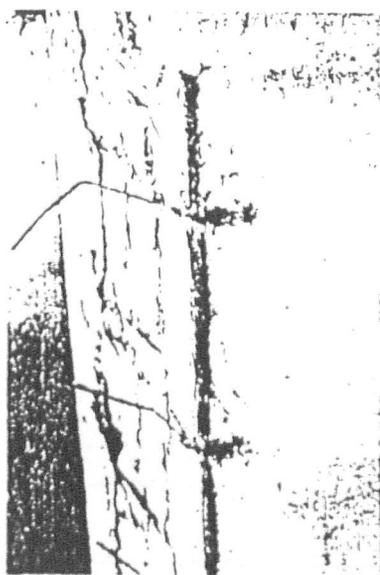
Ver el trabajo de investigación coordinado por la Dra. M^a Carmen ANDRADE: "Corrosión y Protección de Armaduras", subprograma del programa temático del C.S.I.C. "Corrosión y protección de materiales", publicado bajo el título MANUAL: INSPECCION DE OBRAS DAÑADAS POR CORROSION DE ARMADURAS, Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, Madrid, 1989.



"por picaduras", que son una especie de cráteres que se corresponde con el ánodo de la pila de corrosión. Este efecto puede acabar seccionando íntegramente la barra.



La presencia de cloruros en el interior del hormigón puede deberse a la "contaminación" de alguno de sus componentes como el agua, aditivos...etc. Pero también pueden acceder a través de los poros del hormigón en ambientes agresivos como los marinos. Todo ello ha llevado a las diferentes normativas a limitar el contenido de cloruro en los hormigones. Efectivamente, la Instrucción EH-88 dispone, en su artículo 6º, que el agua no debe contener más de seis gramos de cloruro por litro, y en su comentario al artículo 8º señala que el empleo del cloruro cálcico como acelerante en el hormigón armado favorece, siempre, la corrosión de las armaduras. Si se supera aquella cantidad se puede producir corrosiones importantes en las barras que, junto a la disminución de la sección útil, puede producir fisuras, descantillados y caída de trozos de la capa de recubrimiento por el carácter expansivo de los óxidos. Pero los iones cloruros se pueden encontrar en el hormigón a través de la utilización de los áridos como, por ejemplo, utilizar arenas de mar sin que previamente se hubieran lavado, y cuyos efectos son similares a la utilización de agua de mar para el amasado del hormigón, utilización que, como sabemos, está prohibido para el hormigón armado.



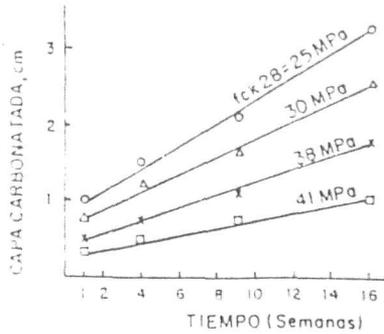
En relación con el contenido total de ión cloro en el hormigón, la Instrucción EH-88, dispone en su artículo 10.1, que no podrá sobrepasarse en un 0.4%, en relación con el peso de cemento, salvo justificación especial. Este contenido de cloruros en el cemento se hace depender en algunas normas, como la ACI-318, de la agresividad del ambiente.

De los cloruros presentes en el hormigón unos estarán ligados químicamente, otros inmobilizados por enlaces físicos y el resto estarán libres, y son los que generan la corrosión.

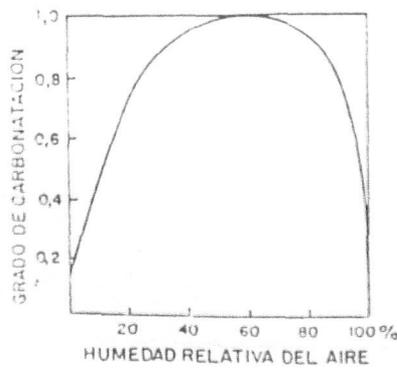
Tal como hemos señalado anteriormente, los cloruros pueden acceder al interior del hormigón a través de sus poros si el ambiente es marino, con el grave inconveniente que el contenido de cloruros va incrementándose con el tiempo. La situación se agrava

en climas cálidos-marinos, por la "niebla salina", en estas situaciones la velocidad con la que acceden los cloruros a las armaduras depende de aspectos como: velocidad dominante del viento, la insolación, la calidad del hormigón, la temperatura, ancho y número de fisuras¹⁰.

2.2.1.1.1.2: La carbonatación: La corrosión generalizada.



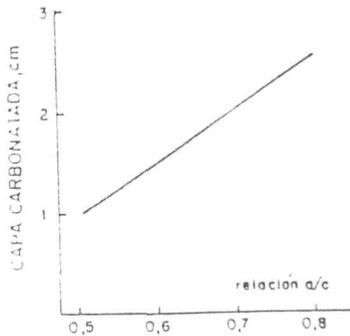
La corrosión generalizada se produce, fundamentalmente, por la disminución del pH del hormigón, creando un habitat de gran basicidad. Ello se propicia mediante la reacción de los componentes básicos Na(OH), K(OH) y Ca(OH)₂, que se encuentran en la fase acuosa del hormigón, con los componentes ácidos que se hayan en el ambiente, como los dióxidos de carbono-CO₂-y de azufre-SO₂-provocando el surgimiento de carbonatos, sulfatos y agua-CaCO₃ y Na₂K₂CO₃-Este "proceso de carbonatación" es el que hace que el pH se haga inferior a 8, con lo que nos encontraremos en el hormigón dos zonas, una, la más próxima a la superficie, que rodea las armaduras, con un pH < 8, y otra, la zona interior de la masa de hormigón, con un pH, incluso, mayor a 13. La diferenciación de estas zonas la podremos detectar si obtenemos una prueba testigo de la pieza y la embebemos en un indicador como la "fenolftalina", que se mostrará incolora en la zona carbonatada y de color rojo-púrpura en la parte del hormigón que se mantiene alcalina.



La velocidad con que se produce la carbonatación del hormigón está directamente relacionado con la calidad y resistencia del hormigón y, fundamentalmente, con la humedad del medio. La humedad que más favorece la carbonatación está entre el 40% y 80% de humedad relativa, sin embargo, en ambientes con humedades inferiores y superiores se muestra menos influyente. Ello es así en la medida que el CO₂ accede a través de los poros y fisuras del hormigón siempre que exista un medio líquido, por lo que en situaciones de humedades muy bajas-ambientes secos-ese medio no existe y cuando la humedad es muy alta y los poros están saturados el referido gas tiene dificultades para penetrar.

Quando el hormigón que envuelve el acero está carbonatado estamos ante una situación similar, como

¹⁰ Ver el trabajo de investigación coordinado por M^a Carmen ANDRADE: Ob. cit., pág.24.

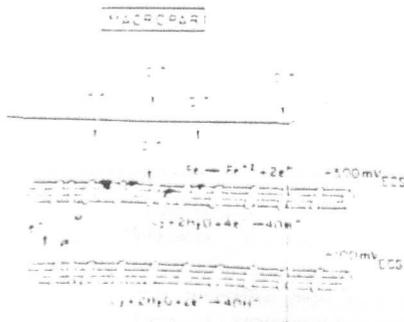


antes se ha dicho, a la que tendría en la intemperie, por tanto el material tiende a progresar hacia su situación natural, oxidándose. La situación se agrava por el hecho de que el agua penetra en el hormigón con cierta facilidad pero, el proceso inverso, el de la desecación, es mucho más lento, con lo que el ambiente húmedo será más persistente que en el ambiente exterior. Si a ello añadimos la presencia de cloruros en el hormigón, nos encontraremos ante una hipótesis pésima. Por otra parte el artículo 7.3.1 dispone que los áridos no deben contener una cantidad de compuestos de azufre expresados en SO_3^{2-} , referidos al árido seco en cantidad superior al 0.4% de la muestra.

2.2.1.1.2: Factores acelerantes de la corrosión.

Hay otros factores que por sí solos no son capaces de propiciar la corrosión, pero que una vez presentada ésta influyen en su cinética. Entre los factores acelerantes destacamos la humedad, la proporción de cloruros, la temperatura y los macropares galvánicos.

El contenido de humedad es el factor con mayor influencia en la velocidad de corrosión¹¹. Cuando la humedad relativa supera el 40-60%, tiene gran influencia en la corrosión de las armaduras. Los efectos de las variaciones de las temperaturas pueden ser múltiples, por una parte el incremento de temperatura aumenta la velocidad de corrosión y, por otra parte, una disminución de la temperatura propicia la condensación, que incrementará localmente la humedad. En Canarias la humedad existente exige tomar medidas precisas de reducción del ancho de las fisuras, mucho más en las edificaciones próximas al litoral, dado que se produce una perjudicial combinación¹² de altas temperaturas con humedades muy elevadas. Por otro lado, la alternancia entre etapas de saturación y secado del hormigón incrementa la capacidad corrosiva en el acero.



Los macropares galvánicos son las pilas que se pueden generar entre las zonas que ya están con corrosión, que actúa de ánodo, y otras que se mantienen pasivas y que hacen de cátodo, por ejemplo la que se puede formar entre dos capas de armaduras conectadas por los cercos.

Pero, igualmente, existen factores que pueden reducir la

¹¹ Ver el trabajo de investigación coordinado por M^a Carmen ANDRADE: Ob. cit., pag.24.

¹² Ver la obra de José CALAVERA RUIZ: CALCULO, CONSTRUCCION Y PATOLOGIA DE FORJADOS DE EDIFICACION, edita INTEMAC, 4^a edición, Madrid, 1.988, pag.216.

velocidad del fenómeno corrosivo, son los denominados inhibidores de la corrosión. Entre esos factores están los aditivos inhibidores de corrosión que se añaden al agua de amasado, como el nitrito cálcico, dicromato potásico, nitrito sódico..etc. Los aditivos inhibidores de la corrosión no deben alterar las propiedades del hormigón.

2.2.2: Por exigencias de funcionalidad: la estanqueidad:

Cuando haya que evitar la fisuración por razones de estanqueidad, en ese caso la Instrucción limita a 0.1 mm. la anchura máxima de la fisura. Por otra parte, la estanqueidad del hormigón es uno de los aspectos que más favorablemente intervienen en la resistencia de la superficie del hormigón a la intemperie¹³.

2.2.3: Por exigencias estéticas:

No deteriorar la apariencia estética de la edificación, evitando con ella una reducción en su valor económico es una de las razones para limitar tanto el ancho de las fisuras como el número de ellas.

2.2.4: Evitar el riesgo psicológico.

En general, el ciudadano asocia cualquier fisuración a una expresión patológica de la edificación. Cuando las fisuras se refieren a elementos estructurales la sensación que adquiere es la de peligro. La fisuración y las deformaciones de los elementos estructurales son los parámetros que más inquietud provocan en el usuario, dando lugar a lo que se ha dado en denominar riesgo psicológico. En este sentido y por las investigaciones realizadas¹⁴, el ojo humano detecta fisuras a una distancia-en metros-diez veces igual a la anchura de la fisura-expresada en milímetros-, con lo que las fisuras de 0.1mm se pueden observar a simple vista a una distancia de un metro. Será pues necesario distinguir, como haremos posteriormente, la fisuración patológica de la fisuración necesaria, la primera como sintomatología de una patología existente y la segunda como expresión de un trabajo estructural previsto y controlado.

¹³ Ver la obra de Adolfo DELIBES LINIERS: TECNOLOGIA Y PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGON, edita INTEMAC, Madrid, 1.987, pag.236.

¹⁴ Estas investigaciones han sido realizadas en México por J. DIAZ PADILLA y F. ROBLES, y presentadas al "Simposio Internacional sobre Agrietamiento, Deflexiones y Resistencia de Sistemas de Pisos en Concreto", Convención anual American Concrete Institute-ACI-, marzo de 1.971, con el título "Human Response to Cracks in Slabs". Ver la obra de Oscar M. GONZALEZ CUEVAS, Francisco ROBLES F.V., Juan CASILLAS G. de L. y Roger DIAZ DE COSSIO: ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO, Editorial Limusa, México, 1.974, págs.203 y 208; igualmente, el trabajo de José CALAVERA RUIZ: CALCULO, CONSTRUCCION Y PATOLOGIA DE FORJADOS DE EDIFICACION, editado por INTEMAC, 4ª edición, Madrid, 1.988, pag.217.

3: LA FISURACION REOLOGICA DEL HORMIGON.

3.1: La fisuración inherente al hormigón en estado plástico.

El hormigón como material pseudosólido-elasto-plástico que es, tiene una compleja reología con origen, obviamente, tanto en las características generales del material como en la diversidad de sus elementos componentes-áridos, cemento, agua, aire y aditivos-y la heterogeneidad seccional. De los aspectos reológicos del hormigón, a los efectos que aquí nos interesan, destacamos la retracción, tanto en su etapa plástica como a raíz del proceso de endurecimiento.

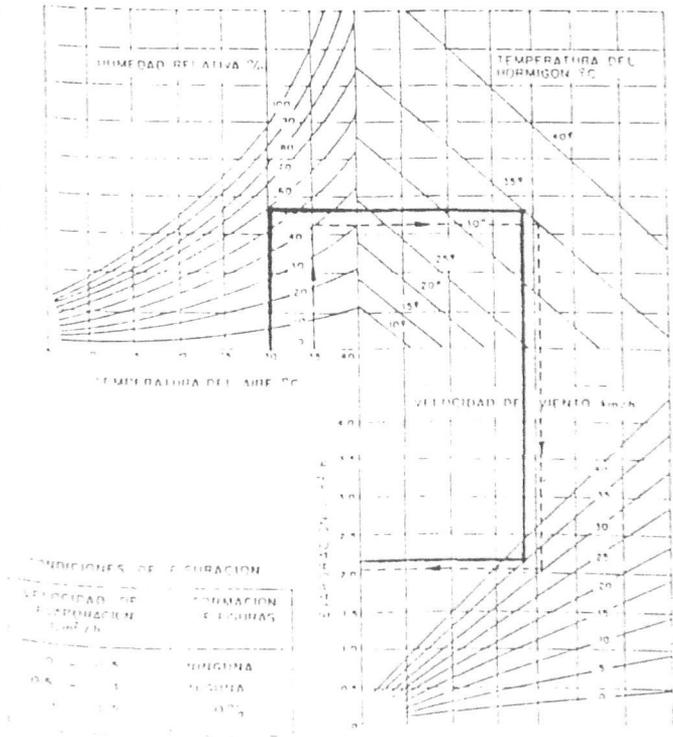
3.1.1: Fisuración de afogado o de retracción plástica.

El afogado puede definirse como el proceso energético de retracción hidráulica que sufre la superficie del hormigón en las primeras horas de su puesta en obra. Cementos, como el Portland, en temperaturas ambientales próximas a los 20º fraguan entre las 4 y 20 horas después de su amasado. Pues bien, durante el fraguado se produce la pérdida de agua por evaporación con la consiguiente desecación superficial del hormigón. Inicialmente, en la práctica totalidad de los hormigones, existe una cantidad de agua muy superior a las necesidades de hidratación del cemento, dado que para ello sería suficiente disponer agua en la cantidad correspondiente a un 25% de peso de cemento. La razón de emplear cantidades superiores de agua viene dada por exigencias de trabajabilidad del hormigón y para garantizar la intimidad cemento-agua. El efecto por afogado se produce en los primeros momentos de la ejecución cuando el proceso de fraguado e inicio del endurecimiento no se ha producido y, por tanto, no se ha posibilitado aún la adherencia entre la pasta y el árido o, en su caso, con las armaduras. Esta fisuración puede explicarse en base a que se produce una retracción diferencial entre la superficie exterior y el resto del material, acusado por ser el proceso de fraguado un proceso exotérmico. Efectivamente, en hormigones con alto contenido de cemento, sobre todo si éste posee abundancia de silicato tricálcico, surge un alto calor de hidratación del cemento que propicia tensiones por diferencias térmicas, que de sobrepasar la resistencia a tracción del hormigón, muy baja en las primeras horas, acaba en fisuración.

La fisuración por afogado es consecuencia de la incapacidad del hormigón de absorber significativas tensiones de tracción hasta no superada las primeras cuarenta y ocho horas de hormigonado, sin embargo en este tiempo es cuando el hormigón experimenta tensiones propias o de coacción, debidas a gradientes térmicos¹³ existente entre el calor de hidratación existente en el interior de la masa de hormigón y la temperatura ambiental del exterior. El desencofrado precipitado puede incrementar la fisuración bajo la influencia del frío nocturno que generan en la superficie tensiones de tracción.

¹³ Ver el trabajo de Fritz LEONHARDT: Ob.cit., pág.4.

El curado del hormigón debe efectuarse de tal forma que evitase que la evaporación sea inferior a la presencia de agua en la superficie. Para ello es necesario aproximarnos al conocimiento de la velocidad de evaporación superficial del agua del hormigón. Velocidad de evaporación que depende, entre otros, de los siguientes factores: Temperatura ambiental, humedad relativa, temperatura del hormigón, velocidad del viento. A título orientativo, digamos que el hormigonado a una temperatura ambiental de 30°, humedad relativa de 60%, temperatura del hormigón de 35° y viento de 35 Km/h, supone una velocidad de evaporación de 2 litros por metro cuadrado cada hora. Se sabe que una evaporación superior al litro y medio por metro cuadrado y hora, supone un proceso de fisuración generalizada por afogamiento. De los distintos factores el más relevante es el viento, sobre todo cuando es seco y caliente. En cualquier caso, con velocidades inferiores a 15 km/h no se producirá un efecto generalizado de fisuración.



Las fisuras de afogamiento tienen una distribución aleatoria, pero en función de las características del elemento hormigonado es posible extraer las matizaciones siguientes:

1º: Las fisuras de afogamiento surgen en las primeras diez horas.

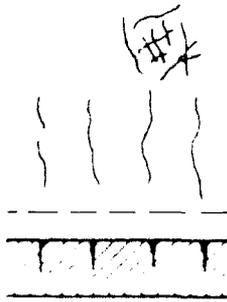
2º: La profundidad que alcanzan las fisuras de afogamiento están entre 10 y 20 mm., difícilmente superior a los 50 mm.

3º: Las fisuras de afogamiento se localizan, fundamentalmente, en las zonas más delgadas y están casi siempre agrupadas. Así, en los forjados unidireccionales de hormigón armado de viguetas y bovedillas las fisuras aparecen encima de las bovedillas, sensiblemente paralelas a las viguetas donde el pequeño espesor es propicio a que se produzca el efecto de desecación prematura.



4º: Si el elemento hormigonado tiene un espesor constante la fisuración es multidireccional, pero localmente es posible destacar la presencia de fisuras ortogonales. Ello se debe a que inicialmente la tensión de tracción es la misma en

cualquier dirección, pero producida una—allí donde el material se mostró más débil—la tensión perpendicular se anula quedando, fundamentalmente, la tensión paralela a la primera fisura que acabará por crear una nueva fisura perpendicular a la anterior. Por ello cabe sostener con Joisel¹⁶: "Si dos fisuras se cortan según un ángulo muy agudo, por lo menos una de ellas no es una fisura de retracción".



5º: Si en el elemento hormigonado domina una dimensión sobre la otra, las fisuras adquieren como dirección dominante la paralela a la mayor de las dimensiones. Un aspecto peculiar de la fisuración de afogamiento es el "nido de fisuras", consistente en la agudización del fenómeno de afogamiento en pequeñas zonas donde se ha producido una mayor concentración de finos o de sólo pasta muy rica en cemento, que se seca antes que el resto y con mayor retracción.

6º: Las fisuras, en rigor microfisuras, son de reducida anchura y de poca profundidad que, en general, no tiene efectos secundarios importantes, a pesar de los inconvenientes estéticos. Obviamente, si el ambiente es muy agresivo y el recubrimiento es reducido puede afectar negativamente a la durabilidad del elemento estructural.

7º: El efecto del afogamiento es, naturalmente, mayor en la medida que sea mayor el contenido de agua del hormigón agudizado por la decantación de los áridos, todo ello configura el "fenómeno de exudación". En ese marco la superficie del hormigón es más rica en agua y en cemento, propiciando el fenómeno de afogamiento. Como se sabe, la Instrucción EH-88, limita la cuantía de cemento, estableciendo el mínimo en 250 kg/m³ y el máximo en 400 kg/m³, pues bien, uno de los peligros de emplear mezclas muy ricas en cemento, reside en los fuertes valores que, en tales casos, pueden alcanzar la retracción y el calor de fraguado en las primeras edades.

8º: El afogamiento se ve incrementado por el soleamiento directo y por el azotamiento de la superficie con aire seco o viento fuerte.

La reducción de la fisuración de retracción por afogamiento se puede lograr con medidas como las siguientes¹⁷:

- 1º: Reducción de la dosificación de cemento.
- 2º: Evitar el empleo de cementos de molido muy fino.
- 3º: Reducción de la dosificación de agua.

¹⁶ JOISEL, Albert: Ob. cit, pág.44.

¹⁷ Ver el trabajo de Adolfo DELIBES LINIERS: Ob.cit., pág.235.

4º: Aumento de la dosificación de arena.

5º: Reducción del tamaño máximo de árido. No obstante lo dicho, hay que evitar el empleo de mezclas ricas en finos.

6º: Evitar las impurezas (sobre todo el contenido de arcillas) en los áridos.

7º: Mejora del curado del hormigón, evitando el impacto de un fuerte soleamiento así como del viento. El curado del hormigón supone siempre la aportación de humedad, a no ser que se produzca el aislamiento total del mismo. A los efectos del curado del hormigón no se insistirá suficientemente en el regado superficial, evitando, eso sí, los ciclos de humedad-sequedad. La utilización de arenas, paja, sacos limpios...etc. permanentemente húmedos, cubriendo las superficies de hormigón una vez pasado el tiempo de prefragado de dos a cuatro horas-, son soluciones económicas y muy eficaces. La utilización de un plastificante impermeabilizante de superficie asegura el hormigón de la afectación ambiental hasta su endurecimiento. El curado del hormigón puede hacerse a través del regado directo del hormigón, siempre evitando su deslavado. El tiempo de duración del curado del hormigón fresco depende de la temperatura ambiental y de la humedad relativa, para ambientes como el del litoral de Canarias, con temperaturas medias en torno a los 25º y humedades relativas de 60 a 70%, el tiempo de curación del hormigón no debe ser, en modo alguno, inferior a los cuatro o cinco primeros días a partir de su puesta en obra, aunque se aconseja el seguimiento de lo dispuesto en la EH-88, que en el comentario a su artículo 20, recomienda prolongarlo hasta siete días e incluso tiempos superiores si se hormigona utilizando cementos lentos, o bien, el ambiente es seco y muy caluroso. La Instrucción dispone, en general, que el curado del hormigón debe prolongarse hasta que éste alcance, como mínimo, el 70% de la resistencia de proyecto, porcentaje que se alcanza, generalmente, en los hormigones de endurecimiento normal a los siete u ocho días.

8º: Empleo de impermeabilizantes de masa y de superficie.

9º: Evitar el empleo de encofrados absorbentes, de ahí que se recomiende no excederse en el tiempo sin desencofrar.

3.2: La fisuración inherente al hormigón durante el endurecimiento.

3.2.1: Fisuración de retracción hidráulica.

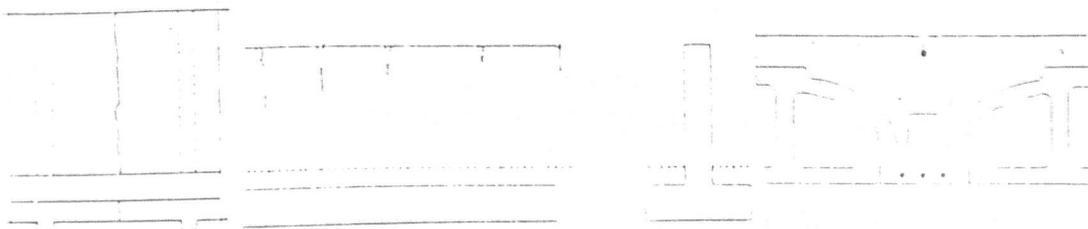
La retracción por pérdida de agua del hormigón, es otra fuente de formación de fisuras. Efectivamente, la retracción hidráulica del hormigón puede generar su fisuración si las condiciones de entorno impide o dificulta su libre deformación. A diferencia de la fisuración de afogado, se produce semanas, incluso meses, después de efectuarse el hormigonado. Los factores de los que depende la retracción hidráulica son, entre otros, los siguientes:

1º: Las características del cemento son el aspecto más influyente en la retracción, entre ellas la finura de molido.

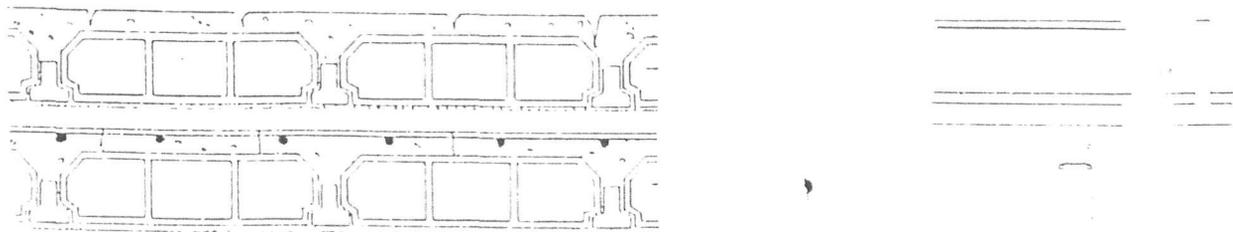
2º: La proporción de finos en el hormigón, entre mayor proporción de finos mayor retracción hidráulica.

3º: Relación agua-cemento, el aumento de la proporción de agua en el hormigón no sólo genera una caída de la resistencia sino que aumenta el valor de la retracción, y por tanto la probabilidad de que se fisure. A igualdad de relación agua-cemento, la retracción aumenta con la cantidad de cemento. Igualmente la fisuración de retracción que se ve agudizada si se emplea, como se dijo antes, cementos de elevada finura de molido.

4º: El espesor del elemento hormigonado expuesto al medio ambiente, la retracción es mayor en los elementos más delgados. Los forjados y muros son, en general, muy sensibles a la retracción. En los forjados unidireccionales las fisuras por retracción hidráulica surgen en la losa superior-mal denominada "capa de compresión"-y paralelas a los nervios, y se pueden iniciar en las armaduras de negativos o en las de reparto.



5º: La cuantía del armado. Así como en la fisuración de afogado la existencia del armado no tiene tanta influencia debido a que el hormigón no ha podido desarrollar capacidad de adherencia en relación con las barras, no sucede lo mismo con la retracción hidráulica donde el armado reduce de forma importante la retracción al funcionar esa adherencia hormigón-acero. A raíz de la entrada en vigor de la Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado, la conocida EF-88, por la que dispone, en su artículo 4.2, una armadura de reparto con alambres de acero de al menos 4 mm. de diámetro en las dos direcciones, lo que disminuirá las fisuras de retracción de las variaciones de temperaturas.



6º: Las características de los encofrados. Efectivamente, los encofrados juegan un importante papel tanto en las fisuras de aforado como en las de retracción, para paliarlo si se utiliza encofrados de madera se deberán humedecer para evitar que absorban el agua contenida en el hormigón. En general, ha de actuarse tal como prevé la Instrucción EH-88 en su artículo 11 en el que se dispone:

...con el fin de evitar la formación de fisuras en los paramentos de las piezas, se adoptarán las oportunas medidas para que los encofrados y moldes no impidan la libre retracción del hormigón.

La fisuración por retracción hidráulica y también por la térmica, está relacionada con la elongabilidad del hormigón, produciéndose la aparente contradicción siguiente: los mejores hormigones, por su resistencia, tienen una menor elongabilidad al ser más frágiles¹⁸, por tanto aunque tengan una menor retracción pueden fisurarse más, al no poder aceptar casi deformación alguna cuando están sometidos a tracción, aunque la resistencia a tracción sea comparativamente más elevada que otros hormigones menos resistentes pero más deformables. Así los hormigones con mayor relación agua-cemento, poco curados tienen una mayor elongabilidad.

1º: Las fisuras de retracción hidráulica surgen posteriormente a su fraguado: semanas, meses, incluso años.

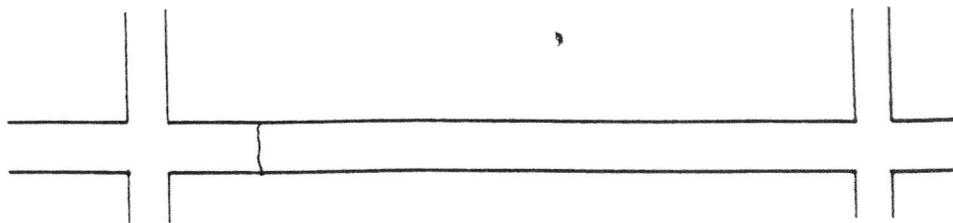
2º: En los elementos de hormigón muy armados, las fisuras tienen muy poca anchura pero numerosas. Dado que las fisuras de retracción son muy finas se detectan con dificultad, si bien después de ser mojado el elemento de hormigón las fisuras se secan más lentamente que la superficie y permite su visualización.

3º: En los elementos de hormigón poco armados, las fisuras tienen mayor anchura y son poco numerosas.

4º: Las fisuras de retracción son de trazado muy claro, con ausencia de ramificaciones. Así las fisuras de retracción en elementos lineales, tipo vigas, son sensiblemente ortogonales a la directriz de la pieza y afectan a la totalidad de la sección transversal, suelen coincidir en las zonas donde se produce el corte de mayor número de barras, no obstante, si el elemento se encuentra sometido a la acción de las cargas antes de la fisuración de retracción lo lógico es que las fisuras no se produzcan en zonas comprimidas. Igualmente, algunas fisuras de retracción podrán acabar cerrándose, al menos parcialmente, como resultado de la entrada en carga de la estructura.

¹⁸ Ver la obra de P. JIMENEZ MONTOYA y otros: Ob. cit, pág. 109.

Obviamente, en los elementos lineales la fisuración dependerá del nivel de coacción en los extremos y de su propia esbeltez.



5º: Las fisuras de retracción se estabilizan pronto.

Las mejores medidas para reducir las fisuras de retracción son, obviamente, las preventivas, entre la que destaca la disposición de juntas de retracción, a cuyos efectos recordemos que para elementos de hormigón armado se puede evaluar la retracción total, incluyendo la retracción plástica, en 0.25 mm. por metro. Las juntas de retracción hidráulica, a diferencia de las juntas de dilatación térmicas, pueden ser incluso temporales, de tal forma que una vez producida la mayor parte de la retracción se pueden hormigonar las juntas. Cuando el hormigón esté armado, la capacidad mecánica de acero se optimiza, a los efectos de retracción hidráulica, con barras de menor diámetro pero más numerosas, ello genera una mayor distribución de las fisuras con anchos más reducidos. Lo que sostenemos traducido en el armado de la losa superior de los forjados lo conveniente es la utilización de mallas electrosoldadas como armaduras de reparto, que con las exigencias de la EF-88 y en función del espesor y el coeficiente de ponderación de acero AEH 500T nos da la tabla siguiente:

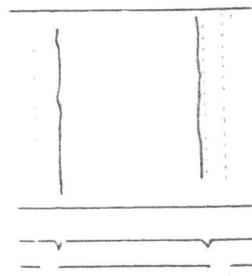
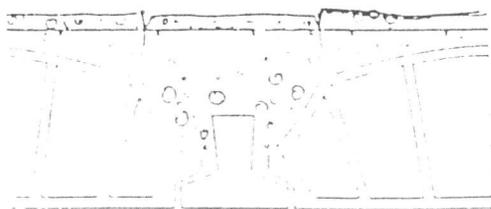
ESPESOR LOSA SUPERIOR (m)	TIPOS DE MALLAS	CE AC
Hasta 5 cm	20 x 30 φ 4 4	0
6 cm	20 x 30 φ 4.5 4 A'5	0
8 cm	20 x 30 φ 5 4.5 A'5	0
10 cm	20 x 30 φ 5.5 5 A'5	1

Finalmente, es necesario un buen y prolongado curado del hormigón, sobre todo en ambientes muy secos, para paliar los efectos de la retracción hidráulica.

3.2.2: Fisuración por consolidación y/o segregación del hormigón en las primeras horas de puesto en obra.

Cuando se hormigona un elemento estructural de espesor no uniforme se puede producir un mayor asentamiento en las zonas de espesores mayores por efecto de la consolidación por el propio peso del hormigón, las fisuras

que puedan aparecer llegan a tener dimensiones preocupantes.



Uno de los casos más frecuentes sucede en los forjados, donde el hormigón tendrá un mayor asentamiento en los nervios en relación al que se produce en la losa, propiciando una fisuración paralela a los nervios, coincidiendo con el lugar donde la bovedilla tiene su tramo más vertical. Cuanto más plásticos y blandos sean los hormigones habrá más probabilidad de producirse asentamientos diferenciales y por tanto de que surjan fisuras. En ocasiones las fisuras coinciden con las armaduras, dado que éstas dificultan el asentamiento.



Igualmente, cuando en las primeras horas de puesto en obra el hormigón se produce una deformación, por ejemplo el encofrado lateral de una viga, el hormigón en esa transición hacia el endurecimiento no podrá adaptarse, en su integridad, a la nueva forma por lo que surgirá una fisuración que puede causar problemas posteriores, dependiendo de la zona donde se localice.

3.3: La fisuración térmica.

El coeficiente de la dilatación térmica del hormigón armado es, en términos generales, de 10^{-5} , pero con variaciones en un ámbito del 30% en más o en menos. El valor en cada caso concreto de aspectos como las características del cemento, áridos, dosificación, higrometría y de las dimensiones de las secciones. Los hormigones realizados con áridos calizos dan coeficientes de dilatación térmica más bajos que los realizados con áridos silíceos.

Los elementos de hormigón son sensibles a los cambios de temperaturas, sobre todo si son de gran longitud, como muros, vigas, correas...etc. El armado supone una mayor distribución de las fisuras lo que lleva a que sean de una anchura más reducida. La fisuración térmica surge con más nitidez en los elementos de importante longitud que están unidos muy solidariamente en sus extremos a otros elementos muy rígidos, que impide el libre acortamiento de la pieza cuando la temperatura baja, con lo que el hormigón se encontrara traccionado, fisurándose si se supera su resistencia a tracción. Por contra, cuando se incrementa la temperatura esos mismos elementos al estar impedido su incremento dimensional se verá sometido a una tensión de compresión, que difícilmente superará su resistencia.

La fisuración térmica puede tener lugar en las primeras horas cuando el hormigón se enfría después de las altas temperaturas al que haya podido estar sometido con

ocasión de la hidratación del cemento, fisuración difícilmente distinguible de las de afogado. El otro tipo de fisuración por efecto de las variaciones importantes en las temperaturas, se produce una vez endurecido el hormigón, la efectividad de las armaduras es mucho más alta una vez que se pueden movilizar las potencialidades de la adherencia.

La morfología de la fisuración térmica es muy similar a la de retracción hidráulica, si bien las variaciones de temperaturas de un hormigón con cierta edad las deformaciones del hormigón es la misma que la de las barras por la plena consolidación de la adherencia.

Dado que los coeficientes de dilatación térmica de los distintos componentes del hormigón son diferentes, se puede producir un fenómeno de microfisuración interna en las zonas de interfases.

3.4: Fisuración por degradación superficial.

El hormigón visto, fundamentalmente, sufre directamente el impacto ambiental en su superficie que puede generar su degradación mecánica. Para evitarlo, el CEB recomienda el que se adopten las siguientes medidas¹⁹:

1º: Utilización de hormigones de resistencia elevada, igual o superior a un H-250.

2º: Empleo de una relación agua-cemento igual o inferior a 0.45.

3º: Evitar los áridos de elevadas dimensiones, como máximo de 20-30 mm.

4º: Utilización de granulometrías muy ajustadas y con máximo contenido de árido grueso (superior a 10mm.) o bien granulometrías discontinuas.

5º: Utilización de áridos duros, resistentes y limpios.

6º: Empleo de hormigón de consistencia seca.

7º: Curado con humectación superficial durante, al menos, 7 a 14 días.

4: LA DESAGREGACION DEL HORMIGON.

La desagregación del hormigón es un grave problema del hormigón que consiste en que el cemento va perdiendo o ha perdido su cualidad de conglomerante, descomponiéndose el hormigón en sus materiales componentes. El hormigón que padece un proceso de desagregación ve muy reducida, cuando no anulada, su capacidad resistente.

La desagregación del hormigón tiene una base química y son los sulfatos y cloruros los principales agentes dinamizadores de esa desagregación. El origen de los problemas puede estar en las características de los materiales con los que se ha efectuado el hormigón-cemento, áridos, agua y aditivos-así como a deficiencias en su conservación.

¹⁹ Ver el Boletín del CEB nº 148, 1.982. Igualmente, ver la obra de Adolfo DELIBES LINIERS: Ob.cit., pág.238.

En función de cual sea el medio en el que se va a producir la conservación del hormigón, se producirá unos requerimientos específicos en los componentes del mismo. Así, si el hormigón va a estar en contacto con el agua del mar será necesario el empleo de cementos pobres de aluminato tricálcico-C₃A-inferior al 7%. Si el hormigón va a estar en contacto con terrenos y aguas sulfatadas, los cementos han de ser pobres en aluminato tricálcico-C₃A-inferior al 5%.

Así como los cloruros influyen poderosamente en la corrosión, los sulfatos provocan la desagregación del hormigón convirtiéndose en una de las agresiones más graves y de más difícil solución, tanto desde el punto de vista económico como técnico. Si tan grave es la presencia de sulfatos en el hormigón, prioritario será saber como pueden llegar hasta él, veamos: 1º. El suelo, que contemos o sobre el que cimentamos, puede ser portador de sulfatos de sodio, magnesio, calcio o potasio; 2º. El agua, en especial las aguas del mar y las residuales. Efectivamente, las aguas del mar contienen, entre otros, los sulfatos sódico y magnésico. Las aguas residuales, tienen gran riqueza de diversos sulfatos.

El peligro de los sulfatos consiste en que reaccionan con el aluminato tricálcico hidratado de los cementos, formando el "sulfoaluminato tricálcico hidratado", el "bacilo del cemento"²⁰, una especie de una papilla blanca-grisácea, de gran poder expansivo al aumentar de volumen hasta dos veces y media, dado su alto contenido de agua cristalizada que poseen.

Pues bien, iniciado por el efecto expansivo un proceso de fisuración ello da vía de acceso a otros agentes agresivos que, a su vez, inician nuevas fisuraciones que concluye en el fenómeno de la desagregación. El aspecto exterior del hormigón ofrece un color blanquecino.

Otra de las reacciones posibles de los sulfatos tiene lugar con la cal contenida en el cemento, dando lugar a yeso hidratado.

Para evitar el fenómeno que comentamos las medidas tienen, fundamentalmente, carácter preventivo: 1º. La ejecución de hormigones compactos e impermeables, al objeto de impedir el acceso de aguas sulfatadas, el agua que se emplee en el amasado del hormigón su contenido de sulfatos, expresados en SO₄²⁻, debe ser inferior a 1 gramo por litro, excepto si se trata de cementos P-Y, portland resistentes al yeso, especial para obras en terrenos yesíferos exentos de sulfato magnésico, en el que el porcentaje puede llegar hasta 5 gramos por litro; 2º. Limitar el contenido de aluminato tricálcico de los cementos a utilizar; 3º. El contenido de SO₄²⁻ en los áridos secos no debe ser superior al 1.2% del peso total de la muestra, según dispone el artículo 7.3 de la Instrucción EH-88.

La velocidad de agresión y por tanto de formación del "bacilo del cemento" depende, además de lo dicho de otros aspectos como las variaciones del nivel freático. En relación con el agua en contacto con el hormigón el C.E.B. señala que la agresividad es ligera cuando el contenido de SO₄ es inferior a 300 mg/litro, moderada cuando es inferior a 1.000 mg/litro y alta si es superior a los 1.000 mg/litro. El agua del mar, a pesar de su contenido en iones de sulfato y de magnesio, no resulta tan agresivo dado a que posee

²⁰ Conocido también por "bacilo de Michaelis", "sal de Candlor" y "emringita".

cloruros que propician el surgimiento de "Cloroaluminato tricálcico hidratado" que dificulta la actuación de los sulfatos. Los cementos aluminosos y los siderúrgicos resisten bien la acción de los sulfatos. Finalmente, los puzolánicos al fijar la cal reducen la formación de yeso.

En cualquiera de los casos, insistimos, lo más conveniente para evitar la desagregación del hormigón es lograr su impermeabilización. Si el hormigón ya está afectado por el proceso disgregador las soluciones son muy difíciles, de ahí que tengamos que extremar las medidas preventivas.

Aunque no sea un fenómeno específico de desagregación del hormigón, conviene estudiar en este lugar aquí la patología del resto de contenidos perjudiciales de los áridos. A los efectos perjudiciales de las piritas, aún en pequeñas cantidades, se evitará utilizar áridos que puedan presentar una reactividad potencial con los álcalis del cemento. Pues bien, la UNE 7.137, dispone que un árido será considerado como potencialmente reactivo si: Para una alcalinidad R mayor o igual a 70 la concentración de S_2O_3 resulta mayor que R , o siendo R inferior a 70 la concentración de S_2O_3 es mayor que $35+0.5R$. La reacción de los minerales silíceos contenidos en los áridos y los hidróxidos alcalinos producto de los componentes del cemento. El resultado es una especie de gel blanquecino acaparador de agua que provoca su expansión, que al ser dificultada por la pasta endurecida, la acaba fisurando y, con ello, la destrucción del hormigón. La expresión exterior del fenómeno puede consistir en la aparición en el exterior del hormigón de pequeñas gotas del gel que ha progresado a través de las fisuras, y también mediante fisuras pequeñas y de trazado irregular que surgen en la superficie del hormigón, en ocasiones aparecen pequeños cráteres en cuyos bordes se pueden identificar gotitas del referenciado gel. No parece que en España la reactividad de los áridos con los álcalis de los cementos sea frecuente.

5: LA DISGREGACION DEL HORMIGON.

La disgregación del hormigón supone que trozos de ese hormigón se separa del conjunto, por la pérdida del equilibrio local. El conjunto de fisuraciones de la que hemos venido hablando pueden estar lo suficientemente enlazadas para que se produzca el desprendimiento, que puede ser más espectacular que expresión de un peligro inminente.

Uno de los factores más favorecedores de la disgregación es la corrosión, por su gran poder expansivo, mucho más grave en las estructuras situadas en el litoral marino.

La disgregación puede ser la respuesta a un proceso interior de desagregación de la masa del hormigón, en cuyo caso la situación es de extrema gravedad.

Como se dijo anteriormente, uno de los graves peligros del hormigón es la presencia, vía de los áridos, de las piritas. Las piritas, como señala la Instrucción EH-88 en su comentario al artículo 7º, aún en pequeña cantidad, resultan muy peligrosas para el hormigón, pues, por oxidación y posterior hidratación, se transforman en ácido sulfúrico

y óxido de hierro hidratado, con gran aumento de volumen.

6: LA FISURACION DEBIDA A LA ACCION DE LAS CARGAS: LA FISURACION SISTEMATICA COMO FISURACION NECESARIA.

Compartiendo el planteamiento del profesor CALAVERA²¹ cuando señala que son tres los síntomas externos que pueden anunciarnos la existencia de un problema patológico de las estructuras de hormigón: aspecto del hormigón, fisuración y deformación excesiva. Lo cual no quiere decir que todo cambio de aspecto, fisuración o deformación son expresión de problemas.

En concreto, con frecuencia, se presentan las fisuras en el hormigón armado como un síntoma de lesión, incluso por especialistas²², a lo que son muy receptivos los propios miembros de los tribunales de Justicia cuando juzgan las actuaciones profesionales de los agentes que intervienen en el proceso constructivo.

La aparición de fisuras puede ser en muchos casos una consecuencia directa del trabajo estructural correcto de materiales como el hormigón armado. Un elemento estructural de hormigón armado sometido a tracción, flexión simple y flexo-tracción es normal que ofrezca una fisuración si se desea aprovechar mínimamente la capacidad resistente del acero. La misma normativa española, la EH-88, en el comentario a su artículo 44.1

²¹ CALAVERA RUIZ, José: "Ensayos de información: Aplicación a la patología de las estructuras", en CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION: CURSILLO-1: CONTROL DE OBRAS DE HORMIGON, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, segunda edición, Madrid, 1.981, pag. 128.

²² No dudo que los autores que voy a mencionar manejen correctamente los conceptos, pero con la reducción inducen a interpretaciones que en principio supongo no desean. Veamos:

José PAZ BAFZ, en su trabajo "Sistemas constructivos: muros de carga y muros entramados", incorporado a la obra colectiva CURSO DE REHABILITACION, nº 7, "CERRAMIENTOS Y ACABADOS", editado por el Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1.988, sostiene en pag.17:

"Fisuras y grietas: suelen ser los primeros síntomas de una lesión..."

Manuel FERNANDEZ CANOVAS, en su magnífico libro PATOLOGIA Y TERAPEUTICA DEL HORMIGON ARMADO, Editorial Dossat, S.A., 2ª edición, Madrid, 1.984, pag.243, señala:

"En el caso de estructuras de hormigón armado la fisuración representa uno de los síntomas patológicos más importantes de su comportamiento en servicio..."

"...La fisuración sea actualmente uno de los síntomas más elocuentes de las enfermedades del hormigón armado en masa y que en muchos casos va a permitir al técnico experimentado conocer, sin gran error, el motivo que la ha producido y la gravedad que representa este estado en un caso concreto".

H.J. ELDRIDGE, en su publicación CONSTRUCCION: DEFECTOS COMUNES, Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 1.982, pag.2, indica:

"Las grietas son fruto de la aplicación, en parte o en todo el edificio, de cargas que no puede soportar".

sostiene:

...en las estructuras de hormigón armado suele ser inevitable la aparición de fisuras.

Posiblemente, la fisuración sea la nota más negativa del hormigón hasta hoy día, ella representa una de las grandes impotencias del hormigón, expresión de su baja capacidad para absorber tracciones, que se ha paliado con la incorporación de armaduras y con el pretensado. Lo peor es que aún en un buen hormigón la fisuración coherente con el trabajo tensional es la vía más frecuente por la cual verá reducida su durabilidad.

Diríamos que, en general, las estructuras de hormigón armado se dimensionan para admitir fisuraciones desde un estado de servicio de las cargas². De ahí la necesidad de reiterar la diferenciación entre la fisuración patológica como expresión de un comportamiento estructural previsto, de la fisuración patológica como expresión sintomatológica de problemas en la estructura. Por ello es preciso transmitir al usuario la idea de que en su edificio de hormigón armado surgirán fisuras y/o grietas sin que ello suponga, necesariamente, un síntoma de que la edificación ha sido mal proyectada y/o mal ejecutada. De hecho las normativas prevén una fisuración máxima, cuya cuantificación se hace depender de la mayor o menor agresividad del medio y, por tanto, no asociada a una expresión patológica del mal comportamiento estructural del elemento.

Cuando un arquitecto haya de afrontar el análisis de una estructura o edificación existente debe tener un alto conocimiento de las causas de las fisuras o grietas. Tal como sostenemos, cabe hablar de una doble clasificación de las mismas, aquellas que provienen de las exigencias del trabajo estructural previsto y las que son señales inequívocas de una proximidad al agotamiento de la capacidad resistente de la sección o pieza estructural. Debemos ser capaces de distinguir las fisuras de agotamiento a compresión del hormigón y por tanto ligadas a la capacidad resistente de la pieza, de las que se producen en las zonas traccionadas donde la capacidad resistente se encomienda a las armaduras. De ahí que las fisuras en el hormigón comprimido son expresiones patológicas que deben preocuparnos seriamente. Sin embargo las fisuras del hormigón armado en las zonas de tracción son consustanciales al trabajo estructural y no anuncian, necesariamente, una proximidad de la rotura de la pieza y es que cuando se produce la fisuración en las zonas de tracción la rotura, ligada a la fisura, se produce por el agotamiento de la capacidad resistente del acero no por la propia fisuración del hormigón que desde la fisura dejó de colaborar en el equilibrio de la sección. Dicho en otros términos el acero toma su máxima tensión en las fisuras del hormigón.

Por lo expresado, la fisuración del hormigón que limita la EH-88, es un estado límite de utilización y trata de prever los efectos relacionados con compatibilizar las necesidades que la estructura ha de satisfacer o bien con su propia durabilidad. De una forma indirecta la fisuración puede acabar por colocar a la estructura en un estado límite último, si a través de ella se genera una corrosión de las armaduras que reduzca su capacidad resistente.

Ver el trabajo de Albert FUENTES: NUEVAS BASES DE CALCULO DEL HORMIGON ARMADO: IMPORTANCIA DE LA FISURACION, versión española de la obra LE BETON ARME APRES FISSURATION realizada por Ramón MARTI AYXELA, Editores Técnicos Asociados, S.A., Barcelona, 1.982, pág.7.

La fisuración máxima²⁴ autorizada por la Instrucción Española EH-88 están, obviamente, referidas a las zonas traccionadas del hormigón y transversales a las barras, y son en términos de anchura característica de fisura:

Ambiente I²⁵..... $W_k < 0.4 \text{ mm.}$

Ambiente II²⁶..... $W_k < 0.2 \text{ mm.}$

Ambiente III²⁷..... $W_k < 0.1 \text{ mm.}$

Siendo el valor de $W_k = 1.7 W_m$ (ancho medio de las fisuras).

La fisura máxima en el ambiente I supone adoptar un valor superior al que venía adoptándose según la EH-82, donde se fijaba en 0.3 mm. Si bien se ha aumentado la anchura de las fisuras se compensa con las exigencias de unos recubrimientos mayores. Y es que si se exige recubrimientos mayores y se mantiene las anchuras de las fisuras implica, necesariamente, que el acero ha de tener una tensión de trabajo en el estado de servicio inferior. La fisura tiene, en abstracto, una sección transversal en forma de triángulo isósceles y lo que se limita es la anchura del lado desigual y no la altura o profundidad de la misma. Con mayores recubrimientos se producirá un incremento de la anchura de las fisuras si se desea mantener la tensión en servicio de las armaduras, pero con estas mayores aperturas de fisuras se incrementa el riesgo psicológico, incluso podrá dar lugar a una rotura de las armaduras de piel.

Igualmente, con mayores recubrimientos y si no se disponen armaduras de piel las fisuras de retracción hidráulica serán mayores, al tener más distantes las armaduras que las mitigue.

No es fácil pronunciarse de forma indubitada que sea mejor o peor para la fisuración la utilización de armaduras con diámetros pequeños o grandes. Las deformaciones que se traduce en la fisuración necesaria es independiente del diámetro y si de su calidad o límite elástico. Una misma fisuración afecta más a las barras de menor diámetro, puesto que la corrosión decresta en un mayor porcentaje la sección útil. Lo recomendable será que se haga trabajar al acero a una tensión de servicio baja, pero ello supone un encarecimiento de la estructura cuando el mercado por donde ha avanzado, es en producir aceros de altas resistencias que demanda, desgraciadamente, un incremento de la fisuración necesaria.

Conveniente será que recordemos el valor de la tensión de tracción que hace fisurar al hormigón, con la expresión dada por el artículo 44.3 de la EH-88: $f_{ctm} = 1.5 f_{ctk} = 0.68 f_{ck}^{2/3}$, lo cual nos permite hacer la siguiente tabla:

²⁴ Para comparar con lo dispuesto por otras normas y otros autores ver la tabla 10.1 de la obra de Oscar M. GONZALEZ CUEVAS y otros, ob.cit., pág.203.

²⁵ Estructuras en interiores de edificios o medios exteriores de baja humedad (no se sobrepasa el 60 por ciento de la humedad relativa más de noventa días al año).

²⁶ Estructuras en exteriores normales (no agresivos) o en contacto con aguas normales o terreno ordinario.

²⁷ Estructuras en atmósfera agresiva industrial o marina o en contacto con terrenos agresivos o con aguas salinas o ligeramente ácidas.

H=	250	200	175	150 kg/cm ²
f _{cm} =	27	23	21	19 kg/cm ²

Las normas ACI plantea como valores de ruptura del hormigón y por tanto su fisuración para los valores dados por la siguiente expresión $f_r = 1.989 f_{ct}^{1/2}$, o bien $f_r = 0.0436(\tau \cdot f_{ct})^{1/2}$, que generan resultados superiores a los de la norma española.

La fisuración necesaria no reduce la capacidad resistente de la pieza, aunque si puede afectar a su durabilidad, al servicio que ha de prestar y la seguridad psicológica por su aspecto. Pero además, afecta en gran medida la deformación que en definitiva vaya a adquirir las deformaciones de los elementos estructurales, otro de los estados límites de utilización. Efectivamente, la nueva redacción del artículo 45 de la EH-88 obliga a introducir en los cálculos de deformaciones la afectación de la fisuración en los momentos de inercia, siguiendo las disposiciones consolidadas en la American Concrete Institute, ACI-318, en las que se aplica la fórmula ideada por D.E. Branson. La fisuración hace bajar de forma apreciable la rigidez a flexión de los elementos flechados tipo vigas, tener ello en cuenta supone realizar un cálculo estructural iterativo.

En general el dominio de las causas de las distintas fisuras que pueden surgir en un elemento estructural es imprescindible para hacer un diagnóstico acertado.

Llegado a este momento podemos asumir la reducción-siempre inexacta-de que la fisuración necesaria será aquella asociada a la movilización de tracciones en el acero exigida para el equilibrio de una sección o una zona de las piezas de hormigón armado. En este sentido cabe establecer la siguiente clasificación:

Fisuración por esfuerzos de tracción pura.

Fisuración por esfuerzos de flexión simple y flexo-tracción.

Fisuración por cortante: tracciones en el alma. Son en general de escasa anchura, pero muy difícil de garantizar anchuras de menos de 0.2mm.

Fisuración por necesidades de anclaje de las armaduras traccionadas.

Fisuración por adherencia.

En términos generales la fisuración necesaria con origen en el trabajo estructural es una fisuración activa y no estabilizada. Concepto a manejar adecuadamente dado que es posible que las fisuras de las que hablamos puedan incrementar su anchura sin variación en el estado de carga externo. En el cálculo de estructuras de hormigón muy pocas veces se tiene en cuenta los análisis de segundo orden, que origina una variación tensional. Pues bien si las deformaciones no están estabilizadas, la fisuración tampoco lo estará. A título de ejemplo los asentamientos de la cimentación no se estabilizan, en el mejor de los casos, hasta pasado media década después de entrar en carga la estructura, lo que hará que la fisuración se vea afectada.

La fisuración de tracción en el hormigón son inevitables y el proyectista debe prever tanto su posible localización como las anchuras máximas, en definitiva controlar el proceso de fisuración no patológica. La normativa, tal como hemos dicho, define los valores característicos de las anchuras de fisuras, asociados a un nivel de confianza del 95%. Por tanto es normal que surjan en la edificación un porcentaje inferior al 5% con ancho superior al definido en proyecto, sin que por ello quepa exigir responsabilidades al

arquitecto. Obviamente, el arquitecto y cliente pueden pactar a través del cual el arquitecto se obligue a evitar una fisuración inferior al exigido en la EH-88.

El arquitecto frente a una fisura de tracción del hormigón debe cerciorarse de que detrás están las correspondientes armaduras, indagación mucho más importante en aquellas zonas donde su ausencia es frecuente. Es el caso de la fisuración a cortante, necesaria cuando haya armaduras y patológica cuando no exista.

Cuando la fisuración necesaria sea un problema por el ambiente se aconseja no utilizar diámetros superiores a los 25 mm.

Hay otra fisuración que más que necesaria es inevitable, que surgen como consecuencia de las fuerzas internas generadas a lo largo del proceso de fraguado y endurecimiento del hormigón, y de la que ya hemos hablado.

7: PROPUESTAS DE PREDICCIÓN DE LA ANCHURA DE LAS FISURAS DEL HORMIGÓN ARMADO EFECTUADAS POR LAS DISTINTAS NORMATIVAS.

La normativa además de disponer las distintas anchuras máximas, en función de las condiciones ambientales, aporta criterios y fórmulas para la determinación de la anchura previsible. Insistimos que en el fenómeno de la fisuración tiene una predicción, tanto de la distribución de las fisuras como sus anchuras, que además de exigir estudios muy complejos se incorporan a él factores aleatorios, por lo que haremos bien en adoptar los distintos valores obtenido con carácter de referencia orientativa. Los factores con más influencia en la fisuración del hormigón armado bajo las sollicitaciones de las acciones en servicio son: 1º. Cuantificación, localización y duración de las cargas; 2º. Calidad del hormigón, sobre todo la adherencia; 3º. Características del armado, que van desde la separación de las barras traccionadas hasta la forma de diseño de anclajes, nudos...etc.; 4º. Los recubrimientos; y 5º. Las dimensiones de las zonas influidas por las barras traccionadas.

7.1: La normativa española.

7.1.1: Evolución de la normativa española en la regulación de las fórmulas de previsión de la anchura de las fisuras.

Del hormigón se puede decir, que en relación con la edificación, es el material del siglo XX, pero su conocimiento y dominio se ha ido produciendo a través de un proceso progresivo. Seguramente, que la perspectiva en la que inicialmente se concretaron los esfuerzos de investigación ha sido el estudio de la resistencia. Los aspectos resistentes como producto de esa investigación ha concluido por ahora, en la superación del cálculo clásico y su sustitución por el método en rotura. En este sentido cabe decir que hasta 1.968, en España, el cálculo de las estructuras de hormigón se había

efectuado con fundamento en las hipótesis del método clásico, en base al comportamiento elástico. A raíz de 1.968, se inicia un cambio importante en la normativa, incorporándose el método en rotura.

En relación con las cuestiones relacionadas con la durabilidad, fundamentalmente la fisuración y deformación, la evolución tanto científica como normativa ha sido mucho más lenta. En realidad la normativa más reciente, la EH-88, esos son los aspectos que han tenido un mayor nivel de modificaciones.

En cualquier caso, lo que resulta imprescindible cuando el técnico deba afrontar el análisis de una edificación existente, ya sea para el estudio de su patología o para efectuar su rehabilitación, es el conocimiento, entre otras cuestiones, de la normativa histórica en vigor en el momento de su proyectación y ejecución. De ahí, que demos un repaso somero a las distintas normativas del hormigón, en relación con la fisuración.

7.1.1.1: La Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón de 1.939.

Por Orden ministerial de 3 de febrero de 1.939 se aprueba la Instrucción para el Proyecto y Ejecución de Obras de Hormigón²⁴, en la exposición del Subsecretario del Ministerio de Obras Públicas Alfonso Peña Boeuf se señalaba:

La importancia que la técnica del hormigón armado tiene en la construcción moderna y la influencia de su estudio científico y ejecución adecuada en los resultados que se consiguen con tan importante elemento, ha hecho sentir en todas las naciones la necesidad de reglamentar sus condiciones de aplicación, a fin de eliminar aquellos peligros que tuvo en su primera época de desarrollo y obtener, por el contrario, dentro de las mayores garantías de seguridad, las considerables ventajas que este heterogéneo material presenta, permitiendo obtener de modo bien notorio los mayores progresos.

Pero a pesar de ser España uno de los países en que se han conseguido grandes éxitos en las obras públicas y privadas con el empleo del hormigón en masa y armado, el escaso eco que en los Poderes públicos tuvo el requerimiento formulado en varias ocasiones, explica que hasta ahora no exista documentación oficial que instruyera este interesante procedimiento constructivo.

Para subsanar tal defecto, este Ministerio ha redactado la adjunta Instrucción, para la que ha contado con el asesoramiento de la Comisión encargada de la redacción de la Instrucción para el Proyecto y Ejecución de Obras de Hormigón, nombrada con fecha de 24 de marzo de 1.938.

La primera Instrucción española era preceptiva, inicialmente, sólo a las obras públicas, definidas como tales por la Ley de Obras públicas de 13 de abril de 1.877, tal como se dispone en el artículo 3º de la referida Instrucción.

En relación con la fisuración hay una mención en el artículo 30, que señala:

Las cargas de resistencias intrínsecas a tracción simple y a esfuerzo cortante, salvo justificación especial, se considerarán iguales a la mitad de la raíz cubica del cuadrado de la carga de rotura a compresión simple.

²⁴ Publicada la Orden en el B.O.E., nº 47, de 16 de febrero de 1.939.

En general no se tendrán en cuenta las resistencias a tracción del hormigón, salvo aquellos casos en que se estudie especialmente para los efectos de posible fisuración.

El armado a cortante no era obligatorio, siempre que el hormigón lo pudiese absorber íntegramente, así en el artículo 35 se dispone:

En lo que respecta a los esfuerzos transversales, si la tensión de esfuerzo cortante sobrepasa la máxima admisible en el hormigón, se armara transversalmente la pieza con estribos o armaduras levantadas...

7.1.1.2: *La Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón de 1.944.*

Cuando por la Orden ministerial de 3 de febrero de 1.939 se aprobó la Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón²⁹, se expresó la necesidad de afrontar una revisión de la misma cuando transcurrieran más de dos años, a cuyos efectos se creó, por Orden ministerial de 26 de enero de 1.942, una Comisión compuesta por cuatro Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos: Eduardo Torroja Miret, Ramón Iribarren Cabanilles, Luis Aldaza Muguiro y Jesús Iribas de Miguel. De los trabajos de la referida Comisión se derivó la reforma de la Instrucción de 1.939, mediante Orden ministerial de 20 de marzo de 1.944, adquiriendo la Instrucción el carácter de definitiva. Si bien, tal como dispone el artículo 3º, la Instrucción sólo era obligatoria para las obras públicas.

La Instrucción no recoge ninguna disposición en relación con el cálculo a fisuración, reduciéndose en su artículo 30 a señalar:

Las resistencias a tracción simple y esfuerzo cortante, salvo justificación especial, se consideraran iguales a la mitad de la raíz cubica del cuadrado de la resistencia a compresion simple en probeta cilíndrica en los veintiocho días.

En general, no se tendrán en cuenta las resistencias a tracción del hormigón, salvo aquellos casos en que se estudie especialmente para los efectos de posible fisuración: si bien podrá contarse con la resistencia a esfuerzo cortante³⁰, de acuerdo con lo que se indica en el artículo 36.

Sin carácter preceptivo se indican las siguientes resistencias y tensiones admisibles con arreglo a los artículos 2º y 30.

Resistencia a compresión en kg/cm ² (en probeta cilíndrica)...	120	160	200
Tensión admisible.....	40	53	66
Resistencia a tracción y cortante.....	12	15	17
Tensión admisible.....	4	5	5.5

7.1.1.3: *Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado de 1.968, EH-68.*

²⁹ *Publicada en el B.O.E. nº 153, de 1 de junio de 1.944. Puede consultarse, igualmente, en Arz-14.709 del Diccionario de Legislación.*

³⁰ *De acuerdo a la Instrucción no era obligatorio las armaduras de cortante, cuando el hormigón pudiese absorber la totalidad del mismo.*

En la evolución de la normativa de hormigón merece una específica mención la instrucción del Instituto Eduardo Torroja HA-61, donde se incorporan las nuevas teorías del cálculo en rotura. Ello tendrá influencias en la normativa oficial, así, por Decreto de 20 de septiembre de 1.968, se aprueba la instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa y Armado¹, de aplicación a todas las obras y proyectos que se realicen en el territorio nacional. La EH-68 es la primera norma oficial que recoge el método en rotura y, también, la primera, artículo 37.1, en la que se dispone que como norma general deberán disponerse armaduras transversales, estribos o barras transversales en todos los elementos lineales de hormigón que vayan a estar sometidos a esfuerzo cortante.

A falta de ensayos directos la Instrucción en su artículo 26.1 la resistencia del hormigón a tracción puede evaluarse en:

$$\sigma_{tk} = 0.57 \sigma'_{bk}{}^{2/3}$$

Siendo σ_{tk} la resistencia característica del hormigón a tracción y σ'_{bk} la resistencia característica a compresión.

En el apartado d) del artículo 32, relativo a las comprobaciones que deben realizarse, dispone:

Bajo las hipótesis de carga más desfavorable, considerando las acciones sin mayorar, no se sobrepasen los límites de fisuración admisibles.

Los límites de fisuración admisibles son función del tipo de ambiente que rodea al elemento y vienen establecidos por las anchuras máximas de fisuras que a continuación se indican.

para elementos interiores en ambiente normal: 0.3 mm.

para elementos interiores en ambiente húmedo o medianamente agresivo y elementos exteriores a la intemperie: 0.2 mm.

para elementos interiores o exteriores en ambiente muy agresivo o que deban asegurar una estanqueidad: 0.1 mm.

La Instrucción dedica su artículo 43 a la comprobación de las condiciones de fisuración. La fisuración que estudia es la propiciada, en el hormigón, por las armaduras traccionadas y lo hace en base al siguiente planteamiento:

Para evitar una fisuración excesiva, incompatible con el servicio que haya de prestar la estructura o con la durabilidad de la misma, las armaduras de tracción en las piezas de hormigón armado deberán elegirse y disponerse de forma que se cumpla una cualquiera de las dos condiciones establecidas en los apartados 43.2 y 43.3 siguientes. En tales apartados se distinguen tres casos:

Caso I: Elementos interiores en ambiente normale.

Caso II: Elementos interiores en ambiente húmedo o medianamente agresivo y elementos exteriores a la intemperie.

Caso III: Elementos interiores o exteriores en ambiente muy agresivo o que deban asegurar una

estanqueidad.

7.1.1.3.1: Comprobación relativa al diámetro de las barras.

Se está en buenas condiciones con respecto a la fisuración cuando se cumple la condición que corresponda, al menos a una de las que a continuación se indican.

A) Con acero liso ordinario.

$$\text{Caso I: } \varnothing \leq 2.1(\sigma'_c)^{1/2}$$

$$\text{Caso II: } \varnothing \leq 1.4(\sigma'_c)^{1/2}$$

$$\text{Caso III: } \varnothing \leq 0.7(\sigma'_c)^{1/2}$$

B) Con acero de alta adherencia.

$$\text{Caso I: } \varnothing' \leq \mu(3.180/\sigma'_a)^2(\sigma'_c)^{1/2}$$

$$\text{Caso II: } \varnothing' \leq 2/3\mu(3.180/\sigma'_a)^2(\sigma'_c)^{1/2}$$

$$\text{Caso III: } \varnothing' \leq 1/3\mu(3.180/\sigma'_a)^2(\sigma'_c)^{1/2}$$

En las fórmulas anteriores:

$\varnothing, \varnothing'$ = diámetro en mm. de la barra más gruesa de la armadura de tracción.

σ'_c = resistencia de cálculo a compresión del hormigón, en kg/cm².

σ'_a = resistencia de cálculo del acero en tracción, en kg/cm².

μ = coeficiente característico de cada tipo de acero, de valor 1 para barras lisas. Para barras de alta adherencia, si no se poseen resultados de ensayos al respecto puede suponerse $\mu=1.6$.

7.1.1.3.2: Comprobación relativa a la zona de tracción.

Se está en buenas condiciones con respecto a la fisuración cuando se cumple la condición siguiente:

$$B_f \leq 10A[(K.\mu / \sigma'_a \cdot \varnothing) - 1]$$

En esta fórmula \varnothing, σ'_a y μ tienen los mismos significados que en el apartado anterior. Además:

B_f = área en cm², de la zona de la sección que es coharicéntrica con la armadura de tracción.

A = área total, en cm², de la armadura de tracción.

K = coeficiente de valor, 225.000, 150.000 o 75.000, según se trate del primero, segundo o tercer caso de los mencionados en el apartado 43.1 anterior, respectivamente.

En el caso de piezas sometidas a tracción simple o compuesta, el área B_f debe tomarse igual al área total B , de la sección

de la pieza.

Para cumplir las prescripciones de la Instrucción hasta satisfacer las disposiciones relativas al diámetro o bien las relativas a la zona comprimida

7.1.1.4: Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado de 1.973, EH-73.

EH-73

Por Decreto de la Presidencia del Gobierno 3.062/1.973, de 19 de octubre, se aprueba la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado. En la nueva normativa, la EH-73, se incorpora la notación que cumple las normas generales establecidas, al efecto, por el Comité Europeo del Hormigón (C.E.B.). Igualmente, el articulado viene acompañado por comentarios, tónica que llegará hasta el presente momento, en todas las normas posteriores. En relación con la fisuración el artículo central es el 41, que coincide literalmente con el 43 de la EH-68, salvo, claro es, en lo relativo a la notación. Por ello procedemos únicamente a transcribir el comentario de la propia Instrucción:

41.1: Generalidades: El fenómeno de fisuración depende de muchas variables aleatorias, algunas de ellas con fuerte dispersión. Las fórmulas recogidas en este artículo se han deducido de estudios experimentales realizados con piezas primáticas, por lo que resulta dudosa su aplicación a elementos de otro tipo.

En particular la comprobación establecida en el apartado 41.3 suele resultar más exigente de lo necesario cuando se aplica a elementos superficiales como placas, muros, zapatas, etc.

41.2: Comprobación relativa al diámetro de las barras: El valor del coeficiente μ es variable con la calidad del acero y la forma de la superficie de las barras, y, en rigor, deberá establecerse para cada tipo particular de acero, a través de los oportunos ensayos. A falta de estos, el apartado que se comenta establece el valor 1.6 como media aceptable para todas las barras corrugadas cualquiera que sea su límite elástico y la forma de la superficie de las barras.

Cuando el área de la armadura de tracción existente A_s , es superior a la necesaria según el cálculo en agotamiento $A_{s, req}$, se está en mejores condiciones respecto a la fisuración. Esta circunstancia puede tenerse en cuenta multiplicando el segundo miembro de las relaciones dadas en el articulado por el factor:

$$(A_{s, req}/A_s)_{real}^2$$

Conviene señalar que tales relaciones responden a la fórmula general:

$$\sigma \leq 45 \cdot K \cdot \mu \cdot f_{cd} / (f_{yd} A_{s, nec} / A_{s, real})^2$$

Siendo K el mismo coeficiente definido en el apartado 41.3

41.3: *Comprobación relativa a la zona de tracción:* Cuando el área de la armadura de tracción existente A_s , es superior a la necesaria según el cálculo en agotamiento $A_{s, nec}$ se está en mejores condiciones respecto a la fisuración. Esta circunstancia puede tenerse en cuenta sustituyendo, en la fórmula dada, el valor f_{cd} por el producto $f_{yd} A_{s, nec} / A_{s, real}$

En los casos corrientes de piezas lineales sometidas a flexión simple, armadas con barras corrugadas, la limitación correspondiente a las anchuras máximas de las fisuras, puede comprobarse por otros métodos con la expresión:

$$[1.5c + 0.04\sigma / \rho] [f_{yd} \gamma_f / 7.5 / \rho] 10^{-3} \leq W_{max}$$

Con ρ nunca inferior a 0.01.

c = recubrimiento de la armadura, en mm.

σ = diámetro de las barras, en mm.

ρ = cuantía geométrica de la armadura de tracción, referida a la sección útil del alma.

γ_f = Coeficiente de seguridad de la sollicitación.

f_{yd} = Resistencia de cálculo del acero en Kp/cm^2 .

W_{max} = Anchura máxima en las fisuras, cuyo valor es 0.3 mm., 0.2 mm., ó 0.1 mm., según se trate del primero, segundo o tercer caso de los mencionados en el apartado 41.1.

En el caso de piezas sometidas a tracción simple o compuesta, puede emplearse la misma fórmula anterior, sustituyendo ρ por la cuantía geométrica referida a la sección total del hormigón dividida por cuatro.

Como veremos posteriormente, la fórmula propuesta por la EH-73 se corresponde con la de J.Ferry-Borges.

EH-80 7.1.1.5: *Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado de 1.980, EH-80.*

Por Real Decreto 2.868/1.980, de 17 de octubre, se aprueba la "Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa y armado, de aplicación a todas las obras y proyectos que se realicen en el territorio nacional. El artículo central de estudio de la fisuración es el 44, idéntico al 41 de la EH-73, si bien en el comentario aclara que f_{cd} es la resistencia de cálculo del acero en Kp/cm^2 , "con el γ_f correspondiente al estado límite último", y que " γ_f es el coeficiente de seguridad de la sollicitación, en estado límite

INSTRUCCION
para el proyecto y la ejecución
de obras de hormigón
en masa o armado

1980

es el coeficiente de seguridad de la sollicitación, en estado límite último".

Con ocasión del cambio, que hace la EH-80 en relación con la EH-73, de estados límites de servicio por la de estados límites de utilización, se incluyen en el artículo 30.3 los siguientes aspectos:

Por razón de durabilidad se incluye el estado límite de fisuración controlada, caracterizada por el hecho de que la abertura máxima de las fisuras en una pieza alcance un determinado valor límite, función de las condiciones ambientales en que tal pieza se encuentra. (Se estudia a nivel de sección de la pieza).

Por razones estéticas los estados límites de utilización pueden identificarse con los de aparición y abertura de fisuras o con el de deformación dejándose a juicio del proyectista la definición que en cada caso de cada uno de ellos.

En el comentario de ese mismo artículo señala:

Los efectos de la fisuración frente a los cuales es necesario tomar precauciones especiales pueden ser de dos tipos: los que afectan al funcionamiento de la estructura, y los que afectan a su durabilidad. En el primer caso puede incluirse, por ejemplo, las condiciones de estanqueidad, y en el segundo, la posible corrosión de las armaduras, fenómenos de fatiga, etc.

La consideración de estados límites por razones estéticas queda subordinada a la voluntad del proyectista.

Dado que en el caso de alcanzar uno de los estados límites de utilización reseñados, los daños que se producen son, en general, reparables y no afectan a vidas humanas, los márgenes de seguridad adoptados por estas comprobaciones son menores que los utilizados en el estudio de los estados límites últimos.

EH-02

7.1.1.6: Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado de 1.982, EH-82.

El estudio de fisuración en la EH-82 es idéntica a la vista en la EH-80, por lo que es de todo punto innecesario su reiteración.

7.2: Normativa extranjera:

7.2.1: Formulas de PCA-Portland Cement Association.

$$W_{max} = 2.6 A^{1/4} f_s 10^{10} \text{ (cm.)}$$

W_{max} = fisura máxima.

$A = A_s / n = \text{Area efectiva} = 2(h-d) \cdot b \cdot d / n$, siendo n el número de barras.

$$20 \text{ cm}^2 < A < 320 \text{ cm}^2$$

$f_s = M / A_s z$ $z = 7/8 d$ (brazo de palanca).

f_s < tensión de fluencia.

Acero corrugado.

7.2.2 Propuesta del Comité de la American Concrete Institute-ACI.

La propuesta del Comité de la American Concrete Institute recogida en la "Building Code Requirements for Reinforced Concrete ACI 318-77", se basa

en un análisis estadístico que llevo a las siguientes conclusiones¹²:

- 1º: El esfuerzo del acero es la variable más importante.
- 2º: El espesor del recubrimiento del concreto es una variable importante, pero no es la única consideración geométrica.
- 3º: El área de concreto que rodea a cada varilla de refuerzo es también una importante variable geométrica.
- 4º: El diámetro de la varilla de refuerzo no es una variable importante.
- 5º: El tamaño del ancho de la grieta en el lecho inferior está afectado por la cantidad de gradiente de deformación del nivel del acero en la cara a tensión de la viga.

Las expresiones que aporta el Comité ACI 318-77 son:

$$W_b = 0.091 (t_b A)^{1/3} \beta (f_s - 5) 10^{-3}$$

$$W_s = 0.091 (t_s A)^{1/3} \beta (f_s - 5) 10^{-3} / (1 + t_s / h_s)$$

W_b = el ancho máximo más probable de la grieta en el lecho inferior de la viga, en centímetros.

W_s = el ancho máximo más probable de la grieta al nivel del refuerzo, en centímetros.

f_s = esfuerzo del acero de refuerzo, en kg/cm².

t_b = recubrimiento inferior, al centro de la varilla, en centímetros.

t_s = recubrimiento lateral, al centro de la varilla, en centímetros.

A = área de concreto simétrica con el acero de refuerzo dividido entre el número de varillas, en centímetros cuadrados.

β = relación entre la distancia del eje neutro a la cara sometida a tensión y la distancia entre el eje neutro al centroide del acero de refuerzo = 3 cm. para vigas.

h_s = distancia del eje neutro al acero de refuerzo, en centímetros.

Una simplificación de la fórmula viene dada por la expresión:

$$W = 0.076 \beta f_s (d_c A)^{1/3} 10^{-3}$$

W = ancho máximo más probable de la grieta, en centímetros.

d_c = espesor del recubrimiento, de la fibra en tensión al centro de la varilla más cercana, en centímetros.

Expresión que si se utiliza en función de la deformación del acero- ϵ , quedaría de la forma siguiente:

$$W = 2.2 \beta \epsilon (d_c A)^{1/3} \text{-ecuación utilizable con cualquier sistema de medición.}$$

¹² Ver el trabajo "Control of Cracking in Concrete Structures (ACI 224 R-90) de la American Concrete Institute, el Comité ACI 224 estaba presidido por David DARWIN, versión al castellano del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.-IMCYC con el título CONTROL DEL AGRIETAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO, Editorial Limusa, S.A., México, D.F., reimpresión de 1.988, págs. 64 y sgs.

7.2.3: Propuesta del CEB-FIP en el Model Code.

Como quiera que la nueva Instrucción EH-88, que modifica sustancialmente el estudio de la fisuración, se basa en las disposiciones del Model Code, parece innecesario su comentario, en todo caso las cuestiones necesarias las haremos con el estudio de la regulación actual.

8: PROPUESTAS DE PREDICCIÓN DE LA ANCHURA DE LAS FISURAS DEL HORMIGÓN ARMADO EFECTUADAS POR LA DOCTRINA CIENTÍFICA.

Dado que tanto las anchuras de las fisuras como las distancias entre ellas dependen de muy diversos factores-tensión del acero, calidad del hormigón, recubrimientos, número de armaduras, tipo de sollicitación...etc, no ha sido posible que las investigaciones hayan concluido uniformemente en una formulación precisa y consensuada. De ahí que se haya producido en una gran dispersión de formulación, tanto en la doctrina científica como en la normativa de los distintos países. No obstante, es amplio-aunque no definitivo-el nivel de información de los resultados de los diversos ensayos. Veamos las distintas propuestas.

8.1: Propuesta de J. Ferry-Borges.

J. Ferry-Borges es una de las personalidades del mundo científico en el estudio de la fisuración del hormigón armado, formo parte del Comité ACI 224 que elaboró el texto "control of Cracking in Concrete Structures".

Para Ferry-Borges se está en buenas condiciones ante la fisuración cuando se cumple la siguiente condición:

$$W_{lm} \geq (1.5c + \alpha_1 \varnothing / \rho) (f_y / \gamma_f \alpha_2 / \rho) 10^{-6}$$

W_{lm} = anchura máxima admitida de fisuras, en mm.

c = recubrimiento libre de la capa exterior de barras, en mm.

α_1 = coeficiente de valor 0.04 para vigas rectangulares y T, sometidas a flexión simple; 0.07 para vigas rectangulares y T, sometidas a flexión compuesta; 0.16 para tirantes.

α_2 = coeficiente de valor 7.5 para vigas rectangulares y T, sometidas a flexión simple; 12 para vigas rectangulares y T, sometidas a flexión compuesta; 30 para tirantes. En los casos de cargas repetidas, su valor será cero.

\varnothing = diámetro de las barras en mm.

$\rho = A_s / A_c$; cuantía geométrica, no se tomará un valor inferior a 0.01. El valor de A_c depende del tipo de sollicitación; en tracción simple o

compuesta se tomará la sección total de hormigón; en flexión simple se tomará el área correspondiente al canto útil; y, finalmente, en flexión compuesta se tomará sólo el área traccionada.

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_p$: límite elástico de cálculo, cuando el armado sea estricto, en caso de armadura superior a la estricta se corregirá mediante el factor $A_{s,red} / A_{s,real}$.

9: LA PREDICCIÓN DE LA ANCHURA DE LA FISURAS EN LA EH-88.

9.1: Formulas generales para la predicción de la anchura de las fisuras en el hormigón armado.

La Instrucción EH-88 ha modificado sustancialmente el método de predicción de la fisuración adaptándose al Model Code, aunque con una notación diferente. Aquí, obviamente, vamos adoptar la notación de la Instrucción para no crear confusión. El método viene explicitado en el artículo 44.3, en la que se adoptando como valor de la anchura característica de fisura la expresión siguiente:

$$W_t = 1.7 s_m \varepsilon_{tm}$$

s_m = separación media de fisuras en la zona de recubrimiento.

ε_{tm} = alargamiento medio de las armaduras en la zona del recubrimiento teniendo en cuenta la colaboración del hormigón entre fisuras.

La expresión anterior es deducción del estudio comparado entre las deformaciones del hormigón y el acero.

$$W_m = s_m (\varepsilon_c - \varepsilon_s)$$

ε_c = deformación unitaria del hormigón.

ε_s = deformación unitaria del acero.

Dado que ε_c es muy pequeño en relación con ε_s , se puede buscar una suficiente aproximación si se le considera nulo, con lo que la expresión quedaría:

$$W_m = s_m \varepsilon_s$$

Lógicamente en la práctica no se limita la anchura media, sino que se tiende a

acotar los límites superiores o lo que es lo mismo la anchura característica asociada a un nivel de confianza del 95%, ello es así en la medida en que la corrosión basta que ataque a las armaduras en sus anchuras mayores para que se inicie un proceso de ruina. Por tanto si pasamos del concepto de anchura media al de anchura de fisura característica, nos lleva a introducir un coeficiente de poderación de la dispersión de la anchura de las fisuras evaluado en 1.7, tal como establece el artículo que comentamos.

$$W_k = 1.7 W_m = 1.7 s_m \varepsilon_{s,m}$$

$$\varepsilon_{s,m} = \sigma_s / E_s [1 - k_3 (\sigma_{s,r} / \sigma_s)^2 / (2.5 k_1)] \leq 0.4 \sigma_s / E_s$$

$$s_m = 2c + 0.2 s + k_1 k_2 \phi A_{c,eficaz} / A_s$$

c = recubrimiento de las armaduras de tracción.

s = distancia entre barras o grupos de barras. Si $s > 15\phi$ se tomará $s = 15\phi$.

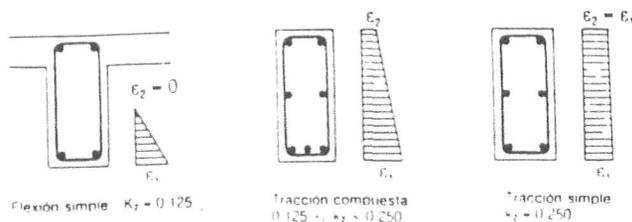
En caso de vigas armadas con n barras, se tomará:

$$s = b/h \leq 15 \text{ siendo } b \text{ el ancho de la viga.}$$

k_1 = coeficiente función de la calidad de adherencia de las barras, de valor 0.8 para barras lisas y 0.4 para barras corrugadas.

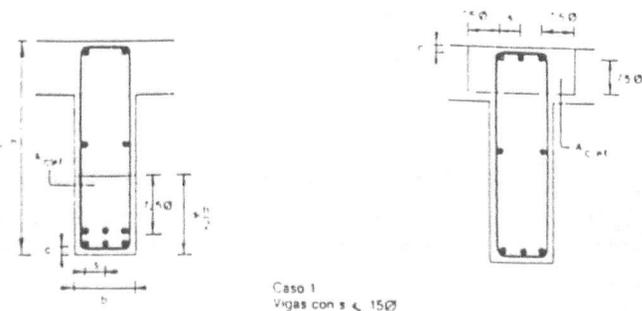
k_2 = coeficiente que representa la influencia del diagrama de tracciones en la sección de valor $k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / 8\varepsilon_1$,

donde ε_1 y ε_2 son las deformaciones máxima y mínima calculadas en sección fisurada, en los límites de la zona tracciona.



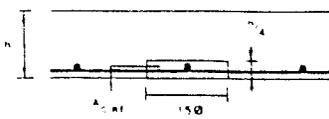
ϕ = diámetro de la barra traccionada más gruesa o diámetro equivalente en el caso de grupos de barras.

$A_{c,eficaz}$ = área de hormigón de la zona de recubrimiento en donde las barras a tracción influyen de forma efectiva en el ancho de las fisuras, que puede considerarse como el área rectangular a no más de 7.5ϕ alrededor de cada barra o grupo, sin superar la mitad del canto en vigas de canto, ni la cuarta parte en vigas planas o losas.





Caso 2
Vigas con $s < 150$



Caso 3
Vigas planas, muros, losas con $s > 150$

A_s = sección total de las barras situadas en el área A_c eficaz
 σ_s = tensión de servicio de la armadura en hipótesis de sección fisurada. Su valor puede evaluarse de acuerdo a la expresión:

$$\sigma_s = k f_{yk} A_{s, nec} / \gamma_s \gamma_f A_{s, real}$$

siendo k el coeficiente que toma en consideración la fracción de cargas permanentes más la sobrecargas frecuentes respecto a la carga total. En edificaciones normales de viviendas y oficinas puede tomarse 0.85.

σ_{sr} = tensión de la armadura, en el instante en que se fisura el hormigón. El cálculo de ese valor, puede tomarse, para vigas de sección rectangular en flexión, la siguiente expresión:

$$\sigma_{sr} = b h^2 / 6 f_{ct,m} / 0.9 d A_s$$

$$f_{ct,m} = 1.5 f_{ct,k} = 1.5 \cdot 0.45 f_{ck}^{2/3} = 0.68 f_{ck}^{2/3}$$

Aunque la Instrucción no lo aclare $f_{ct,m}$ es el valor de la tensión de rotura del hormigón a flexotracción, distinta a $f_{ct,k}$ que sería la tensión de rotura del hormigón a tracción simple, en el establecimiento de la relación existente entre ambos valores no hay unanimidad ni en la doctrina científica ni en la normativa internacional¹³.

E_s = módulo de elasticidad del acero, $2.1 \cdot 10^6$ kg/cm²
 k_s = coeficiente de valor 1.0 para los casos de carga noval-ensayos de laboratorio, pruebas de carga o similares-y 0.5 para los restantes-cargas de larga duración-las normales en la edificación.

9.2: Fórmulas simplificadas para la predicción de la anchura de las fisuras en el hormigón armado.

La Instrucción EH-88 incorpora en su comentario al artículo 44.3 la expresión de fórmulas simplificadas, válidas sólo para vigas, losas y muros de hormigón armado con barras corrugados del mismo diámetro, y para cuantías normales. Como señala la propia Instrucción, las referidas fórmulas resultan muy conservadoras para cuantías de armaduras de tracción muy pequeñas-cuantía mecánica mecánica inferior a 0.01-.

¹³ Efectivamente, como muestra de la dispersión en las expresiones que relaciona la resistencia del hormigón a flexotracción y la resistencia a tracción simple, o bien la de ambas con la resistencia característica a compresión, veamos algunos ejemplos:

Las Normas ACI estable la relación $f_t = 1.989 f_c^{1/2}$ y también $f_t = 0.04306 (\gamma f_c)^{1/2}$, siendo γ el peso específico del hormigón.

9.2.1: *Caso Primero:*

9.2.1.1: *Requisitos:*

$$h > 2b$$

$$\emptyset < h/20$$

$$s < 15\emptyset$$

9.2.1.2: *Fórmula:*

$$W_i = 1.7 (2c + 0.84 b/n) \sigma_j E,$$

9.2.2: *Caso Segundo*

9.2.2.1: *Requisitos:*

$$h > 2b$$

$$\emptyset < h/40$$

$$s < 15\emptyset$$

9.2.2.2: *Fórmula:*

$$W_i = 1.6 (2c + 0.2 b/n + 0.02 b/n h/\emptyset) \sigma_j E,$$

9.2.3: *Caso Tercero:*

9.2.3.1: *Requisitos:*

$$h > 2b$$

$$\emptyset > h/40$$

$$s > 15\emptyset$$

9.2.3.2: *Fórmula:*

$$W_i = 1.7 (2c + 3\emptyset + 0.24h) \sigma_j E,$$

9.3: *Casos en los que no es necesario comprobar la anchura de las fisuras.*

Lo que La Instrucción EH-88, en su artículo 44.4, denomina "Método simplificado" es en rigor una exención normativa al cálculo de la anchuras previsibles en el hormigón. Ello sólo es posible si las barras son corrugadas y no estamos en el Ambiente III. El "método" exige para su uso los siguientes parámetros:

c = recubrimiento, para la utilización del método simplificado no puede utilizarse recubrimientos inferiores, aunque si, obviamente, recubrimientos superiores.

$\rho = A_s/A_c$ = cuantía geométrica.

σ_s = tensión de servicio de la armadura en hipótesis de sección fisurada. Su valor puede evaluarse de acuerdo a la expresión:

$$\sigma_s = k f_{yk} A_{s,red} \gamma_s \gamma_f A_{s,red}$$

siendo k el coeficiente que toma en consideración la fracción de cargas permanentes más la sobrecargas frecuentes respecto a la carga total. En edificaciones normales de viviendas y oficinas puede tomarse 0.85.

Con los datos mencionados el método consiste en comprobar que la tensión de servicio de las armaduras traccionadas son inferiores a los que resultan de la propia tabla 44.4.

Barras simples	Ambiente I			Ambiente II			
	Recubrimientos c (mm)	Cuantías		Recubrimientos c (mm)	Cuantías		
		≥ 2‰	≥ 3‰		≥ 3‰	≥ 4‰	≥ 6‰
1 ∅ 10	20	3 500	3 600	30	2 600	2 800	3 200
1 ∅ 12	20	3 200	3 400	30	2 400	2 500	2 900
1 ∅ 16	25	3 100	3 200	30	2 000	2 100	2 500
1 ∅ 20	30	2 800	2 900	35	1 800	1 900	2 100
1 ∅ 25	35	2 700	2 800	40	1 700	1 800	2 000
1 ∅ 32	40	2 200	2 300	45	1 500	1 600	1 700

Grupos de Barras	Ambiente I			Ambiente II			
	Recubrimientos c (mm)	Cuantías		Recubrimientos c (mm)	Cuantías		
		≥ 8‰	≥ 10‰		≥ 6‰	≥ 8‰	≥ 10‰
2 ∅ 16	30	3 700	3 700	35	2 200	2 400	2 900
2 ∅ 20	35	3 600	3 600	40	2 000	2 300	2 500
2 ∅ 25	40	3 000	3 300	50	1 500	1 700	1 800

10: CONCLUSIONES: RECOMENDACIONES PARA UNA REDUCCION DE LA FISURACION.

- 10.1: *El hormigón en masa no admite la fisuración por razones tensionales de las sollicitaciones generales. El hormigón en masa estará sin fisura o estará aruinado. El estado de fisuración es un estado propio del hormigón armado. No nos referimos, claro es, a la fisuración de retracción, de aforado y similares, en el que el armado del hormigón resulta en un elemento reductor de la fisuración.*
- 10.2: *Es imposible, en general, eliminar la fisuración del hormigón armado cuando existe tensiones de tracción o flexotracción. Si por funcionalidad hay que garantizar la ausencia total de las fisuras en el hormigón, habrá que acudir al hormigón pretensado. El profesor Calavera¹¹ recomienda el pretensado cuando haya que garantizar una $W_i=0.1$ mm. y exista esfuerzo cortante.*
- 10.3: *El incremento de la calidad del hormigón, fundamentalmente en su resistencia a flexotracción, produce una disminución del número de fisuras al poder absorber las tensiones de tracción entre las fisuras. Ello supone que el acero toma o puede tomar mas-tensión en el espacio fisural, con lo que acabará adquiriendo, la fisura, un ancho mayor. Por tanto un buen hormigón tiene menos fisuras pero más anchas, aspecto indudablemente negativo.*

¹¹ CALVERA RUIZ, José: CALCULO. CONSTRUCCION...ob. cit., p4g.365.

10.4: Desde el punto de vista de la conservación de las estructuras de hormigón es preferible mayor número de fisuras con anchos reducidos que pocas fisuras con anchos mayores. A estos efectos, se debe tender:

10.4.1: Distribuir el armado en el mayor número de armaduras posibles, al objeto de ampliar la zona de hormigón afectada por el armado.

10.4.2: Reservar los mejores hormigones para los elementos comprimidos. En general, la utilización de buenos hormigones en elementos con tensiones de tracción no acarrea una ventajas que se correspondan con el esfuerzo de mejorar el hormigón empleado.

10.4.3: Mejorar la adherencia entre el hormigón y las barras de acero. Las barras lisas producen menos fisuras pero mayores anchuras, por contra el corrugado de las armaduras propicia una mayor fisuración pero con anchuras inferiores. A estos efectos la mejora de la calidad del hormigón resulta un aspecto favorable.

10.4.4: Utilizar una granulometría con bajo contenido en el intervalo 0-4 mm., emplear cementos con desarrollo lento de calor de fraguado.

10.4.5: Correcta compactación con vibradores.

10.4.6: Evitar el enfriamiento y desecado del exterior, a cuyos efectos es aconsejable el recubrimiento con aislantes térmicos e impermeabilizantes.

10.5: Parámetros que se ven alterados por la fisuración del hormigón.

En muchos de los cálculos que se efectúan en el hormigón armado los parámetros que se introducen son generalmente los correspondientes a la sección si fisurar. Ello casi siempre va en contra de la seguridad general de la estructura pero fundamentalmente en contra de la seguridad de determinados elementos estructurales.

10.5.1: El momento de inercia de las secciones de hormigón armado fisurado puede ser bastante inferior al de la sección fisurar.

10.5.2: La rigidez de los elementos fisurados es inferior a la de los elementos sin fisurar. Por tanto, en términos generales, la rigidez de los pilares en el comportamiento real de la edificación es superior al introducido inicialmente en el estudio de las solicitaciones. Por contra, en las vigas sus rigideces son inferiores a las inicialmente fijadas. Ello exigiría un estudio de segundo orden en el cálculo de solicitaciones que concluye en una nueva configuración en las solicitaciones de los distintos elementos.

10.5.3: Las inercias de las secciones fisuradas son inferiores a las inercias de las secciones sin fisurar. Ello tiene una importante repercusión en

las vigas en los relativo a las deformaciones, produciendo valores de flechas superiores. Ello a su vez, genera que las acciones actúen de forma diferente a la consideración del estudio de las solicitaciones sin tener en cuenta las deformaciones.

11: LA FISURACION DEBIDA A LA ACCION DE LAS CARGAS: LA FISURACION PATOLOGICA:INTRODUCCION.

Con frecuencia al proyectar estructuras arquitectónicas de hormigón armado estudiamos con mucho detenimiento los estados límites últimos, dado que estamos más interesados en dimensionar la estructura para que responda con suficiencia a distintas hipótesis de cargas planteadas. Ello unido al ritmo elevado de mejora en las resistencia de los materiales componentes-hormigón y acero-ha llevado a la construcción de estructuras donde cada vez es más decisivo el estudio de los estados límites de servicio, fundamentalmente los estados límites de fisuración y deformación. Y ambos aspectos son de un difícil concreción en los análisis, como señala Fritz LEONHARDT¹¹:

"Las bases para el cálculo del ancho de las fisuras en el hormigón, pese a los numerosos trabajos de investigación realizados, no han alcanzado aún un estado satisfactorio".

Para el estudio de las deformaciones es insuficiente su consideración en el estado no fisurado del hormigón, por contra se ha convertido en una exigencia normativa de la EH-88 la consideración de los valores geométricos de la sección fisurada, parámetros muy cambiantes.

12: LA FISURACION EN TIRANTES.

El hormigón tiene muy poca capacidad para afrontar alargamientos sin romperse, por tanto muy poca capacidad para absorber tracciones, tanto si el origen tensional está en las cargas exteriores como si lo está en su propia y compleja reología. La deformación de rotura por tracciones del hormigón está entre 0.01 y 0.015%, su valor en cada caso concreto depende de factores como la calidad del cemento, relación agua-cemento, curado, tiempo de hormigonado, velocidad de aplicación de las cargas..etc., es muy difícil el establecimiento del diagrama tensión del hormigón. Por otro lado, como se comentó anteriormente, los hormigones más resistentes son también los más frágiles.

En general, son reducidos los estudios experimentales tendentes a conocer mejor el comportamiento del hormigón a tracción, de ahí la gran dispersión en la formulación de la expresión de la capacidad del material. Pues bien, de todos los ensayos que se proponen conocer la capacidad resistente a tracción sigue siendo el de tracción directa el menos habitual. Una de las posibles razones de la reducida importancia que se da a la resistencia a tracción del hormigón como parámetro de calidad del mismo se puede deber al hecho que en el cálculo del hormigón armado a solicitaciones generadoras de tensiones normales, se considere nula esa resistencia a tracción. Sin embargo, si que se cuenta con la resistencia a tracción del hormigón en el cálculo a esfuerzo cortante, en el estudio de la adherencia y anclaje.

Los tres tipos de ensayos para conocer la resistencia a tracción del hormigón son: a) El ensayo directo a tracción centrada; b) El ensayo brasileño o por hendimiento; y c) El ensayo por flexión, al objeto de obtener la resistencia a flexo-tracción. A falta de ensayos la Instrucción EH-88 propone fórmulas que establecen la resistencia a tracción en función de la de compresión. Dado que de por sí los resultados de los ensayos son muy dispersos, debemos tomar las referidas fórmulas con carácter referencial.

$$f_{ct} = 0.45(f_{cd})^{2/3}$$

11

LEONHARDT, Fritz: ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO, tomo IV: VERIFICACION DE LA CAPACIDAD DE USO, Editorial El Ateneo, segunda edición revisada, Buenos Aires, 1977, pág. 192.

Cuando los datos que se disponen son los resultados del ensayo brasileño, la EH-88 asume la norma UNE 83.306/85 que propone la siguiente fórmula de conversión:

$$f_{ct} = 0.85 f_{ti}$$

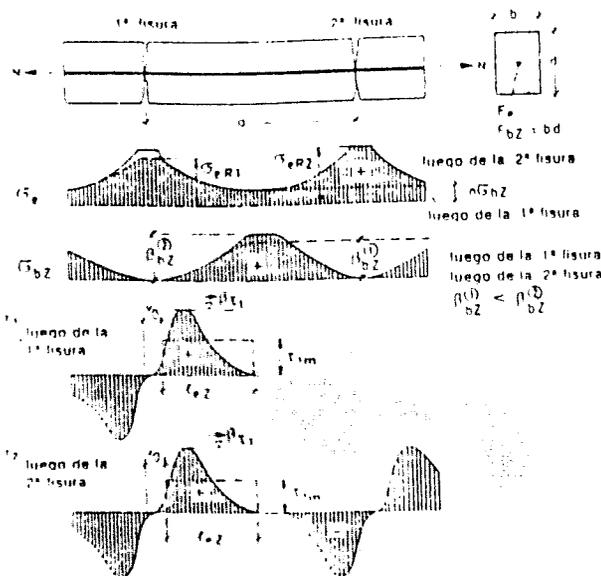
Donde f_{ct} es la resistencia a tracción directa y f_{ti} es la resistencia a tracción indirecta.

Por su parte la norma UNE 83.305/86 establece la normalización de la resistencia a flexo tracción, si bien la propia Instrucción en su artículo 44.3 propone como expresión de rotura de la fibra más tendida del hormigón, la siguiente:

$$f_{ctm} = 1.5 f_{ctk} = 0.68 f_{ct}^{2/3}$$

La fórmula propuesta por ACI es $f_t = 1.989 f_{ct}^{1/2}$ o bien $f_t = 0.04306 (\gamma_c f_{ct})^{1/2}$.

Cuando la sollicitación de un elemento lineal de hormigón armado es de tracción simple o con pequeñas excentricidades, la fisuración es ortogonal a la sollicitación y atraviesa la totalidad de la sección. La sollicitación, en el espacio fisurado, es absorbido íntegramente por las barras. En base a que el hormigón no es un material homogéneo, la localización de las fisuras es producto de un fenómeno aleatorio dado que se producirán en las secciones donde el hormigón sea más débil o donde se produzca una discontinuidad en el armado.



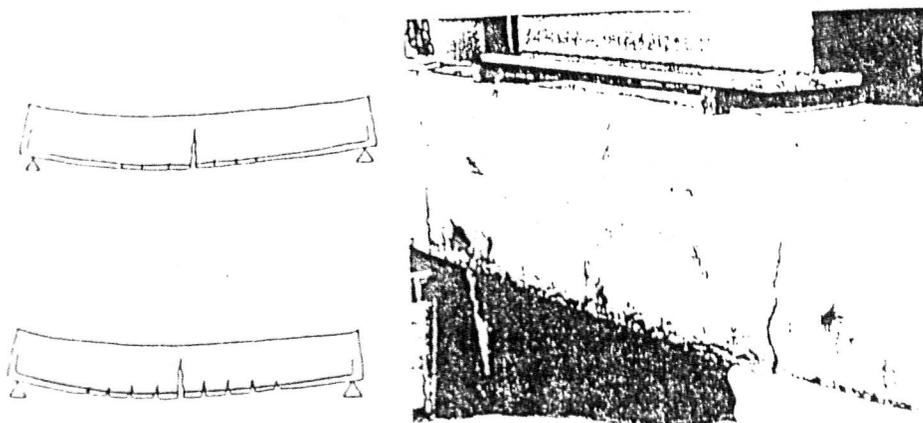
Las primeras fisuras se producirán cuando el hormigón supere su tensión de rotura a tracción que, como hemos dicho, según dispone la Instrucción EH-88 se alcanza con una tensión $f_{ct} = 0.45 f_{ct}^{2/3}$, lo cual se traduce en una tensión del acero del orden de 500 kg/cm². Si se incrementa el esfuerzo no surgirán fisuras nuevas sino que se amplía el ancho de las primeras fisuras, ello hasta alcanzar aproximadamente los 1.500 kg/cm² en el acero, a partir del cual aparecerán una segunda familia de fisuras en el interior de la masa del hormigón sin alcanzar la superficie. Si continúa el incremento de la tensión la nueva familia de fisuras son perpendiculares a las anteriores o, si se quiere, en la misma dirección del esfuerzo.

13: LA FISURACION PATOLOGICA EN VIGAS.

13.1: Fisuración del hormigón de las zonas traccionadas bajo un esfuerzo de flexión simple o flexo-tracción.

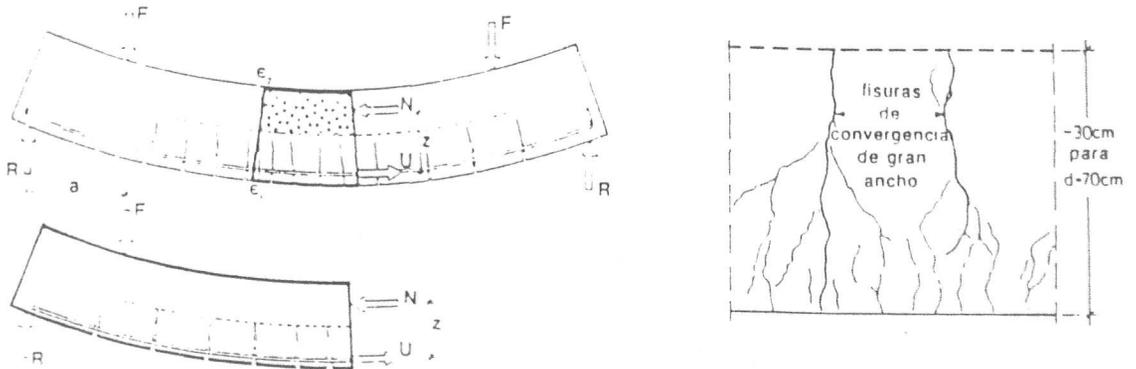
En esta fisuración no es fácil distinguir cuando se trata de una fisuración patológica de una fisuración necesaria. Se cuenta, cuando se dimensiona la pieza, con la aparición de una fisuración en el estado de servicio. Pero tanto la separación entre fisuras como sus anchuras son valores muy aleatorios, sin que haya coincidencia en la doctrina científica en el cálculo de esos valores. El empleo del concepto de anchura característica de la fisuración supone incorporar una cierta seguridad pero que ello no obsta a que pueda producirse algunas fisuras superior a la calculada, correspondientes al cuantil del 5%.

La fisuración del hormigón traccionado abarca un ámbito que puede ser muy amplio. Así una viga con armado mínimo, la fisuración previa a la rotura será reducida y de progreso muy rápido. Pasando al otro extremo, vigas con cuantía supracrítica, al agotarse la pieza por compresión del hormigón la fisuración de las zonas traccionadas puede ser reducida al ser suficiente una pequeña deformación para movilizar altas tracciones, en ese caso la cabeza comprimida tendrá un canto elevado.

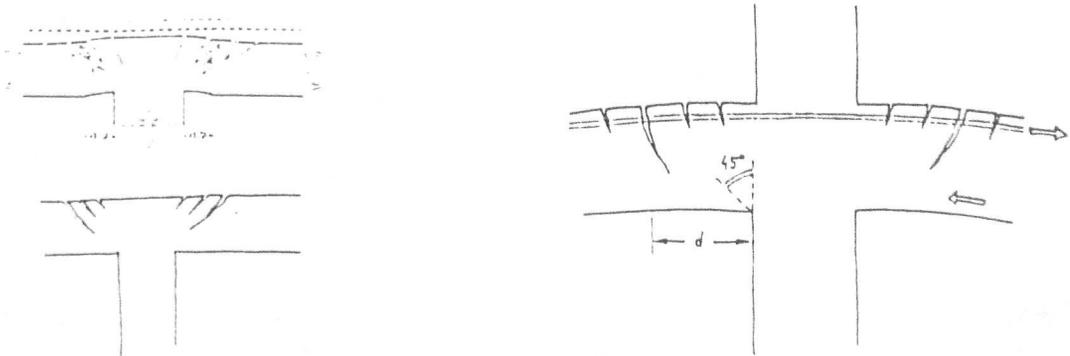


En general, la morfología del hormigón traccionado es fácil de identificar, cuestión distinta es buscar las causas. La fisuración de las zonas traccionadas son perpendiculares a las barras en las zonas próximas a los bordes y lo seguirá siendo así hasta una altura que puede coincidir, en una primera aproximación con el extremo del área cobaricéntrica. A partir de ahí el trazado dependerá en la zona de la viga en que nos encontremos. Efectivamente, en la zona correspondiente a la mitad de la luz de la viga, las fisuras seguirán un trazado sensiblemente vertical dado que el cortante, al ser nulo o muy reducido, no hace cambiar la dirección principal de tracción. Todavía en la zona de momentos positivos, a medida que nos vamos alejando de la mitad de la luz de la viga va disminuyendo el momento e incrementándose el cortante, las fisuras siguen surgiendo perpendiculares a las armaduras pero se irán inclinando paulatinamente "buscando" el

extremo de la fisura que coincide con la sección de momento positivo máximo, el trazado final de la fisura es prácticamente horizontal situándose a corta distancia de la cabeza comprimida. El espacio que va entre el final de la fisura y la fibra neutra coincide con la del hormigón traccionado no fisurado. En las zonas traccionadas con fuertes cuantías se produce el efecto de "fisuras convergentes" consistente en la existencia de una fisura denominada convergente que asciende casi hasta el eje neutro a la que acompaña una pluralidad de fisuras que no sobrepasan la zona cobaricentrica de las armaduras de tracción.



Por contra, en las zonas proximas a los nudos, donde tanto el flector como el cortante alcanzan, en términos generales, su máximo valor la fisuración se inicia en el borde superior de las vigas perpendicular a las armaduras de tracción y se van inclinando en un ángulo próximo a los 45° . En esta zona la fisura más larga no coincide con la sección de máximo momento sino a una distancia de aproximadamente un canto de cara del pilar.



13.2: Fisuración del hormigón de las zonas comprimidas bajo un esfuerzo de flexión simple o flexo-compresión.

En las vigas de hormigón armado con cuantías muy elevadas en armaduras de tracción, el agotamiento se produce por aplastamiento del hormigón comprimido. Si no existe armadura de compresión el proceso puede ser muy peligroso al ser mínima la capacidad de aviso. El proceso se ve agudizado en caso de que el hormigón sea deficiente. Por otro lado a las dificultades de lectura del anuncio del agotamiento se unen el hecho de que la cabeza comprimida de las vigas están embebidas en el forjado por un lado y la fisuración de tracción suele ser reducida dado que al existir una alta cuantía se movilizan altas tracciones sin que se supere el ancho máximo de fisuras.

El agotamiento a compresión del hormigón en vigas puede producirse de dos formas bien diferenciadas. Una de ellas consiste en el agotamiento pero con la previa existencia de una cabeza de compresión que cubra la mayor parte del canto, ello en base a la existencia de una flexo-compresión de elevado axil o por la existencia de cuantías muy elevadas.

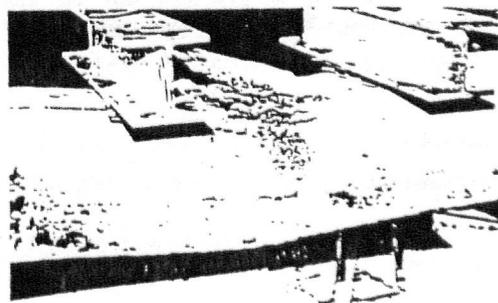
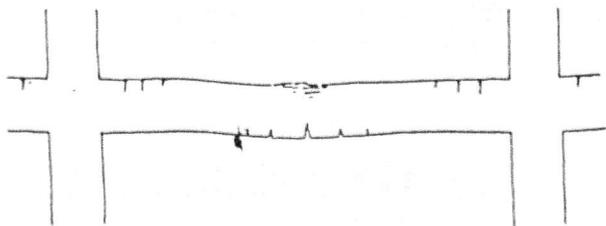


La otra forma de agotamiento se corresponde cuando la cabeza comprimida abarca sólo una parte pequeña del canto, ello se corresponde cuando la cuantía es elevada pero no exageradamente alta que exige para movilizar altas tracciones la previa deformación de las barras en las proximidades del 1%. En el primer caso la fisuración de la zona traccionada será moderada, y en el segundo la fisuración será similar a la que se produce en el agotamiento por rotura de las barras traccionadas, ello es así que al estar muy próximas el agotamiento por compresión y por tracción, que cualquiera de ellos se puede producir en vigas con armado idéntico, basta que la calidad del hormigón se vea reducida para que el agotamiento del hormigón comprimido se inicie antes.

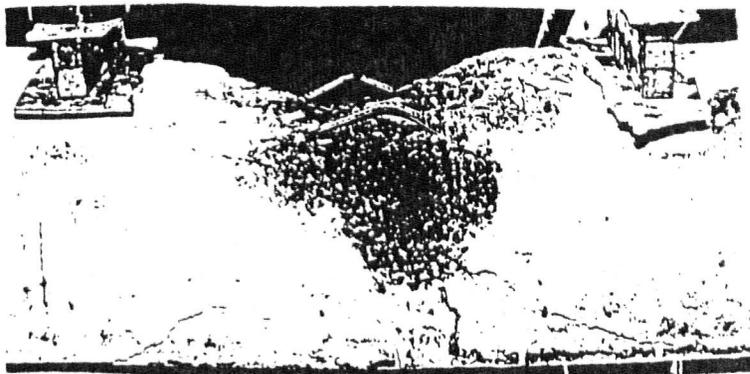
El agotamiento por compresiones excesivas del hormigón no se producirá, necesariamente, en la sección de máximo momento, dado que ello dependerá de la cuantía de las armaduras de compresión. Así en las vigas de pórticos convencionales, los máximos momentos se producen en los extremos, sin embargo en esas secciones habrá abundante armaduras de compresión, debido a que, como se sabe, la EH-88 en su artículo 40.1 dispone que deberá continuarse hasta los apoyos de las vigas al menos un cuarto de las armaduras necesarias para absorber el máximo momento positivo, en caso de vigas de interiores, y un tercio si la viga corresponde a un vano extremo. Por tanto las "armaduras de continuidad" estarán comprimidas junto a los nudos, de ahí que las secciones de los extremos puedan absorber importantes momentos sin agotar el hormigón comprimido. Por contra la zona de momentos positivos no acostumbra tener armaduras de compresión, por lo que, ante un incremento de las cargas, puede llegar agotarse antes que las secciones de momentos negativos.

Frente a cualquier expresión de que pueda estar agotándose la capacidad de compresión de la cabeza comprimida de las vigas se impone, con urgencia un apuntalamiento que haga reducir los momentos.

En resumen, las fisuras de preagotamiento de las cabezas comprimidas se localizan en la parte inferior de las vigas en las proximidades de los nudos y en la parte superior en las zonas próximas a la mitad de la luz libre. En relación a la morfología de la fisuración cabe decir que las fisuras son sensiblemente horizontales y próximas a los bordes.



En los ensayos de laboratorio se ha podido comprobar las diferencias en el agotamiento del hormigón comprimido en función de la existencia o no de estribos en la zona de agotamiento. Efectivamente, la capacidad resistente de una viga que se agota por aplastamiento del hormigón comprimido aumenta con la presencia de los estribos, que además de coser las fisuras de compresión hacen, fundamentalmente, un efecto similar al zunchado de los pilares. Como se sabe la capacidad resistente de una pieza sometida a compresión se ve incrementada cuando existe tensiones de compresión en sentido transversal, el aumento es del orden de cinco veces esa tensión transversal³⁶. Si bien cuando el armado en la zona comprimida de diámetro reducido y el estribado está dispuesto a distancias grandes, el efecto puede ser negativo ya que las barras se pandean y empujan hacia fuera el hormigón, de tal forma que el recubrimiento es lo primero que salta.



Por lo expresado, resulta aconsejable reducir las separaciones de los cercos en la zona central de las vigas, con ello se evitará también el pandeo de las armaduras comprimidas, que acostumbran, en esa zona, a tener diámetros pequeños.

13.3: Fisuración de cortante.

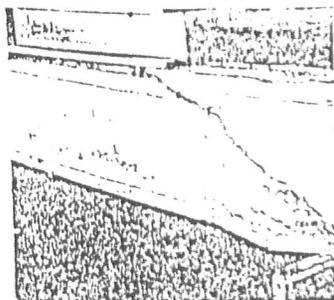
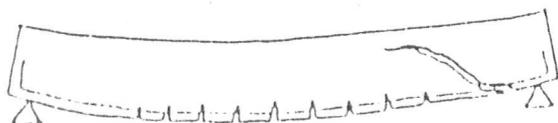
13.3.1: Características generales de la fisuración de cortantes por tracciones excesivas en el alma.

La fisuración por la existencia de cortante en las vigas puede ser una manifestación extremadamente grave. Efectivamente, si la causa de la existencia de la fisura es una separación excesiva del estribado o de las barras inclinadas, se producirá una rotura frágil, dado que la absorción de las tensiones de tracción sólo lo podrá efectuar el hormigón, con lo que la fisura se producirá en un proceso sin previo aviso o al menos con una evolución muy rápida.

Si la situación es insuficiencia de diámetro de los estribos o de las barras inclinadas la rotura se producirá después de una apreciable fisuración. La fisuración se inicia en el interior de la viga y progresan hasta llegar a los bordes³⁷.

³⁶ Fue Considère, a inicios de siglo, Brantzaeg, posteriormente y Ellis, McHenry, Harris y Glibs, entre otros, con estudios más recientes, los que han experimentado los efectos comentados.

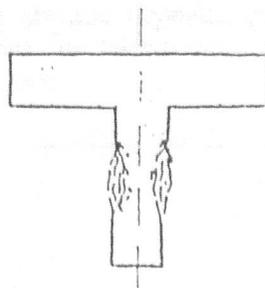
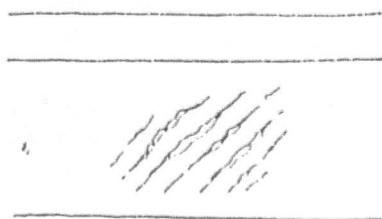
³⁷ Ver la obra de Manuel MUÑOZ HIDALGO: CONCEPTOS Y PATOLOGIA EN LA EDIFICACION, edición del propio autor, Sevilla, 1.988, pág.80.



Mediante el ensayo de vigas en laboratorio para observar el proceso de absorción del cortante y la aparición de la fisuración se ha podido sostener el siguiente planteamiento: En los primeros escalones de carga, parece que los cercos no tienen casi colaboración alguna en el establecimiento del equilibrio dado que el hormigón se encuentra sin fisurar y por tanto toda la sección es útil para absorber cortante; si se aumenta la carga y se alcanza la tensión de agotamiento a tracción del hormigón, éste se fisura y sólo la cabeza comprimida tiene aptitud para absorber cortante y será entonces cuando los cercos hayan adquirido apreciables deformaciones y colaboran en el equilibrio del cortante. La visualización de la fisuración por cortante es mucho más clara cuando el flector es reducido en la zona de cortantes máximos, como el caso de vigas simplemente apoyadas, en cuyo caso la fisura alcanza sensiblemente una inclinación de 45° . Cuando el flector y cortantes son importantes, como en los extremos de las vigas de los pórticos, las fisuras de cortante surgen en las proximidades de los nudos y son inclinadas con 45° en la mitad del canto de la viga, vertical en el borde inferior y horizontal en el superior, en vigas simplemente apoyadas. Las fisuras de corte, por lo dicho, pueden empezar a partir de las fisuras de flexión o en el alma. En algunos ensayos de laboratorio se ha podido comprobar que en vigas simplemente apoyadas, la fisura de cortante por la que en definitiva se producirá la rotura, no es la primera fisura de cortante en surgir.

13.3.2: Características generales de la fisuración de cortantes por compresiones excesivas en el alma.

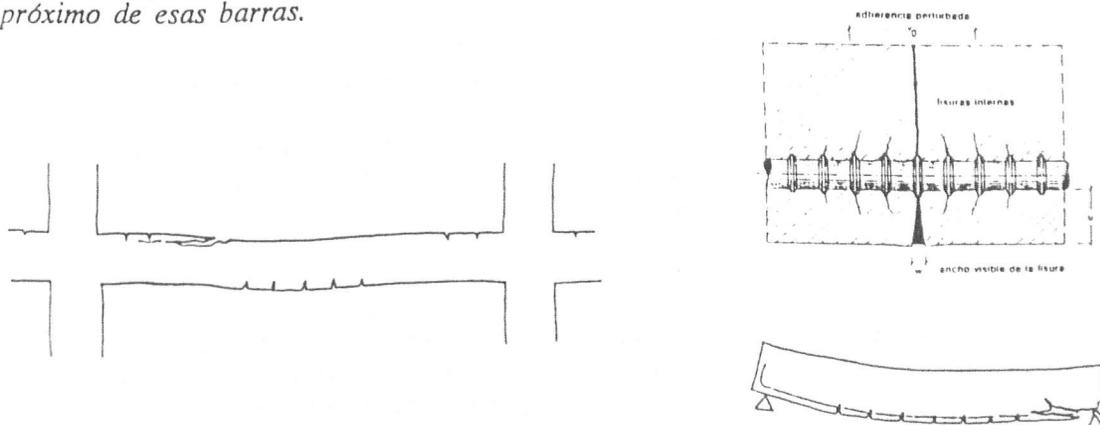
Es esta una fisuración poco frecuente pero que no conviene ignorar sobre todo cuando por razones de diseño general nos vemos obligado a acudir a vigas muy armadas tanto a flexión como a cortante en su aspecto de tracciones en el alma. Las reducidas dimensiones de la sección de hormigón, sobre todo si empleamos vigas en T, pueden llegar a agotar la capacidad del hormigón de las bielas comprimidas, cuando se produzca la pésima combinación de las acciones.



La morfología de esta fisuración, como todas las de hormigón comprimido, puede ser plural y, por ello mismo, poder ser confundidas con las del hormigón traccionado en la misma zona en la dirección ortogonal.

13.4: Fisuración de adherencia.

El hormigón armado apoya su eficiencia, fundamentalmente, en la adherencia entre las barras de acero y el hormigón que las envuelve. Gracias a la adherencia es posible transmitir esfuerzos de las barras al hormigón que posibilita su propio anclaje. Esta adherencia puede generar una fisuración interior muy fina que no sobrepasa el entorno próximo de esas barras.



Junto a las mencionadas fisuras se pueden crear otras, ahora paralelas a las armaduras que puede hacer saltar el recubrimiento en forma laminar. Se agudiza esta patología cuando la separación horizontal de las armaduras es reducida.

En realidad cabe decir que son muy pocos los ensayos efectuados para estudiar la evolución de la adherencia del hormigón a lo largo del tiempo, fundamentalmente en relación con el período de endurecimiento. La doctrina científica³⁸ acepta que el proceso es similar a la evolución de la resistencia a tracción. Si bien la Instrucción EH-88 dispone el valor $\beta (f_c)^{2/3}$, que induce a sostener una evolución suficientemente rápida de la adherencia, ello no debe hacernos olvidar que la adherencia depende, además de factores como las características del armado transversal de la rapidez del endurecimiento del cemento y de las condiciones de curado del hormigón. En relación con las barras transversales su efecto es la producción de un anclaje mecánico en relación con las barras longitudinales.

13.5: Fisuración por anclaje deficiente.

El anclaje de las barras en las estructuras de hormigón armado depende, fundamentalmente, de la adherencia del hormigón. Pero en casi todas las barras hay, también, un efecto de anclaje mecánico debido a las barras transversales.

13.5.1: Fisuración por anclaje insuficiente de las armaduras de tracción en zona de momentos positivos.

³⁸ Ver el trabajo de Adolfo DELIBES LINIERS: TECNOLOGIA Y PROPIEDADES..ob., cit, pág.44.

El anclaje de las armaduras de tracción ha mejorado, a raíz de la disposición de la Instrucción española, que se inicia con la EH-80, que dispone la exigencia de continuar hasta los extremos un cuarto o un tercio de las barras, según los casos, ancladas a partir del eje de los pilares. Esa directriz da de reducir la patología por anclajes, al menos en las armaduras traccionadas de momentos positivos. Para las armaduras que no son de continuidad es suficiente, en la mayor parte de los casos, el anclaje en prolongación recta, evitando, eso sí, anclar muchas barras a partir de la misma sección.

La morfología de las fisuras por déficit de anclaje son sensiblemente horizontal, en las barras longitudinales, con mayor fisuración en el inicio del anclaje.

13.5.2: Fisuración por anclaje insuficiente de las armaduras de tracción en zona de momentos negativos.

El anclaje de las barras de tracción de las armaduras de momentos negativos en el nudo extremo de un pórtico suele ser una de las cuestiones que exige un mayor cuidado tanto en el diseño como en la ejecución. Si el anclaje existente es insuficiente el momento realmente absorbido será inferior al previsto con lo que provocará un incremento de momentos positivos, en relación, también, con los inicialmente previstos. Dado que, tal como se ha dicho, la Instrucción dispone la continuidad en todo el vano de un tercio del total de armaduras de tracción de los momentos positivos, la consecuencia se traducirá en una reducción del coeficiente de seguridad. Otros efectos negativos serán los incrementos del momento negativo y del cortante en el apoyo opuesto, igualmente, se incrementará la deformación de la viga.

La adherencia, y por tanto los anclajes, es uno de los aspectos más difíciles de precisar en el comportamiento del hormigón, dado que a pesar de todos los esfuerzos que se puedan hacer para ejecutar un hormigón homogéneo a lo largo de la pieza. Por otro lado, en los cálculos de los anclajes no se contabiliza los efectos de las barras transversales como los estribos, que aportan anclaje mecánico.

13.6: Fisuración de torsión.

La torsión surgen en las vigas con brochales o en las de fachada donde, sobre las vigas, se apoya un sólo tramo de forjado, de luz relativamente grande. Como se sabe, la Instrucción EH-88 considera un sólo apoyo en el vano extremo, aunque para evitar una fisuración excesiva se ha de disponer un armado capaz de absorber un 25% del momento máximo positivo, lo que significará la transmisión de un momento torsor a la viga, que si bien no es necesario para establecer el equilibrio será inevitable que se produzca tal como hemos diseñado el nudo. Las fisuras de torsión forman con el eje un ángulo próximo a los 45° y una de sus características es que aparecen en todas las caras.

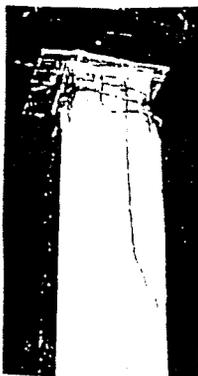
14: LA FISURACION PATOLOGICA EN PILARES INTERIORES DE ESTRUCTURAS RETICULARES.

14.1: Fisuración bajo un esfuerzo de compresión simple o compuesta en piezas poco esbeltas.

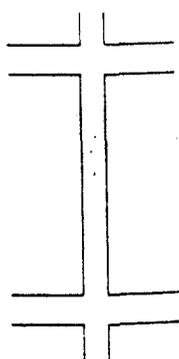
La fisuración de los pilares por agotamiento de la capacidad resistente a compresión

simple o compuesta tiene formas diversas de manifestarse en función de la zona del pilar donde aparezca el síntoma, las características del armado, etc.

14.1.1: Fisuración por agotamiento de la capacidad resistente del hormigón:



Las fisuras son, generalmente, paralelas al pilar y son expresión de una ruina inminente. Su localización es un tanto aleatoria dada que dependerá de la ubicación del hormigón más deficiente. Es conocido que el pilar es uno de los elementos estructurales donde puede producirse una mayor variación en las calidades del hormigón, siendo la zona de mayor preocupación la parte superior puesto que en ella se acumula el agua y por tanto hace bajar la resistencia a compresión. Con esa referencia el hormigón se agotará con una fisuración que se ve condicionada, en los extremos, por la proximidad del nudo, de ahí que las fisuras pueda tener una morfología diversa, junto a unas sensiblemente paralelas al eje surgen otras formando ángulos. Cuando las fisuras surgen en la zona central del pilar, serán verticales, pudiendo ser una o varias muy finas. Pero si la zona donde aparecen es en las proximidades de la cabeza del pilar, las fisuras serán inclinadas, no sólo debido a la presencia del cortante sino a los efectos de la presencia del nudo.



En una misma sección con fuertes compresiones la situación del hormigón zunchado o confinado entre las armaduras longitudinales y el estribado tiene una mayor resistencia a compresión que el hormigón del recubrimiento. El aumento de la capacidad resistente del hormigón zunchado se debe a que la compresión es triaxial. Por ello no debe extrañarnos que salte inicialmente el recubrimiento dejando vistas las armaduras, sin que se produzca la ruina inminente.

La fisuración que comentamos es una de las más graves que se nos pueda presentar en una edificación tanto por expresar que el colapso puede estar próximo como por afectar a un elemento estructural cuya ruina arrastra, como mínimo, a una zona importante de la edificación, por lo que debe procederse a un desalojo inmediato del edificio y, si es posible, apuntalar la zona del entorno del pilar fisurado tanto en la planta afectada directamente como las próximas.

14.1.2: Fisuración por pandeo de las armaduras.

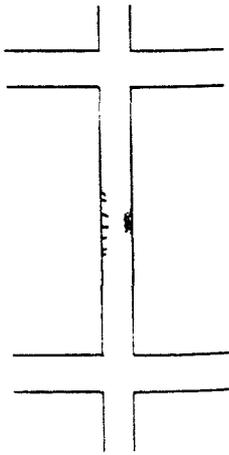


En situaciones de compresión simple o compuesta en pilares de hormigón armado con estribado excesivamente distanciados, puede producir el pandeo de las barras longitudinales con poco recubrimiento, ello hace que se desprenda parte de ese recubrimiento. La zona más sensible a estos efectos puede ser la cabeza de los pilares en los que por efecto del hormigonado han podido desplazarse hacia abajo dejando una importante zona sin estribos.

14.1.3: Fisuración de pilares esbeltos bajo esfuerzo de compresión simple o compresión compuesta.

En los pilares muy esbeltos sometidos a cualquier esfuerzo con presencia de un importante axil de compresión la preocupación es el pandeo. El pandeo es un

efecto de segundo orden que progresa con el tiempo y con el incremento de las acciones.



Las fisuras por pandeo de un pilar son ortogonales al mismo y localizadas hacia la mitad de su altura, si estamos en una pieza de sección constante y de armado continuo. Cuestión distinta es el estudio de las caras en que se produce la fisuración. La Instrucción EH-88 sólo estudia el pandeo en el plano paralelo al pórtico, ello no obstante no debe ser ningún argumento para que no se estudie el pandeo en el plano perpendicular al pórtico. Por tanto la fisuración dependerá del plano en el que se esté produciendo el pandeo. Es preciso distinguir la fisuración de un pilar por pandeo de la fisuración de un pilar por flexo-compresión, en el pandeo las fisuras se localiza en la zona central de los pilares y en la flexo-compresión en los extremos, allí donde el flector tiene su máximo valor. Junto a las fisuras horizontales, situadas aproximadamente a mitad de pilar, pueden coexistir otras verticales en la cara opuesta, lo cual sería expresión del agotamiento, además del hormigón comprimido.

Cuando se aprecie la fisuración que estudiamos es señal inequívoca de que el pandeo va a seguir progresando a gran ritmo, por lo que procede el desalojo de la edificación y apuntalar la zona del entorno del pilar fisurado.

14.1.4: Fisuración de pilares sometidos a flexo-compresión.



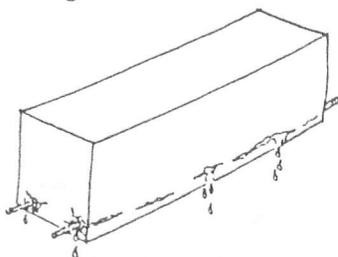
Cuando el pilar se encuentra sometido a una sollicitación en la que junto a un axil de compresión se localiza un momento flector importante, el agotamiento se puede producir por la superación de la capacidad resistente de las fibras más comprimidas, en ese caso las fisuras son paralelas al eje del pilar y localizadas en los bordes de las caras.

14.1.5: Fisuración por corrosión de las armaduras.

Si importante es limitar la fisuración admitida por las diferentes normativas en base a aspectos estéticos y psicológicos, mucho más lo es para evitar el proceso de corrosión de las armaduras que puede, incluso, en ruina física si reduce la sección útil provocando la superación de una situación de estado límite último por agotamiento de la capacidad resistente de las armaduras. De ahí que hayamos de prestar la máxima atención en aquellos aspectos preventivos. Algunos autores señalan que en realidad la corrosión depende más de factores como el vibrado correcto del hormigón y del dimensionado del recubrimiento que de las anchuras de las fisuras. Ello nos parece correcto pero con precisiones; efectivamente, un hormigón poroso y con poco recubrimiento puede producir la corrosión masiva de las armaduras, sin que sea necesario la existencia de una fisuración tensional de las zonas traccionadas. Por otra parte, ya hemos visto que la mayor parte de las normas limitan la anchura de las fisuras en el borde de la pieza cuando, sin embargo la anchura relevante es la que se produce en la superficie de las armaduras. De ahí que sea impreciso señalar anchos de fisuras sin indicar la dimensión del recubrimiento. La Instrucción EH-88, en el comentario al artículo 24.3, señala que el fenómeno de la corrosión tiene una ocurrencia aleatoria, estando regida por las leyes de la probabilidad y, en consecuencia, implica siempre

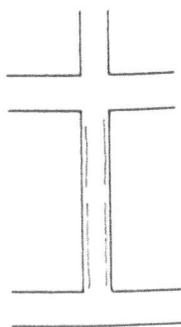
un riesgo, para su prevención recomienda, fundamentalmente, la compacidad del hormigón a utilizar y la utilización de recubrimientos suficientes.

La corrosión de las armaduras generan nuevas fisuras por el incremento del volumen del acero que presiona sobre el hormigón circundante. La morfología de las fisuras de corrosión depende de las características del ataque corrosivo. Si estamos ante un hormigón muy compacto y con recubrimientos generosos, la corrosión ataca a las armaduras a través de las fisuras más anchas, por tanto en secciones concretas y con un ámbito de influencia reducido y el acero oxidado se autoprotege. La existencia de la corrosión se aprecia a través de las manchas que aparecen en el hormigón en el entorno de la fisuras, similar a las chorreras que deja en la superficie del hormigón la oxidación de los trozos de barras salientes del mismo.



En Canarias, al estar la mayor parte de la edificación próxima al litoral, el proceso de corrosión de las armaduras es notorio y más rápido por el carácter más agresivo del ambiente marino.

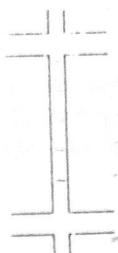
14.1.5.1: Fisuración por corrosión de las barras longitudinales.



En hormigones muy porosos y en situaciones de bajos recubrimientos, se producirá la corrosión de las armaduras aunque no haya una sensible fisuración por tracción del hormigón. En esos casos el hormigón, uno de sus principales papeles cual es aislar el acero del ambiente exterior, dando lugar a una corrosión extensiva de las armaduras que ve incrementado su volumen por el proceso expansivo de la oxidación. Las consecuencias consisten, fundamentalmente, en la aparición de una fisuración paralela a las armaduras. Si las armaduras oxidadas corresponden a vigas con poco recubrimiento puede producirse, en las zonas de máximos momentos positivos, el desprendimiento de parte del recubrimiento dejando las armaduras a la intemperie. Las barras más afectadas por la corrosión son los de las esquinas que pueden, igualmente, saltar.

Para evitar la fisuración es exigible, por un lado, acotar la anchura de la fisuración del trabajo estructural en servicio, que como sabemos se alcanza, fundamentalmente, haciendo que la tensión de las armaduras en estado de servicio sea reducida, y por otra, usar cementos de alto contenido en cal, amplios recubrimientos y hormigones muy compactos.

14.1.5.2: Fisuración por corrosión de los estribos.



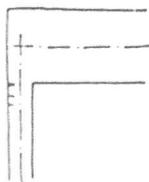
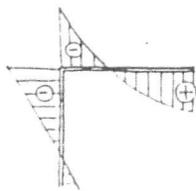
Los estribos son las barras que menos recubrimiento tienen y por tanto las que con menor dificultad pueden ser atacadas por los efectos derivados del medio. Al ser su sección relativamente pequeña el incremento de volumen por la creación del óxido puede no ser suficiente para fisurar el recubrimiento. En caso que sí lo sea la

fisuración va marcando la situación de los estribos. A este proceso colabora el empuje horizontal que las armaduras longitudinales someten a los estribos.

15: LA FISURACION PATOLOGICA EN PILARES EXTERIORES DE ESTRUCTURAS RETICULARES.

El trabajo estructural, y por tanto la expresión patológica, de un pilar extremo de una estructura reticular es muy diferente al de los pilares interiores de esa misma estructura. Efectivamente, la peculiaridad de esos pilares extremos no solo le viene dado por una sollicitación diferenciales-axiles inferiores, flectores y cortantes muy superiores-sino por las diferencias sustanciales en los nudos de enlace. En algunos aspectos los pilares extremos tienen un comportamiento muy próximo al de las vigas.

15.1: Patología del pilar extremo correspondiente al último forjado.



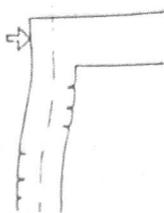
15.1.1: Fisuración de flexo-compresión.

El pilar extremo correspondiente al último forjado viene caracterizado por tener un axil muy reducido con un flector y cortante, relativamente, altos. La situación merecería aún más atención si la cubierta de la edificación tuviera un uso que hiciera prever acciones elevadas. Si se pudiera, el nudo habría que resolverlo como una articulación fija, al objeto de no transmitir momentos al pilar, ello no es fácil por lo que partimos, tal como sucede prácticamente en la totalidad de las edificaciones, de la existencia de un "nudo elástico". Con frecuencia se ejecuta, en la zona que estudiamos, el pilar con más esbeltez de la estructura y una viga con rigidez similar al resto, lo que agudiza el problema planteado.



La sollicitación del pilar es claramente de flexo-tracción, el axil en los extremos del pilar son sensiblemente iguales, por contra el momento flector en cabeza es muy superior al del apoyo inferior. Por ello, al ser los momentos negativos en el nudo, la máxima fisuración tendrá lugar en la cara exterior y en las proximidades del nudo superior.

15.1.2: Fisuración ante acciones horizontales.



Esta zona de la estructura es la más afectada por las acciones horizontales debidas a efectos de viento. En ese caso puede producirse un cambio de sentido del momento, siendo positivos tanto los momentos en el pilar como en la viga. En relación con el nudo se puede producir el importante efecto de tensiones al vacío.

15.2: Patología del pilar extremo correspondiente a la primera planta o al primer sótano.

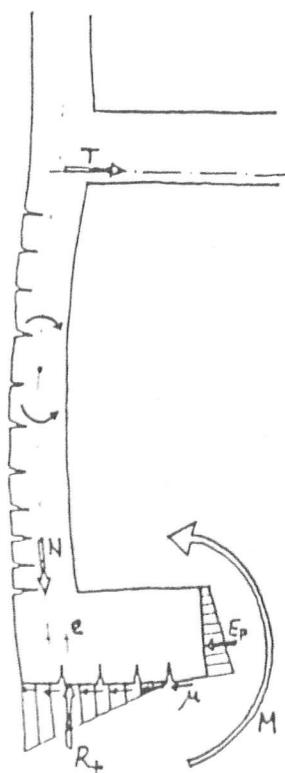
Los aspectos relativos a este pilar le viene dado por ser el elemento de enlace entre la estructura de cimentación y el resto del conjunto estructural, precisamente en la confluencia de las sollicitaciones más diferenciadas: pilar extremo y zapata de medianería o de esquina. Si la zapata no fuese de medianería, el pilar no tiene un trabajo muy diferenciado en relación con el de los pilares interiores, dado que el axil es muy superior al del pilar

del último forjado y el momento muy inferior.

En estos pilares que ahora estudiamos su situación real de trabajo va a depender como se haya diseñado y ejecutado la edificación. Efectivamente, el pilar puede ver incrementado su sollicitación si para el equilibrio de la zapata de medianería o de esquina es necesario la colaboración del resto de la estructura por encima de la cimentación.

Las soluciones que equilibran las zapatas de medianería en base de diseños que sólo afecta el nivel de cimentación, no incrementa la sollicitación del pilar. Son los casos, fundamentalmente, de las vigas centradoras.

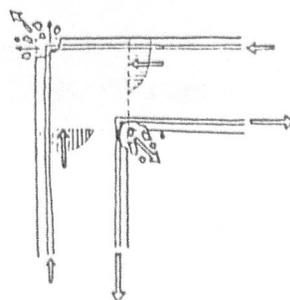
El conocido método del tirante en el forjado como solución al equilibrio de las zapatas de medianería suponen la transmisión de un importante momento al pilar, que si se tiene en cuenta en el cálculo no supondrá el surgimiento de una sintomatología preocupante.



Sin embargo, el grave problema de los pilares extremos de planta baja o de sótanos se presenta cuando se diseñan y ejecutan zapatas de medianería sin el previo estudio de su equilibrio. Son frecuentes las "zapatas de medianería aisladas", sin que pierda tal carácter la existencia de elementos de unión con las otras zapatas de medianería, las conocidas correas perimetrales cuya eficacia puede ser importante en las zapatas de esquina, pero irrelevante en las de medianería que no son de esquina. Las zapatas de medianería no ven mejorado su equilibrio uniéndolas a otras de medianería situadas en sus laterales. El hecho aparentemente paradójico es que son muchas las cimentaciones ejecutadas así, sin que hayan surgido problemas graves. La explicación viene dada en base que el equilibrio se ha logrado con un par estabilizador cuyos brazos de palanca lo aportan la tracción en el forjado superior y el rozamiento de zapata-terreno-además del empuje pasivo del terreno, pero para que ello haya sido así el pilar ha sido sometido a un importante incremento del momento flector, que al no estar dimensionado para ello se traducirá en una disminución de la seguridad local del pilar, y con ello el general de la edificación. En relación con la tracción en la viga o en el forjado la demanda de tracción es moderada y es absorbida por el armado existente sin gran disminución de la seguridad, cuestión distinta es el debilitamiento del hormigón en relación con su capacidad de absorción de cortante.

Volviendo a los efectos del equilibrio en el pilar, añadamos que el equilibrio expuesto exige un giro de la cimentación de medianería que incrementa las potencialidades del pandeo de aquél.

Como conclusión cabe señalar, que el cálculo de sollicitaciones de los elementos estructurales bajo la hipótesis de un empotramiento perfecto de los pilares en la cimentación, no se ve con frecuencia correspondido con un diseño de la cimentación que lo garantice. Por tanto, a los conocidos procesos de asentamientos diferenciales de los elementos de apoyo de la estructura se requiere los estudios pormenorizados de los elementos de borde, entre ellos las zapatas de medianería y de esquinas.



16.- BIBLIOGRAFIA

- 16.1: AA.VV. **CIMENTACIONES URBANA: CALIDAD Y MODERNATECNOLOGIA.** Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.975. 387 págs.
- 16.2: AA.VV. **CURSO DE MECANICA Y TECNOLOGIA DE LOS EDIFICIOS ANTIGUOS.** Servicio de Publicaciones del Colegio oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.985. 339 págs.
- 16.3: AA.VV. **PATOLOGIA DE FACHADAS URBANAS,** trabajo elaborado desde el Departamento de Construcción de la E.T.S.Arquitectura de Valladolid, dirigido por el Dr. Don Juan Monjo Carrió. Universidad de Valladolid y Caja de Ahorros y Monte de Piedad de Salamanca. 1.987. 455 págs.
- 16.4: AA.VV. **CURSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-0: IDEAS BASICAS SOBRE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION,** 2ª edición. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.982. 88 págs.
- 16.5: AA.VV. **CURSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-1: CONTROL DE OBRAS DE HORMIGON,** 2ª edición. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.981. 198 págs.
- 16.6: AA.VV. **CURSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-2: CONTROL DE CIMENTACIONES,** 2ª edición. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.981. 200 págs.
- 16.7: AA.VV. **CURSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-3: ESTRUCTURAS METALICAS.** Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.981. 132 págs.
- 16.8: AA.VV. **CURSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-4: CONTROL DE OBRAS DE FABRICA,** 1ª edición. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.982. 64 págs.
- 16.9: AA.VV. **CURSO DE REHABILITACION-0: LA NORMATIVA INTERNACIONAL.** Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1ª edición. Madrid, 1.987. 100 págs.
- 16.10: AA.VV. **CURSO DE REHABILITACION-1: LA TEORIA.** Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.986. 296 págs.
- 16.11: AA.VV. **CURSO DE REHABILITACION-2: EL PROYECTO.** Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985. 79 págs.

- 16.12: AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-3: LA VALORACION. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.985. 79 págs.
- 16.13: AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-4: LA CIMENTACION. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985. 117 págs.
- 16.14: AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.15: AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-6: LA CUBIERTA. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985. 153 págs.
- 16.16: AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-7: CERRAMIENTOS Y ACABADOS. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985. 229 págs.
- 16.17: AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-8: ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985. 100 págs.
- 16.18: AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-9: LAS INSTALACIONES. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.985. 193 págs.
- 16.19: AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-10: LOS APEOS. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.20: AA.VV. Quincenas Técnicas INCE, III. LA MADERA EN LA EDIFICACION. Ministerio de la Vivienda 9/20 de mayo 1.977.
- 16.21: ADAM, Miguel. ASPECTOS DEL HORMIGON: TECNICAS. REALIZACIONES. PATOLOGIA, traducción de la obra "Aspects du beton" por José Mª Palomar LLovet. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.975. 259 págs.
- 16.22: ADDLESON, Lyall. FALLOS EN LOS EDIFICIOS, versión española de la obra "Guide to Building Failures" por Rafael Fontes, colección Manuales AJ. Editorial Hermann Blume. Madrid, 1.986. 105 págs.
- 16.23: ADDLESON, Lyall. FALLOS EN LOS EDIFICIOS. Consejo General de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de España. 1.982.
- 16.24: ALAMAN. A. IMPERMEABILIDAD DE MUROS DE LADRILLO. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1.962.
- 16.25: ALONSO, J. "Ensayos de hormigones ligeros estructurales españoles: Análisis a la luz de la experiencia en otros países". Hormigón y Acero, nº 126, 1.978.

- 16.26: ALLEVY, P. "Estudio de la resistencia de propagación de una fisura de una materia frágil, granular, coherente". Resumen de Tesis Doctoral de la Universidad de Ciencias de Toulouse, publicada en Informes de la Construcción, nº 331, 1.982.
- 16.27: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. "Behaviour of concrete under temperature extremes". ACI-SP-39. A.C.I., 1.973.
- 16.28: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. "Building Code Requeriments for Reinforced Concrete". ACI-318-71. American Concrete Institute, 1.971.
- 16.29: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 318. "Commentary on Building Code Requeriments for Reinforced Concrete", 1.972.
- 16.30: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. "Building code requeriments for reinforced concrete". American Concrete Institute, 1.983.
- 16.31: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. DURABILITY OF CONCRETE. A.C.I., 1.975.
- 16.32: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. PERFORMANCE OF CONCRETE IN MARINE ENVIRONMENT. ACI-SP-65. A.C.I., 1.980.
- 16.33: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. REGLAMENTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE CONCRETO RESFORZADO (ACI-318-71) Y COMENTARIOS. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC. Mexico D.F.
- 16.34: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. SUPLEMENTO 1,976 AL REGLAMENTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE CONCRETO REFORZADO (ACI-318-71) Y COMENTARIOS. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC. Mexico D.F.
- 16.35: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. COLOCACION DEL CONCRETO POR METODOS DE BOMBEO (ACI-304). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección "nueva serie", NS-1. Mexico D.F.
- 16.36: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. PRACTICA RECOMENDABLE PARA DOSIFICAR CONCRETO NORMAL Y CONCRETO PESADO (ACI-211.1.74). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección "nueva serie", NS-2. Mexico D.F.
- 16.37: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. PRACTICA RECOMENDABLE PARA MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO (ACI-304-72). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección "nueva serie", NS-3. Mexico D.F.
- 16.38: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. CARTILLA DEL CONCRETO (ACI-SP-1). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección

"nueva serie", NS-4. Mexico D.F.

- 16.39: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. PRACTICA RECOMENDABLE PARA LA COMPACTACION DEL CONCRETO (ACI-309). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección "nueva serie", NS-5. Mexico D.F.
- 16.40: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS A BASE DE BLOQUES DE CONCRETO (ACI-531). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección "nueva serie", NS-6. Mexico D.F.
- 16.41: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. GUIA PARA EL EMPLEO DE ADITIVOS EN EL CONCRETO (ACI-212). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección "nueva serie", NS-7. Mexico D.F.
- 16.42: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO (ACI-704). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección "nueva serie", NS-8. Mexico D.F.
- 16.43: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACERO DE REFUERZO DE ALTA RESISTENCIA (ACI-439). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección "nueva serie", NS-9. Mexico D.F.
- 16.44: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. PRACTICA RECOMENDABLE PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS Y BASES DE CONCRETO (ACI-316-74). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección "nueva serie", NS-12. Mexico D.F.
- 16.45: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. COLOCACION DE CONCRETO POR MEDIO DE BANDAS TRANSPORTADORAS (ACI-304). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección "nueva serie", NS-14. Mexico D.F.
- 16.46: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. PRACTICA RECOMENDABLE PARA EL CURADO DEL CONCRETO (ACI-308). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección "nueva serie", NS-16. Mexico D.F.
- 16.47: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección "nueva serie", NS-. Mexico D.F.
- 16.48: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. "Symposium of fire resistance of concrete public". ACI-SP-5. A.C.I., 1.962.
- 16.49: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. STRUCTURAL FAILURES: MODES, CAUSES, RESPONSABILITIES. Research Council of Performance of Structures. New York, 1.973.
- 16.50: ANDRADE, M^a Carmen, coordinadora del trabajo de investigación:

"Corrosión y Protección de Armaduras", subprograma del programa temático del C.S.I.C. "Corrosión y protección de materiales", publicado bajo el título MANUAL: INSPECCION DE OBRAS DAÑADAS POR CORROSION DE ARMADURAS, Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, Madrid, 1.989.

- 16.51: APENDICE IV. "Recomendaciones para el uso del hormigón en medios agresivos". Instituto Eduardo Torroja, Materiales de Construcción", nº 167, 1.977.
- 16.52: ARENAS DE PABLO, Juan J. "Cálculo de soportes rectangulares de hormigón armado en torja de segundo orden. Abacos de dimensionamiento directo". Monografía de la Agrupación Nacional de fabricantes de Cemento de España.
- 16.53: ARENAS DE PABLO, Juan J. "Cálculo en estado límite de inestabilidad de soportes de hormigón armado". Comunicación a la IX Asamblea Técnica Nacional de la Asociación Técnica española de Pretensado, celebrada los días 2 al 6 de octubre de 1.978. Hormigón y Acero, nº 130-132, 1.979. Págs. 218-238.
- 16.54: ARNAIZ, M y MARTIN, Antonio. "Alteración de Materiales pétreos de obras monumentales. Acción de la contaminación ambiental". Monografía 340 del Instituto Eduardo Torroja.
- 16.55: ARRANZ LOPEZ, Andrés. "Control de materiales", en la obra de AA.VV. CURSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-1: CONTROL DE OBRAS DE HORMIGON, 2ª edición, págs. 41-76. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.981.
- 16.56: ARRANZ LOPEZ, Andrés. "Medios experimentales para el control de estructuras metálicas", en la obra de AA.VV. CURSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-3: ESTRUCTURAS METALICAS, págs.81-120. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.981.
- 16.57: ARRANZ LOPEZ, Andrés. "Rehabilitación térmica de edificios", en ACONDICIONAMIENTO TERMICO Y ACUSTICO, págs. 43-100, nº 8 de la colección CURSO DE REHABILITACION. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.985.
- 16.58: ARREDONDO, F. ESTUDIOS DE MATERIALES; HORMIGONES, 6ª edición. Madrid, 1.969.
- 16.59: ARREDONDO, F. HORMIGONES. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1.978.
- 16.60: ARREDONDO, F.; FERNANDEZ CANOVAS, M; FONTAN y LOPEZ MADRUGA, E. "Mejora del hormigón mediante su impregnación con

polímeros vínicos. Aplicación industrial". Monografía del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento, nº 345.

- 16.61: **ARRIAGA MARTITEGUI, Francisco.** "Consolidación de estructuras de madera", en la obra AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-6: LA CUBIERTA, págs.129-143. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.62: **ASCE. GUIDE INVESTIGATION OF STRUCTURAL FAILURES.** Research Council on Performance of Structures. New York. 1.979.
- 16.63: **AVILA JALVO, José Miguel.** "Control de proyecto", en la obra de AA.VV. CURSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-1: CONTROL DE OBRAS DE HORMIGON, 2ª edición, págs. 87-103. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.981.
- 16.64: **BAGLONI, A. y GUARNERIO, G.** LA REHABILITACION DE EDIFICIOS URBANOS: TECNOLOGIAS PARA LA RECUPERACION, traducción de la obra "la ristrutturazione edilizia. tecnologie per il recupero delle vecchie costruzioni. Aspetti socio-ambientali, economici, legislativi" por Mª Pilar Servitje de Llorens, de la colección Arquitectura/Perspectivas. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, 1.988. 229 págs.
- 16.65: **BARRIOS, M.** "Estudio crítico sobre la resistencia a compresión de probetas de hormigón de cemento puzolánico a diferentes edades". Monografía del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y el cemento, nº 331.
- 16.66: **BARREDO DE VALENZUELA, Carlos.** "Algunos casos de refuerzos de estructuras por pretensado o por deformación". Comunicación a la IX Asamblea Técnica Nacional de la Asociación Técnica Española del Pretensado, celebrada del 2 al 6 de octubre de 1.978. Hormigón y Acero, nº 130-131-132, 1.979. Págs. 326-338.
- 16.67: **BARRIOS, M.** "Contribución al estudio crítico del control de calidad de probetas de hormigón de cemento puzolánico mediante ensayos con el esclerómetro Schmidt". Monografía del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y el cemento, nº 333.
- 16.68: **BASSEGODA NONELL, Juan.** LA CATEDRAL DE BARCELONA: SU RESTAURACION 1.968-1.972. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona.
- 16.69: **BAYON, Rene.** LA PROTECCION CONTRA INCENDIOS EN LA CONSTRUCCION, traducción de la obra "Prevention du feu dans le projet de batiment" por Luis Pou Marín. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.978. 507 págs.
- 16.70: **BEAZLEY, M.** LA MADERA. Editorial Blume. Barcelona, 1.978.

- 16.71: **BEGUEIRA LATORRE, Pedro Antonio.** **MANUAL PARA ESTUDIOS Y PLANES DE SEGURIDAD E HIGIENE. CONSTRUCCION.** Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Madrid, 1.989.
- 16.72: **BENITO FERNANDEZ, Jesús de.** "Reparación o conservación de cerramientos", en **CURSO DE REHABILITACION, N° 7, CERRAMIENTOS Y ACABADOS**, págs.41-53. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1.988.
- 16.73: **BERTIN, Robert y GASC, Claude.** **CIMENTACIONES Y OBRAS EN RECALCES**, traducción de la obra "Les fondations et reprises en sous-oeuvre" por Jorge Ferrer Viñals, segunda edición. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.976. págs. 313.
- 16.74: **BLACHÉRE, Gerard.** **SABER CONSTRUIR : HABITABILIDAD, DURABILIDAD, ECONOMIA DE LOS EDIFICIOS**, traducción de la obra "Savoir bâtir" por Buenaventura Bassegoda Muste, tercera edición. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.978. 311 págs.
- 16.75: **BLEVOT, Jean.** **ENSEIGNEMENTS TIRÉS DE LA PATHOLOGIE DES CONSTRUCTIONS EN BÉTON ARMÉ.** Eyrolles Ed. Paris, 1.975.
- 16.76: **BLEVOT, Jean.** **PATHOLOGIE DES CONSTRUCTIONS EN BÉTON ARMÉ.** Institut Technique du Batiment et Travaux Publics. Paris, 1.974.
- 16.77: **BLEVOT, Jean.** **PATOLOGIA DE LAS CONSTRUCCIONES DE HORMIGON ARMADO: ENSEÑANZAS EXTRAIDAS DE LA PRACTICA**, traducción al castellano de la obra "enseignements tirés de la pathologie des constructions en béton armé" por José Maria Llaurodo Grau". Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.977. 97 págs.
- 16.78: **BODEN, Revista.** "La intervención en la Ciudad.1. El Centro. n° 20, 78-79.
- 16.79: **BRANDI, Cesare.** **TEORIA DE LA RESTAURACION**, versión española de la obra "teoria del restauro" por María Angeles Toajas Roger. Alianza Editorial, S.A. Madrid, 1.988. 149 págs.
- 16.80: **BRANSON, Dan E.** **DEFLEXIONES DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO Y PREFORZADO**, traducción de la obra "Deflection of Reinforced Concrete Structures" por Victor M.Pavón Rodríguez. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, a.c.-YMCYC, "serie concreto estructural, ce-1". Mexico D.F., 1.978. 130 págs.
- 16.81: **BRANSON, Dan.E.** **DEFORMATION OF CONCRETE STRUCTURES.** McGraw-Hill. New York, 1.977. 546 págs.
- 16.82: **BUZON, Rafael.** **GRIETAS EN LOS EDIFICIOS: CAUSAS, PRECAUCIONES PARA EVITARLAS Y OTRAS CONSIDERACIONES.**

Separata de la Revista TA, nº 70, febrero 1.965. 15 págs.

- 16.83: CABALLERO ZOREDA, Luis. "el método arqueológico para la comprensión del edificio", en *CURSO DE MECANICA Y TECNOLOGIA DE LOS EDIFICIOS ANTIGUOS*, págs.13-58. Servicio de Publicaciones del Colegio oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.985.
- 16.84: CABRERA GARRIDO, José María. "La piedra: material base", en *CURSO DE MECANICA Y TECNOLOGIA DE LOS EDIFICIOS ANTIGUOS*, págs. 137-163. Servicio de Publicaciones del Colegio oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.985.
- 16.85: CACHO FALCO, Francisco. "Control de materiales", en la obra de AA.VV. *CURSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-3: ESTRUCTURAS METALICAS*, págs. 21-36. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.981. 132 págs.
- 16.86: CALAVERA RUIZ, José. *CALCULO, CONSTRUCCION Y PATOLOGIA DE FORJADOS DE EDIFICACION*, 4ª edición. INTEMAC. Madrid, 1.988. 678 págs.
- 16.87: CALAVERA RUIZ, José. "Cálculo de flechas a largo plazo en forjados. Estudio experimental de las condiciones de apoyo de los forjados". *Hormigón y Acero*, nº 157, diciembre de 1.985.
- 16.88: CALAVERA RUIZ, José. "Compatibility of Structures with the other parts of the Buildings". IX Congress C.I.B. Stockolm. 1.983.
- 16.89: CALAVERA RUIZ, José. "Concepto de seguridad", en la obra de AA.VV. *CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA*, págs.9-18. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.90: CALAVERA RUIZ, José. "Consideraciones sobre el número de probetas de hormigón que deben tomarse de cada amasada". *Hormigón y Acero*, Madrid, enero-marzo de 1.980.
- 16.91: CALAVERA RUIZ, José. "El coeficiente de seguridad y el momento de rotura nominales como bases de juicio para el control de piezas mediante ensayos a rotura por flexión". *Hormigón y Acero*, nº 128, 1.978.
- 16.92: CALAVERA RUIZ, José. "El coeficiente de seguridad y el momento de rotura nominales como bases de juicio para el control de piezas mediante ensayos a rotura por flexión". *Comunicación a la IX Asamblea Técnica Nacional de la Asociación Técnica Española del Pretensado, celebrada del 2 al 6 de octubre de 1.978. Hormigón y Acero*, nº 130-131-132, 1.979. Págs. 181-194.
- 16.93: CALAVERA RUIZ, José. "Ensayos de información. Aplicación a la patología de estructuras", en la obra de AA.VV. *CURSO DE CONTROL DE*

CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-1: CONTROL DE OBRAS DE HORMIGON, 2ª edición, págs. 105-129. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.981.

- 16.94: CALAVERA RUIZ, José. "Estado actual del problema de las tolerancias en estructuras de hormigón". *Hormigón y Acero*, nº 126, 1.978.
- 16.95: CALAVERA RUIZ, José. "Estudio teórico y experimental de flechas instantáneas y diferidas en forjados unidireccionales de hormigón armado". *Colloquia'88*, 23-27, mayo, 1.988.
- 16.96: CALAVERA RUIZ, José. "Forjados: estado de la cuestión". "Informes de la Construcción", nº 328, marzo 1.981, págs. 5-13.
- 16.97: CALAVERA RUIZ, José. **INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES RESISTENTES DE LOS MATERIALES Y LAS VARIACIONES DIMENSIONALES DE LAS PIEZAS DE HORMIGON ARMADO SOBRE SU CAPACIDAD RESISTENTE. INTEMAC. Madrid, 1.979.**
- 16.98: CALAVERA RUIZ, José. "Las tolerancias en estructuras de hormigón". *Hormigón y Acero*, nº 127, junio de 1.978.
- 16.99: CALAVERA RUIZ, José. "Las tolerancias en estructuras de hormigón". *Hormigón y Acero*, nº 133, Instituto Eduardo Torroja. Madrid, diciembre de 1.979.
- 16.100: CALAVERA RUIZ, José. "Probetas tomadas a salida de hormigón". *Informes de la Construcción*, nº 268, 1.975.
- 16.101: CALAVERA RUIZ, José. "Sanción técnica del refuerzo", en la obra de AA.VV. **CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA**, págs. 261-271. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.102: CALAVERA RUIZ, José. "Situaciones críticas en el proceso de cimbrado de plantas consecutivas de estructuras de Edificación". *Primer Congreso de Patología de la edificación. Barcelona, marzo, 1.985.*
- 16.103: CALAVERA RUIZ, José: **TIPOLOGIA DE FISURAS EN EL HORMIGON ARMADO**, Departamento de Construcción Arquitectonica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, edición al cuidado de José Manuel Pérez Luzardo, 1.990.
- 16.104: CALAVERA RUIZ, José; APARICIO, G; DELIBES, Adolfo; GONZALEZ ISABEL, J.M. "El relleno de taladros producidos por la extracción de probetas-testigo y su influencia en la resistencia de los pilares de hormigón armado". *Informes de la Construcción*, nº 275,

1.975.

- 16.105: CALAVERA RUIZ, José y GONZALEZ VALLE, Enrique. "Consideraciones sobre tensiones de corte en la superficie de contacto de piezas compuestas". Comunicación a la IX Asamblea Técnica Nacional de la Asociación Técnica Española del Pretensado, celebrada del 2 al 6 de octubre de 1.978. Hormigón y Acero, nº 130-131-132, 1.979. Págs. 139-145.
- 16.106: CALAVERA RUIZ, José; DELIBES LINIERS, Adolfo; GONZALEZ ISABEL, G. e IZQUIERDO BERNALDO DE QUIROS. "Ensayos comparativos de adherencia por los métodos Beam-Test y Pull-out sobre barras corrugadas de grandes diámetros". Comunicación a la IX Asamblea Técnica Nacional de la Asociación Técnica Española del Pretensado, celebrada del 2 al 6 de octubre de 1.978. Hormigón y Acero, nº 130-131-132, 1.979. Págs. 55-62.
- 16.107: CALAVERA RUIZ, José; DELIBES LINIERS, Adolfo; GONZALEZ ISABEL, G. e IZQUIERDO BERNALDO DE QUIROS. "Influencia de la oxidación y de las manchas de mortero sobre la adherencia de armaduras de hormigón". Comunicación a la IX Asamblea Técnica Nacional de la Asociación Técnica Española del Pretensado, celebrada del 2 al 6 de octubre de 1.978. Hormigón y Acero, nº 130-131-132, 1.979. Págs. 73-84.
- 16.108: CALAVERA RUIZ, José y FERNANDEZ GOMEZ, J.A. "Cálculo de flechas a largo plazo en forjados". XI Asamblea de la Asociación Técnica Española del Pretensado, septiembre 1.984.
- 16.109: CALAVERA RUIZ, José y GONZALEZ VALLE, Enrique. "Consideraciones sobre tensiones de corte en la superficie de contacto de piezas compuestas". Comunicación a la IX Asamblea Técnica Nacional de la Asociación Técnica Española del Pretensado, celebrada del 2 al 6 de octubre de 1.978. Hormigón y Acero, nº 130-131-132, 1.979. Págs. 139-145.
- 16.110: CALAVERA RUIZ, José; GONZALEZ VALLE, E y GONZALEZ ISABEL, G. "La influencia de los esfuerzos de compresión sobre la resistencia a tracción del hormigón". Hormigón y acero, nº 119-120, 1.977.
- 16.111: CALAVERA RUIZ, José, DELIBES, Adolfo, FERNANDEZ PARIS, J.M e IZQUIERDO, J.M. "Influencia de los estados previos de carga del hormigón, sobre su microfisuración y resistencia". Comunicación a la IX Asamblea Técnica Nacional de la Asociación Técnica Española del Pretensado, celebrada del 2 al 6 de octubre de 1.978. Hormigón y Acero, nº 130-131-132, 1.979. Págs. 158-168.
- 16.112: CALAVERA RUIZ, José; GONZALEZ VALLE, Enrique; DELIBES,

Adolfo; FERNANDEZ PARIS, J.M e IZQUIERDO, J.M. "Influencia de las compresiones previas en el hormigón sobre su microfisuración y resistencia a compresión". Asociación de Investigación de la Construcción-ASIC-. Madrid, 1.977.

- 16.113: CALLEJA, J. "Aditivos y Tratamientos para el hormigón", en *Resúmenes Curso CEMCO-76*, Instituto Eduardo Torroja, Madrid, 1.976.
- 16.114: CALLEJA, J. CODIGO DE BUENA PRACTICA PARA LA UTILIZACION DE LOS CEMENTOS DEL PLIEGO RC-75. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1.977.
- 16.115: CALLEJA, J. "Corrosión de armaduras en los hormigones armados y pretensados". Monografía nº 256. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1.976.
- 16.116: CALLEJA, J.; TRIVIÑO, F. y BACLE, B. "Heterogeneidades de composición química en el hormigón". Monografía nº 258. Instituto Eduardo Torroja. Madrid.
- 16.117: CALLEJA, J. TRATAMIENTOS TERMICOS DEL HORMIGON. Monografía nº 269. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1.968.
- 16.118: CANTACUZINO, Sherban. NUEVOS USO PARA EDIFICIOS ANTIGUOS, traducción de la obra "New Uses for Old Buildings" por Angel Pérez Iniesta. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, 1.979. 264 págs.
- 16.119: CAPITEL, Antón. "El tapiz de Penélope: Apuntes sobre las ideas de restauración e intervención arquitectónica". "Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme", nº 155, desembre 1.982, págs. 24-34.
- 16.120: CASSINELLO PEREZ, Fernando. CONSTRUCCION-CARPINTERIA. Editorial Rueda. 1.973.
- 16.121: CASSINELLO PEREZ, Fernando. CONSTRUCCION-HORMIGONERIA. Editorial Rueda. 1.974.
- 16.122: CASSINELLO PEREZ, Fernando. "El arquitecto y la estructura". Monografía del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento, nº 285. 30 págs.
- 16.123: CERVELLATI, P.L. y SCANNAVINI, R. POLITICA Y METODOLOGIA DE LA RESTAURACION DE CENTROS HISTORICOS: BOLONIA. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, 1.976.
- 16.124: CLIMENT, J. "Observaciones a los ensayos acelerados empleados

para caracterizar la susceptibilidad a la corrosión fisurante bajo tensión (C.F.B.T.), segunda parte". *Hormigón y Acero*, nº 126, 1.978.

- 16.125: **COMISION PERMANENTE DEL HORMIGON. INSTRUCCION PARA EL PROYECTO Y LA EJECUCION DE OBRAS DE HORMIGON EN MASA O ARMADO, EH-73.** Servicio de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del M.O.P.U. Madrid, 1.973.
- 16.126: **COMISION PERMANENTE DEL HORMIGON. INSTRUCCION PARA EL PROYECTO Y LA EJECUCION DE OBRAS DE HORMIGON EN MASA O ARMADO, EH-80.** Servicio de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del M.O.P.U. Madrid, 1.981.
- 16.127: **COMISION PERMANENTE DEL HORMIGON. INSTRUCCION PARA EL PROYECTO Y LA EJECUCION DE OBRAS DE HORMIGON EN MASA O ARMADO, EH-82.** Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del M.O.P.U. Madrid, 1.987.
- 16.128: **COMISION PERMANENTE DEL HORMIGON. INSTRUCCION PARA EL PROYECTO Y LA EJECUCION DE OBRAS DE HORMIGON EN MASA O ARMADO, EH-88.** Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del M.O.P.U., séptima edición. Madrid, 1.988.
- 16.129: **COMISION PERMANENTE DEL HORMIGON. INSTRUCCION PARA EL PROYECTO Y LA EJECUCION DE FORJADOS DE HORMIGON ARMADO O PRETENSADO, EF-88.** Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del M.O.P.U. Madrid, 1.988.
- 16.130: **COMISION PERMANENTE DEL HORMIGON. INSTRUCCION PARA EL PROYECTO Y LA EJECUCION DE OBRAS DE HORMIGON PRETENSADO, EP-77.** Servicio de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del M.O.P.U. Madrid, 1.977.
- 16.131: **COMISION PERMANENTE DEL HORMIGON. RESISTENCIA CARACTERISTICA Y CONTROL DE CALIDAD.** Ministerio de Obras Públicas, Secretaría General Técnica, Gabinete de Organización y Normas Técnicas, 1.972.
- 16.132: **COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. "Assessment of concrete structures and design procedures for up-grading (Re-design). Task Grup 12, C.E.B,** 1.983.
- 16.133: **COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. CODIGO-MODELO CEB-FIP PARA LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON.** Traducción española a cargo del Instituto Eduardo Torroja, Madrid, 1.978. 34 págs.
- 16.134: **COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. SYSTEME INTERNATIONAL DE REGLEMENTATION TECHNIQUE UNIFIÉE**

- DES STRUCTURES, 2ème Draft. Volumen I : Règles unifiées communes aux différents types d'ouvrages et de matériaux", Volumen II : Code modele CEB-FIP poru les estrustructures en beton". Bulletin d'Information, n° 111. Octobre de 1.975.*
- 16.135: *COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. SYSTEME INTERNATIONAL DE REGLEMENTATION TECHNIQUE UNIFIÉE DES STRUCTURES. Volumen I : Règles unifiées communes aux différents types d'ouvrages et de matériaux", Volumen II : Code modele CEB-FIP poru les estrustructures en beton"-3ème projet, version originale. Bulletin d'Information, n° 117-F. Diciembre de 1.976.*
- 16.136: *COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. SYSTEME INTERNATIONAL DE REGLEMENTATION TECHNIQUE UNIFIÉE DES STRUCTURES. Volumen I : Règles unifiées communes aux différents types d'ouvrages et de matériaux", Volumen II : Code modele CEB-FIP poru les estrustructures en beton". Bulletin d'Information, n°124/125-F. Abril de 1.978.*
- 16.137: *COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. COMPLÉMENTS AU CODE MODELE. Bulletin d'Information, n° 139-F, julio 1.981.*
- 16.138: *COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. COMPLÉMENTS AU CODE MODELE CEB-FIP 1978. Bulletin d'Information, n° 137, junio 1.980.*
- 16.139: *COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. "Notations. Terminologie". Bulletin d'information, n° 96, 1.973.*
- 16.140: *COMITÉ EUROPÉEN DU BÉTON. PROYET DE MANUEL C.E.B.-F.I.P.: "Deformations: Etat des connaissances en 1.970", par Monsieur le Docteur Soretz, Rapporteur de la Commission IVb, rédaction du Docteur HINTERLEITNER, décembre 1.969, contribution à la 14e Session Plénière du C.E.B, Copenhague, mai 1.971. "Bulletin d'information", n° 77, avril 1.971. págs. 79-87.*
- 16.141: *COMITÉ EUROPÉEN DU BÉTON. MANUEL C.E.B. SUR DEFORMATIONS, deuxième partie: "Pathologie des excès de déformation", propuesta de Oscar PREFFERMANN y Joseph MATHEZ, troisième projet, janvier 1.973, contribution à la 16e Session Plénière du C.E.B, Londres octobre 1.973. "Bulletin d'information", n° 91, mai 1.973. 96 págs.*
- 16.142: *COMITÉ EUROPÉEN DU BÉTON. MANUEL C.E.B. CALCUL ET LIMITATION DES FLECHES: 2e partie: "Désordres pathologiques dus à un excès de déformations", propuesta de Oscar PREFFERMANN y Joseph MATHEZ, 2e avant-projet, mars 1.972, contribution à la 15e Session Plénière du C.E.B, Léningrad, mai 1.972. "Bulletin d'information", n° 81, mars 1.972. 81 págs.*

- 16.143: **COMITÉ EUROPÉEN DU BÉTON. MANUEL C.E.B. CALCUL ET LIMITATION DES FLECHES: 1ère partie: "Calcul des Flèches", propuesta de Manfred WICKE, Oscar PREFFERMANN, Joseph MATHEZ, Jan BRAKEL, Felix RIESSAÛW, contribution à la 15e Session Plénière du C.E.B, Léningrad, mai 1.972. "Bulletin d'information", n° 81, mars 1.972. 45 págs.**
- 16.144: **COMITÉ EUROPÉEN DU BÉTON. "Report preliminaire de la Commission XX. Comportement en service, entretien et réparations". "Bulletin d'information", n°138. Agosto, 1.980.**
- 16.145: **CORRES, H. "Comprobación y dimensionamiento de secciones". Hormigón y Acero, n° 134. Madrid, 1.980.**
- 16.146: **CORRES, H. y MORAN, F. "Dimensionamiento de soportes esbeltos de hormigón armado". Hormigón y Acero, n° 147, Madrid, 1.983.**
- 16.147: **CRISSET, Maurice. HUMEDAD Y TEMPERATURA EN LOS EDIFICIOS: CONDENSACIONES Y CONFORT TERMICO DE VERANO E INVIERNO, traducción española de la obra "Lygrotermique dans le batiment: confort thermique et de d'été. Condensations", segunda edición. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.976.**
- 16.148: **CUTLER, D.F. y RICHARDSON. RAICES DE ARBOLES Y EDIFICIOS, traducción de la obra "Tree Roots ans Buildings" de Javier Fernández Casa. Asociación Española de Parques y Jardines Públicos, editorial Raíces. Madrid, 1.981. 100 págs.**
- 16.149: **CHAMPION, S. FAILURE AND REPAIR OF CONCRETE STRUCTURES. John Wiley and Sons Ed. Londres, 1.961.**
- 16.150: **CAHARON, Pierre. COMMENT ÉVITER LES ERREURS DANS LES ÉTUDES DE BÉTON ARMÉ. Eyrolles Ed. Paris, 1.973.**
- 16.151: **CHARON, Pierre. COMO EVITAR LOS ERRORES EN LOS PROYECTOS DE HORMIGON ARMADO. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona.**
- 16.152: **D'APPOLONIA, David J. Efectos de la construcción de fundaciones en estructuras cercanas", en IV Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, Vol I. San Juan de Puerto rico, 1.971.**
- 16.153: **DELIBES, Adolfo. "Análisis de la influencia de algunas variables en la extracción y ensayo a compresión de probetas-testigo de hormigón". Informes de la Construcción, n° 266, 1.975.**

- 16.154: **DELIBES, Adolfo.** "Estructuras de hormigón armado: técnicas de inspección", en la obra de AA.VV. **CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA**, págs. 121-150. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.155: **DELIBES, Adolfo.** "Estructuras metálicas: técnicas de inspección", en la obra de AA.VV. **CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA**, págs. 121-150. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.156: **DELIBES, Adolfo.** "Estudio de la microfisuración del hormigón sometido a cargas de compresión mediante técnicas de ultrasonidos". *Hormigón y Acero*, nº 136, 1.980.
- 16.157: **DELIBES, Adolfo.** "La microfisuración del hormigón por compresión y su influencia en la resistencia a tracción". Tesis Doctoral dirigida por el profesor Doctor José Calavera Ruiz. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos de Madrid, 1.985.
- 16.158: **DELIBES, Adolfo.** **TECNOLOGIA Y PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGÓN.** INTEMAC. Madrid, 1.987. 266 págs.
- 16.159: **DELIBES, Adolfo; CONZALEZ ISABEL, G y GONZALEZ NUÑO, L.** "Estudio de la influencia de las compresiones previas del hormigón sobre su módulo dinámico y adherencia de las armaduras". *ASIC, Estudios e Investigaciones*, nº 23, 1.981.
- 16.160: **EICHLER, Friedrich.** **PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCION: DETALLES CONSTRUCTIVOS**, versión española de la segunda edición alemana de la obra "Bauphysikalische Entwurfslehre" por Adrián Margarit y José Fabregat. Editorial Blume-Editorial Labor, S.A, 1.973. 403 págs.
- 16.161: **ELDRIDGE, H. J.** **CONSTRUCCION : DEFECTOS COMUNES**, versión española de la obra "Common Deffects in Buildings" por Santiago Castán. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, 1.982. 466 págs.
- 16.162: **ELICES, M.** "Fractura del hormigón: métodos de cálculo numérico". *Informes de la Construcción*, julio de 1.985.
- 16.163: **ELICES, M.; LLORCA, J. e INGRAFFEA, A.R.** "Fractura del hormigón en régimen elástico y lineal. Un ejemplo: la presa de Fontana". *Informes de la Construcción*, julio de 1.985.
- 16.164: **ELICES, M. y SANCHEZ GALVES, M.** "Relaciones entre corrosión bajo tensión y propiedades mecánicas". *Hormigón y Acero*, nº 128, 1.978.

- 16.165: **EMA BASTARDIN, Ernesto.** "estado de la normativa nacional e internacional de aceros para hormigón armado y pretensado". Comunicación a la IX Asamblea Técnica Nacional de la Asociación Técnica Española del Pretensado, celebrada del 2 al 6 de octubre de 1.978. Hormigón y Acero, nº 130-131-132, 1.979. Págs. 195-201.
- 16.166: **ESBERT, Rosa M^a; MARCOS, Rosa y ALONSO, Javier.** "La deterioración de las Piedras de la catedral de Oviedo". Revista Materiales de Construcción, nº 185 y 186.
- 16.167: **ESCOLA, Rafael.** "Fiabilidad de las estructuras". Revista "Hormigón", serie monográfica de la Agrupación de Fabricantes de Cemento de España, nº 11. con el título "Resistencia al fuego y fiabilidad de las estructuras", págs. 43-72. Madrid, 1.976.
- 16.168: **FELD, Jacob.** CONSTRUCTION FAILURES. John Wiley and Sons Ed. Londres, 1.968.
- 16.169: **FELD, Jacob.** FALLAS TECNICAS EN LA CONSTRUCCION, versión española de la obra "Construction failures" de Rafael García Díaz. Editorial Limusa, S.A. Mexico, 1.978. 491 págs.
- 16.170: **FELD, Jacob.** FAILURES OF CONCRETE STRUCTURES. Journal ACI, nº 6, vol29. American Concrete Institute, 1.957.
- 16.171: **FELD, Jacob.** LESSONS FROM FAILURES OF CONCRETE STRUCTURES. American Concrete Institute. Detroit, 1.964.
- 16.172: **FERNANDEZ CANOVAS, Manuel.** LAS RESINAS EPOXI EN LA CONSTRUCCION. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1.974. 274 págs.
- 16.173: **FERNANDEZ CANOVAS, Manuel.** "Las resinas en la rehabilitación de estructuras", en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA, págs. 181-190. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.174: **FERNANDEZ CANOVAS, Manuel.** "Los morteros epoxi en la construcción". Informe de la Construcción, nº 197, febrero 1.968.
- 16.175: **FERNANDEZ CANOVAS, Manuel.** HORMIGON. Ediciones de Publicaciones, Revista Obras públicas, E.T.S. Ingenieros de Caminos, Madrid.
- 16.176: **FERNANDEZ CANOVAS, Manuel.** PATOLOGIA Y TERAPIA DEL HORMIGON ARMADO. Editorial Dossat, S.A. Madrid, 1.984. 620 págs.
- 16.177: **FERNANDEZ CANOVAS, Manuel.** "Resúmenes de los cursos de

Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1.982.

- 16.178: **FERNANDEZ GOLFIN, José Antonio.** "Anexo 1. El tablero aglomerado de madera hidrófugo e ignífugo en la rehabilitación de cubiertas", en la obra de AA.VV. **CURSO DE REHABILITACION-6: LA CUBIERTA**, págs. 123-127. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.179: **FERNANDEZ GOMEZ, J.A.** "Estudio experimental de la evolución de las características mecánicas del hormigón curado en diversas condiciones y su aplicacional cálculo de los procesos de descimbrado". Tesis doctoral, E.T.S.de Ingenieros de Caminos de Madrid, 1.986.
- 16.180: **FERNANDEZ GOMEZ, J.A y DELIBES, Adolfo.** "Relación entre la temperatura ambiente y la temperatura del hormigón fresco: Hormigonado en tiempo frío o caluroso". *Hormigón y Acero*, nº 149. Madrid, 1.983.
- 16.181: **FERNANDEZ PARIS, José Manuel.** "Alteración de las piedras en algunos monumentos". *Revista Materiales de Construcción*, nº 156, Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1.974.
- 16.182: **FERNANDEZ PARIS, José Manuel y BAQUEDANO, C.F.** **DETERMINACION DE LOS COMPONENTES DE HORMIGONES DE CEMENTO PORTLAND.** Instituto Eduardo Torroja.
- 16.183: **FERNANDEZ PARIS, José Manuel.** "Identificación de los áridos por vía microscópica". Monografía nº 278, Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1.969.
- 16.184: **FERNANDEZ PARIS, José Manuel.** "La carbonatación de la pasta hidratada de cemento Portland. Interpretación físico-química". Monografía nº 310 del Instituto Eduardo Torroja, Madrid, 1.973.
- 16.185: **FERNANDEZ PARIS, José Manuel.** **MICROSCOPIA DEL CLIKER DEL CEMENTO PORTLAND.** Instituto Eduardo Torroja.
- 16.186: **FERNANDEZ PARIS, José Manuel, DELIBES LINIERS, Adolfo y GONZALEZ VALLE, Enrique.** "Diagnosis del edificio antiguo y sus condicionantes", en **CURSO DE MECANICA Y TECNOLOGIA DE LOS EDIFICIOS ANTIGUOS**, págs. 257-284. Servicio de Publicaciones del Colegio oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.985.
- 16.187: **FERNANDEZ SANCHEZ, Rafael.** "Control de componentes del hormigón", en la obra de AA.VV. **CURSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-1: CONTROL DE OBRAS DE HORMIGON**, 2ª edición, págs. 25-40. Colegio Oficial de

Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.981.

- 16.188: **FERNANDEZ-PEÑA, O. RECOMENDACIONES PRACTICAS PARA UNA BUENA PROTECCION DEL HORMIGON.** Instituto Eduardo Torroja.
- 16.189: **FERRER, H. "Realizaciones con rexinas epoxi en la construcción".** Revista de plásticos modernos", nº 104, febrero 1.965.
- 16.190: **FRANÇOIS, D. "Les fissurations des betons. Rsistanceà la Fissuration du beton".** Annales ITBTP, nº 398, octubre de 1.981.
- 16.191: **FRANJETIC, Z. ENDURECIMIENTO RAPIDO DEL HORMIGON.** Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1.971.
- 16.192: **FUENTES, Albert. NUEVAS BASES DE CALCULO DEL HORMIGON ARMADO: IMPORTANCIA DE LA FISURACION,** versión española de la 1ª edición francesa de la obra "Le Béton Armé après fissuration" de Ramón Martí Ayxeld. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.982. 152 págs.
- 16.193: **GALINDO GARCIA, Pedro. "Características y metodología de análisis en la rehabilitación de cubiertas modernas",** en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-6: LA CUBIERTA. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición, págs. 107-122. Madrid, 1.985.
- 16.194: **GALINDO GARCIA, Pedro. "los procedimientos de reconocimiento. El diagnóstico. El dictamen",** en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-2: EL PROYECTO. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición, págs. 77-85. Madrid, 1.985.
- 16.195: **GALINDO GARCIA, Pedro e IRIBAS y SUAREZ DE OTERO, Jaime. "Análisis y reconocimiento de los daños. Diagnóstico. Metodología",** en CURSO DE REHABILITACION, Nº 7, CERRAMIENTOS Y ACABADOS, págs. 55-76. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1.988.
- 16.196: **GARCIA DE PAREDES. P. CONGLOMERANTES SIDERURGICOS.** Instituto Eduardo Torroja.
- 16.197: **GARCIA DE PAREDES, P. "Durabilidad del hormigón. Causas físico-químicas".** ITCC, Monografía nº 237, Madrid, 1.963.
- 16.198: **GARCIA DE PAREDES. P. LAS ESCORIAS SIDERURGICAS EN LA CONSTRUCCION.** Instituto Eduardo Torroja.
- 16.199: **GARCIA DE PAREDES. P. LAS ESCORIAS SIDERURGICAS UTILIZADAS COMO ARIDOS EN EL HORMIGON.** Instituto

Eduardo Torroja.

- 16.200: **GARCIA DE PAREDES, P.** "Resistencia de las estructuras a la corrosión producida por las disoluciones de sales magnésicas". *Ultimos Avances, I.E.T.c.c.* nº 150-51.
- 16.201: **GARCIA MESEGUER, A.** "La fisuración en vigas de armado". *Informes de la Construcción*, nº 209, abril 1972.
- 16.202: **GARCIA MESEGUER, A.** "Notaciones unificadas para Hormigón y Acero", nº 103. *Madrid*, 1.972.
- 16.203: **GARCIA MESEGUER, A.** "Patología de las obras de hormigón". *Informe de la Construcción*, nº 223, agosto-septiembre 1.970.
- 16.204: **GARCIA TOLOSANA, Carlos.** "Rehabilitación acústica de edificios", en *ACONDICIONAMIENTO TERMICO Y ACUSTICO*, págs.7-42, nº 8 de la colección *CURSO DE REHABILITACION*. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. *Madrid*, 1.985.
- 16.205: **GENESCA, J.M.** *APUNTES DE PATOLOGOGIA Y TERAPEUTICA DEL HORMIGON*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Cataluña. 1.977.
- 16.206: **GERENCIA MUNICIPAL DE URBANISMO-AYUNTAMIENTO DE MADRID.** "Plan Especial de Protección y Conservación de Edificios y Conjuntos Históricos-Artísticos de la Villa de Madrid". "temas Urbanos", nº 7, págs. 35 y sgs.
- 16.207: **GEYMAYR, G.** *REPAIR OF CONCRETE IN TROPICAL MARINE ENVIRONMENT*. ACI-SP-65-29. A.C.I., .1.980.
- 16.208: **GOBIERNO VASCO.** *MANUAL DEL USUARIO DE LA VIVIENDA*. Zarauz, 1.982.
- 16.209: **GONZALEZ, Alicia.** "El solado en la restauración", en *CURSO DE REHABILITACION, N° 7, CERRAMIENTOS Y ACABADOS*, págs. 77-102. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1.988.
- 16.210: **GONZALEZ, G.** *PREVENCION DE ACCIDENTES*, 10ª edición. 1.985, 182 págs.
- 16.211: **GONZALEZ CUEVAS, Oscar M.; ROBLES F.V. Francisco; CASILLAS G. de L. Juan y DIAZ DE COSSIO, Roger.** *ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO*. Editorial Limusa, S.A. Mexico, 1.974. 416 págs.

- 16.212: GONZALEZ FERNANDER, José Antonio: CONTROL DE LA CORROSION: ESTUDIO Y MEDIDA POR TECNICAS ELECTROQUIMICAS, Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Madrid, 1.989
- 16.213: GONZALEZ SERRANO, A. "Comentarios al título 3º del control de la EH-73". Hormigón y Acero. nº 129, Madrid, diciembre de 1.978.
- 16.214: GONZALEZ SERRANO, A. "Patología. Refuerzo de encepados sobre pilotes". Hormigón y Acero, nº 142, Madrid, 1.982.
- 16.215: GONZALEZ VALLE, Enrique. "Estructuras de hormigón armado: fase de proyecto ", en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA, págs. 19-31. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.216: GONZALEZ VALLE, Enrique. "Estructuras de hormigón armado: materiales y ejecución", en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA, págs. 33-44. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.217: GONZALEZ VALLE, Enrique. "Estructuras de hormigón armado : refuerzo mediante hormigón y estructuras metálicas", en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA, págs. 173-179. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.218: GONZALEZ VALLE, Enrique. "Estudio Experimental del comportamiento de juntas entre hormigones in situ y prefabricados con distintos tratamientos en la unión". Tesis Doctoral bajo la dirección del profesor Doctor José Calavera Ruiz. Escuela Técnica Superior de Caminos de Madrid, 1.988.
- 16.219: GONZALEZ VALLE, Enrique; DELIBES, Adolfo y GONZALEZ, G.G. "Influencia de las condiciones iniciales de curado en la resistencia de las probetas de hormigón". Hormigón y Acero, nº 155. Madrid, junio de 1.985.
- 16.220: GUERRIN, A. y LAVAU, R.C. TRAITE DE BÉTON ARMÉ, once tomos. Dunod, París.
- 16.221: GUERRIN, A.; LAVAU, R.C y LECROQ, PH. HORMIGON ARMADO: TRATADO PRACTICO. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.978.
- 16.222: GRATWICK, R.T. LA HUMEDAD EN LA CONSTRUCCION: SUS CAUSAS Y REMEDIOS, traducción de la obra "Dampness in buildings" por Rafael Luque Maldonado. Editores Técnicos

Asociados, S.A. Barcelona, 1.971. 334 págs.

- 16.223: GRUNAU, Edvard B.: LESIONES EN EL HORMIGON. REPARACION. PROTECCION, de la colección "Biblioteca de Arquitectura y Construcción". Traducción de la obra "Atahlbeton Instandestzung und Schutz. Ediciones Ceac, S. A. Barcelona, 1.988. 108 págs.
- 16.224: GRUNAU, Edvard.B.: LA LUTTE CONTRE L'HUMIDITE DANS LES FAÇADES. Editions Eyrolles. Paris, 1.970.
- 16.225: HANS PRÖPSTER. LESIONES DE SOLADOS Y ALICATADOS: CAUSAS Y REPARACION, de la colección "Biblioteca de Arquitectura y Construcción". Traducción de la obra "Schadensanalysen Bei Fliesen-und Plattenbelagen". Ediciones Ceac, S. A. Barcelona, 1.980. 99 págs.
- 16.226: HANS PRÖPSTER. LESIONES DE SOLADOS Y ALICATADOS: CAUSAS Y REPARACION-2, de la colección "Biblioteca de Arquitectura y Construcción". Traducción de la obra "Schadensanalysen Bei Fliesen-und Plattenbelagen". Ediciones Ceac, S. A. Barcelona, 1.983. 112 págs.
- 16.227: HELENE, Paulo R. do Lago. "Algunos ensayos para evaluación y control de adhesivos epoxi para hormigón". Informes de la Construcción, nº 328, 1.981. págs. 47-60
- 16.228: HEREDIA SCASSO, Francisco. "El control en las estructuras metálicas", en la obra de AA.VV. CURSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-3: ESTRUCTURAS METALICAS, págs. 7-20. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.981.
- 16.229: HERNANDEZ CALLEJA, Enrique. "Aplicación de datos suministrados por el control a la estimación de las pérdidas de seguridad", en la obra de AA.VV. CURSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-1: CONTROL DE OBRAS DE HORMIGON, págs. 131-196, segunda edición. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.981.
- 16.230: HOSSDORD, H. MODELOS REDUCIDOS. METODO DE CALCULO. Instituto Eduardo Torroja.
- 16.231: HUMEL, Alfred. PRONTUARIO DEL HORMIGON. Barcelona, 1.966.
- 16.232: JACOPETTI, M.M. LA CORROSIONE DELLE STRUTTURE METALLICHE NELLE OPERA IN CALCESTRUZZO. L'Ingegnere. Roma, 1.963.

- 16.233: YACSON, A. y DAY, D. *EL MANTENIMIENTO Y CONSERVACION DE LA CASA*. Editorial Blume. Barcelona, 1.981.
- 16.234: JIMENEZ, F. y ELVIRA, L. *COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS*. INIA, Madrid, 1.982.
- 16.235: JIMENEZ MARTIN, D. *CARTA DEL RESTAURO*, 72. Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Oriental. Sevilla, 1.982.
- 16.236: JIMENEZ MONTOYA, P., GARCIA MESEGUER, A. y MORAN CABRE, F. *HORMIGON ARMADO*. Editorial Gustavo Gili, 12ª edición, Barcelona, 1.987. Tomo I, capítulo 20, págs. 437-466.
- 16.237: JOHNSON, Sidney M. *DETERIORO, CONSERVACION Y REPARACION DE ESTRUCTURAS*, versión española de la obra "Deterioration, maintenance, and repair of structures" por Luis casas López-Amor. Editoriales Blume y Labor, S.A. Madrid, 1.973. 334 págs.
- 16.238: JOISEL, Albert. *FISURAS Y GRIETAS EN MORTEROS Y HORMIGONES: SUS CAUSAS Y REMEDIOS*, traducción de la obra "Les fissures du ciment" por Santiago Hospital Rusiñol. Editores Técnicos Asociados, S.A., tercera edición. Barcelona, 1.972. 174 págs.
- 16.239: JUSTO ALPAÑES, José Luis de. "Efecto de la construcción de cimentaciones sobre estructuras vecinas", primera parte del capítulo 8 : "patología de las cimentaciones. Recalces", de la obra colectiva coordinada y dirigida por José Antonio Jimenez Salas; *GEOTECNIA Y CIMIENTOS III: CIMENTACIONES, ESCAVACIONES Y APLICACIONES DE LA GEOTECNIA: PRIMERA PARTE*, págs. 865-916. Editorial Rueda. Madrid, 1.980.
- 16.240: KÖLSOW, I. *PROTECCION QUIMICA DE LA CONSTRUCCION*. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1.973.
- 16.241: KOLLBRUNNER, Curt F. y BOUÉ, P. *COMPROBACION DE LA SEGURIDAD ANTE EL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS METALICAS DE EDIFICACION: APLICACION PRACTICA*, traducción de J. Batanero, colección "Manuales y normas" del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento, 2ª edición. Madrid, diciembre de 1.972. 28 Págs.
- 16.242: LAHUERTA VARGAS, Javier. "Anclajes rectos y curvos de barras corrugadas en hormigón armado". *Hormigón y Acero*, nº 127, 1.978.
- 16.243: LAHUERTA VARGAS, Javier. "Rehabilitación de obras de fábrica", en la obra de AA.VV. *CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA*, págs. 151-172. Colegio Oficial de Arquitectos de

Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.

- 16.244: LEONHARDT, Fritz: **ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO: VERIFICACION DE LA CAPACIDAD DE USO**, Editorial El Ateneo, Barcelona, 1.985.
- 16.245: LOGEAS. **PATOLOGIA DE LA CIMENTACIONES**, segunda edición. 1.984
- 16.246: LOPEZ COLLADO, Gabriel. **RUINAS EN CONSTRUCCIONES ANTIGUAS: CAUSAS, CONSOLIDACIONES Y TRASLADOS**. M.O.P.U. 1.976.
- 16.247: LOPEZ JAEN, Juan. "El muro", en **CURSO DE MECANICA Y TECNOLOGIA DE LOS EDIFICIOS ANTIGUOS**, págs. 193-223. Servicio de Publicaciones del Colegio oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.985.
- 16.248: LOPEZ JAEN, Juan. "Revestimientos exteriores enfoscados y revocos", en **CURSO DE REHABILITACION, Nº 7, CERRAMIENTOS Y ACABADOS**, págs. 103-186. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1.988.
- 16.249: LOPEZ JAMAR, J.A; SOLANA, V. y MECA, S. "Un método teórico para el análisis de las piezas de hormigón armado sometidas a esfuerzo cortante y flexión". *Hormigón y Acero*, nº 129, 1.978.
- 16.250: LOPEZ SOLER, R. "Panorámica de problemas del cemento. 2ª Asamblea General, I.E.T.c.c.
- 16.251: LOSIER, H. **LA PATHOLOGIE DU BÉTON ARMÉ**. Editorial Dunod. Paris, 1.955.
- 16.252: LOSSIER, H. **PATHOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE DU BÉTON ARMÉ**. Editorial Dunod. Paris, 1.955.
- 16.253: McKAIG, T.H. **BUILDINGS FAILURES. CASES STUDIES IN CONSTRUCTION AND DESIGN**. MacGraw Hill, New York, 1.962.
- 16.254: MAESTRE ORTS, Manuel. "Influencia de las excavaciones sobre edificaciones próximas", en la obra colectiva **CIMENTACIONES URBANAS: CALIDAD Y MODERNA TECNOLOGIA**, págs.101-163. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.975.
- 16.255: MAJADA, Arturo. **TECNICA DEL INFORME ANTE JUZGADOS Y TRIBUNALES**. Bosch, Casa editorial, S.A., cuarta edición. Barcelona, 1.987. 540 págs.
- 16.256: MAÑA REIXAVH, Fructuoso. "Colapso por asiento". C.A.U, nº 60.

- 16.257: **MAÑA REIXACH, Fructuoso. PATOLOGIA DE LAS CIMENTACIONES.** Editorial Blume. Barcelona, 1.978. 117 págs.
- 16.258: **MARCOS MAYOR, Leopoldo Andrés. "Patología edificatoria. Normativa legal", en la obra colectiva CURSO DE ARQUITECTOS PERITOS JUDICIALES,** págs. 57-106. Servicios de publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1.986.
- 16.259: **MARCHANT. E.W. EL FUEGO Y LOS EDIFICIOS.** MAPHRE Ed. Madrid, 1.981.
- 16.260: **MARTIN JADRAQUE, V. "Cálculo de pilares y pilotes circulares".** Instituto Eduardo Torroja.
- 16.261: **MARTIN PALANCA, J. "El momento de desencofrar".** Monografía nº 264, Instituto Eduardo Torroja. Madrid, marzo 1.981.
- 16.262: **MARTIN PALANCA, J. "Esfuerzos solicitantes del encofrado".** Monografía nº 257, Instituto Eduardo Torroja. Madrid.
- 16.263: **MARTIN PALANCA, J. "Presiones en el hormigón fresco".** Monografía nº 371, Instituto Eduardo Torroja. Madrid, octubre 1.982.
- 16.264: **MARTINEZ LASHERAS, Rafael. "Patología de las estructuras metálicas y mixtas", en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA,** págs. 45-81. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.265: **MARTINEZ LASHERAS, Rafael. "Estructuras metálicas y mixtas: refuerzo y rehabilitación", en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA,** págs. 233-259. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.266: **MARTINEZ YNZENGA, J.I. "Retracción de morteros y hormigones".** Instituto Eduardo Torroja.
- 16.267: **MAS-GUINDAL LAFARGA, Antonio José. "Los modelos estructurales de la Antigüedad. Evolución y aportaciones en los métodos de análisis", en CURSO DE MECANICA Y TECNOLOGIA DE LOS EDIFICIOS ANTIGUOS,** págs. 59-95. Servicio de Publicaciones del Colegio oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.985.
- 16.268: **MAS-GUINDAL LAFARGA, Antonio José y FERNANDEZ, Mª José. PATOLOGIA EN EL HORMIGON ARMADO.** Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- 16.269: **MAZARS, J. "Les fissurations des betons-1.2. Evolution de la**

microfissuration dans les betons: formation de fissures". Annales ITBTP, n° 398, octubre de 1.981.

- 16.270: **MECHDOUDJIAN, A. COURS DE BETON ARME: REGLES B.A.E.L. ET CC.B.A. 68.** Eyrolles Editeur, 1.980, 144 págs.
- 16.271: **MIESENJOLDER, P.D. "Effect of design and details on concrete deterioration".** Journal ACI, n° 7. American Concrete Institute, 1.960.
- 16.272: **MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO. INSTRUCCION PARA LA FABRICACION Y SUMINISTRO DE HORMIGON PREPARADO. EHPRE-72.** Madrid, 1.972
- 16.273: **MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO. NORMA BASICA DE LA EDIFICACION SOBRE CONDICIONES DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS EN LOS EDIFICIOS. M.O.P.U.** Madrid, 1.982.
- 16.274: **MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS GENERALES PARA LA RECEPCION DE CEMENTO, RC-75.** M.O.P.U. Madrid, 1.975.
- 16.275: **MIRONOV, S.A. LE BÉTONNAGE D'HIVER.** Dunod Ed. Paris, 1.958.
- 16.276: **MORAN, F. "Estudio teórico experimental de la flexocompresión esviada en secciones de hormigón armado".** Instituto Eduardo Torroja.
- 16.277: **MUÑOZ MARTIALAY, R. "Permeabilidad al aire del hormigón".** Monografía del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento, n° 332.
- 16.278: **MURCIA VELA, Juan. "Estudio analítico en el tiempo de estructuras de hormigón armado y pretensado por retracción y fluencia".** Monografía del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento, n° 363.
- 16.279: **MURCIA VELA, Juan. "Estudio analítico de la influencia de las deformaciones diferidas en estructuras lineales isostáticas de hormigón: Pérdidas diferidas de pretensado".** Comunicación a la IX Asamblea Técnica Nacional de la Asociación Técnica Española del Pretensado, celebrada del 2 al 6 de octubre de 1.978. Hormigón y Acero, n° 130-131-132, 1.979. Págs. 169-180.
- 16.280: **MURCIA VELA, Juan. "Tratamiento, en sección no fisurada, de sección homogeneizada de hormigón y acero a partir de la neta del hormigón".** Hormigón y acero, n° 114. Págs. 23-30.

- 16.281: NADAL SOLES, J. "Sobre la durabilidad del hormigón armado". C.A.U, nº 58.
- 16.282: NEVILLE, A.M. TECNOLOGIA DEL CONCRETO, dos tomos. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.-IMCYC. Mexico, D.F.
- 16.283: NUERE MATAUCO, Enrique. "Sistemas adintelados: la madera", en CURSO DE MECANICA Y TECNOLOGIA DE LOS EDIFICIOS ANTIGUOS, págs. 167-192. Servicio de Publicaciones del Colegio oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.985.
- 16.284: ORTEGA ANDRADE, Francisco. LA LIMPIEZA DE LAS PIEDRAS DE CONSTRUCCION; PATOLOGIA DE LA OBRA DE FABRICA. Editan, S.A, Sevilla.
- 16.285: ORTEGA ANDRADE, Francisco. "Limpieza de las piedras de construcción". Revista del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España, nº 73.
- 16.286: ORTEGA ANDRADE, Francisco. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCION: LA OBRA DE FABRICA. Editores Técnicos Andaluces, S.A.-Editan, S.A. Sevilla, 1.983.
- 16.287: ORTEGA LOPEZ DE PRADO, Juan J.; BLANCO FERNANDEZ, Manuel y CUEVAS GONZALEZ, Angel. LA PROTECCION CON PINTURA DEL ACERO ESTRUCTURAL. R-3 de la colección "Manuales y Recomendaciones", del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas-CEDEX-Laboratorio Central de Estructuras y Materiales. Madrid, 1.986. 215 págs.
- 16.288: PAEZ SOEUF, Alfredo. "Cincuenta años de hormigón armado en España". Revista de Obras Públicas, abril de 1.956.
- 16.289: PAEZ SOEUF, Alfredo. "Distribución de coeficientes de seguridad en el hormigón armado". Informes de la Construcción, nº 47, Madrid, enero 1.953.
- 16.290: PAEZ SOEUF, Alfredo. "El coeficiente de seguridad". Revista de Obras Públicas. Madrid, junio-julio de 1.951.
- 16.291: PAEZ SOEUF, Alfredo. HORMIGON ARMADO, dos tomos. Editorial Reverté, S.A. 1.332 págs.
- 16.292: PAEZ SOEUF, Alfredo. LOS ESFUERZOS CORTANTES Y FLEXION EN EL HORMIGON ARMADO. Instituto Mexicano de Construcción y del Cemento, nº 212, Madrid, 1.967. 127 pgs.
- 16.293: PAEZ SOEUF, Alfredo. "Resistencia Característica del Hormigón Armado".

Informes de la Construcción, nº 47. Madrid, enero de 1.953.

- 16.294: PAEZ SOEUF, Alfredo. "Un siglo de hormigón armado en España". *Revista de Obras Públicas*, número correspondiente al centenario. Madrid, 1.953.
- 16.295: PARK, R. y PAULAY, T. REINFORCED CONCRETE STRUCTURES". Ed. Wiley, 1.975.
- 16.296: PAULHANS, Peter. REUTILIZACION DE EDIFICIOS. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, 1.977.
- 16.297: PEÑA AZNAR, Juan Manuel de la. ESTRUCTURAS TUBULARES DESMONTABLES. Editorial Mundus, S.A. Madrid, 1.966.
- 16.298: PEÑA AZNAR, Juan Manuel de la. PATOLOGIA DE LAS ESTRUCTURAS TUBULARES DESMONTABLES: ERRORES EN CIMBRAS Y ANDAMIOS.
- 16.299: PELDEZ, J. MANTENIMIENTO DE LOS EDIFICIOS. INCE. Madrid, 1.983.
- 16.300: PEÑA AZNAR, Juan Manuel de la. PERFILES HUECOS PARA CONSTRUCCION METALICA. Editorial Mundus, S.A. Madrid, 1.966.
- 16.301: PEÑA AZNAR, Juan Manuel de la. UN NUEVO TIPO DE CIMBRA TUBULAR DESMONTABLE. *Revista Informe de la Construcción*, nº 66. Madrid, 1.955.
- 16.302: PEÑA PEÑA, Julián. "Sobre las fachadas y su conservación", conferencia impartida el 27 de enero de 1.978 y publicada en la obra TRES CONFERENCIAS DE ARQUITECTURA, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, curso 1.977-78, págs. 31-59.
- 16.303: PEREZ PEREZ B. "La resistencia a compresión simple, la resistencia a tracción y el módulo de deformación de hormigones fabricados con cemento PA-350". Tesis Doctoral E.T.S. Arquitectura de Valencia, resumen publicado en *Informes de la Construcción*, nº 339, 1.982.
- 16.304: PEREZ ARROYO, Salvador. "Evolución histórica de la cubierta", en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-6: LA CUBIERTA, págs. 7-28. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985. 153 págs.
- 16.305: PEREZ ARROYO, Salvador. "La moral constructiva: razón e historia de lo constructivo en la Epoca Moderna". Tesis Doctoral dirigida por el Dr. Ricardo Aroca Hernández-Ros y leída en la Escuela Técnica Superios de Arquitectura de Madrid, 1.980. Resumen en *Informes de la Construcción*, nº 328, 1.981. Págs. 61-63.

- 16.306: PEREZ GARCIA, F. "Coste mínimo de los muros de hormigón armado para sostenimiento". *Hormigón y Acero*, nº 141, 1.981.
- 16.307: PELLICER, D. "Análisis del control del hormigón en 40 edificios". *Hormigón y Acero*. mayo-junio, 1.980.
- 16.308: PERAZA, Cesar. "Estructuras de madera: evaluación", en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA, págs. 191-224. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.309: PEURIFOY, R.L. ENCOFRADOS PARA ESTRUCTURAS DE HORMIGON. Ediciones del Castillo, S.A. Madrid, 1.967.
- 16.310: PICATOSTE PATIÑO, Valentín. "Siniestros de los edificios. Causas, diagnósticos y actuación. Normativa legal", en CURSO DE ARQUITECTOS PERITOS JUDICIALES, págs. 163-179. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1.986.
- 16.311: PINILLA VELASCO, Fernando. "Condiciones de estanqueidad, térmicas y de humedad interior", en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-6: LA CUBIERTA, págs. 29-55. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.312: PINILLA VELASCO, Fernando. "Nuevos materiales y técnicas de impermeabilización. Rehabilitación de cubiertas", en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-6: LA CUBIERTA, págs. 57-91. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.313: PLANAS, J y ELICES, M. "Fractura del hormigón en régimen no lineal. Intentos para medir la energía de fractura G_f ". *Informes de la Construcción*, julio de 1.985.
- 16.314: PRÖPSTER, H. LESIONES DE SOLADOS Y ALICATADOS-I, 2ª edición. 1.986, 102 págs.
- 16.315: PRÖPSTER, H. LESIONES DE SOLADOS Y ALICATADOS-II, 2ª edición. 1.983, 112 págs.
- 16.316: PULIN MORENO, Fernando. "Metodología de reparación de cubiertas tradicionales", en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-6: LA CUBIERTA, págs. 93-106. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.317: PULIN MORENO, Fernando. "Los Huecos", en CURSO DE REHABILITACION, Nº 7, CERRAMIENTOS Y ALICATADOS, págs. 187-196. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1.985.



de Madrid, 1.988.

- 16.318: RAMIREZ, J.L. y BARCENA, J.M. "Aportación en torno a la valoración de la calidad resistente del hormigón de estructuras por medio de probetas-testigo extraídas por corte". *Informes de la Construcción*, nº 225, 1.973.
- 16.319: RAMIREZ ORTIZ, José Luis. "Los sellos y las marcas de calidad, estímulo a la investigación". *Hormigones y Acero*. Julio-septiembre de 1.980.
- 16.320: RAMOS ILLAN, José y ROLDAN VERDEJO, Pablo Julio. "Consideraciones sobre los valores histórico y artístico en los bienes muebles e inmuebles". *Revista de Derecho Urbanístico*, nº 106, enero-febrero 1.988, págs. 41-52.
- 16.321: REHM, G. "Adherencia y anclaje". *Monografía Instituto Eduardo Torroja*, nº 282.
- 16.322: REZOLA IZAGUIRRE, Julián. *CARACTERISTICAS Y CORRECTA APLICACION DE LOS DIVERSOS TIPOS DE CEMENTO: PORTLAND, SIDERURGICOS, PUZOLANICOS, ALUMINOSOS, COMPUESTOS Y NATURALES*. Editores Técnicos Asociados. Barcelona, 1.976. 152 págs.
- 16.323: RIVAS PIERA, Manuel. "Problemática de la conservación de los Centros Históricos". *Ciudad y Territorio*, nº 3, 1.975.
- 16.324: RODRIGUEZ MARIN, M. *Evolución y problemática de los forjados de edificación*. *Hormigón y Acero*, nº 144. Madrid, 1.982.
- 16.325: RODRIGUEZ MARTIN, Luis Felipe. "Las normas y su aplicación", en la obra de AA.VV. *CURSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACION. CURSILLO-1: CONTROL DE OBRAS DE HORMIGON*, 2ª edición, págs. 9-23. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.981. 117 págs.
- 16.326: RODRIGUEZ ORTIZ, José María et al. *CURSO DE CIMENTACIONES*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.982. 266 págs.
- 16.327: RICE, Paul F. *DISEÑO ESTRUCTURAL CON NORMAS DE ACI*. 1.984, 512 págs. En especial capítulo 17: *Evaluación de resistencia de estructuras existentes*.
- 16.328: ROCA CLADERA, Josep. *MANUAL DE VALORACIONES INMOBILIARIAS*. Editorial Ariel, S.A. Barcelona, 1.986. 219 págs.
- 16.329: RODRIGUEZ ORTIZ, José María. *ALTERACIONES Y DAÑOS*

INDUCIDOS POR LA CONSTRUCCION DE EDIFICIOS. Revista Panorámica de la Construcción (citado por Fernando Muzas Labad en la obra Cimentaciones Urbanas: calidad y moderna tecnología, pág. 26 y 163.

- 16.330: **RODRIGUEZ ORTIZ, José María.** CURSO DE REHABILITACION, Nº 4: LA CIMENTACION. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, segunda edición. Madrid, 1.985
- 16.331: **ROUGERON, Claude.** AISLAMIENTO ACUSTICO Y TERMICO EN LA CONSTRUCCION, traducción de la obra "L'isolation acoustique et thermique dans le batiment" por Rafael Luque Maldonado. Editores Técnicos Asociados. Barcelona, 1.977. 301 págs.
- 16.332: **RUIZ DUERTO, A. y DIAZ-ROMERAL, P.** (traducción y adaptación). "Directrices UEAtc para la apreciación técnica de las masillas de estanqueidad utilizadas en las fachadas de edificios". Monografía del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento, nº 346.
- 16.333: **RÜSCH, Hubert:** HORMIGON ARMADO Y HORMIGON PRETENSADO: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS DE CALCULO, Compañía Editorial Continental, S.A., Barcelona, 1.975.
- 16.334: **RUSSO, Cristobal.** LESIONES DE LOS EDIFICIOS. Editorial Salvat. Madrid, 1.951.
- 16.335: **RYAN, T.F.** CONCRETO LANZADO. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-IMCYC, colección "nueva serie", NS-10. Mexico D.F.
- 16.336: **SAILLARD, Yves.** "Calcul de la Fissuration en traction et en flexion", en "Manuel d'Application pour le Calcul et l'exécution du Beton Armé", segunda parte de la obra CODE ET MANUEL D'APPLICATION POR LE CALCUL ET L'EXECUTION DE BETON ARMÉ. UNESCO. Dunod, 1.968.
- 16.337: **SAENZ DE OIZA, Francisco Javier.** "Superposición y adaptación de nuevas estructuras en edificios antiguos", en CURSO DE MECANICA Y TECNOLOGIA DE LOS EDIFICIOS ANTIGUOS, págs. 121-136. Servicio de Publicaciones del Colegio oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1.985.
- 16.338: **SCHAEIDT, Walter,** en colaboracion con ESCOLA, Rafael; PINHEIRO, Anthony B.; AZNAR, Enrique y SALCEDO, José Mº. "Resistencia al fuego de las estructuras". Revista "Hormigón", serie monográfica de la Agrupación de Fabricantes de Cemento de España, nº 11. con el título "Resistencia al fuego y fiabilidad de las estructuras", págs. 9-41. Madrid, 1.976.

- 16.339: SCHILD, OSWALD, ROGIER y SCHWEIKERT. ESTANQUEIDAD E IMPERMEABILIZACION EN LA EDIFICACION-1: PREVENCION DE DEFECTOS EN AZOTEAS, TERRAZAS Y BALCONES. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.978. 182 págs.
- 16.340: SCHILD, OSWALD, ROGIER y SCHWEIKERT. ESTANQUEIDAD E IMPERMEABILIZACION EN LA EDIFICACION-2: PREVENCION DE DEFECTOS EN MUROS EXTERIORES Y CERRAMIENTOS. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.978. 151 págs.
- 16.341: SCOTEC. PREVISION Y PREVENCION DE RIESGOS EN LA EDIFICACION. Barcelona, febrero, 1.980.
- 16.342: SERRA i GRASSO, Joan. "Estructuras de madera: actuaciones", en la obra de AA.VV. CURSO DE REHABILITACION-5: LA ESTRUCTURA, págs. 225-231. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2ª edición. Madrid, 1.985.
- 16.343: SHELL. "Manual técnico de resinas Shell Epikopte en Construcción y Obras Públicas". Mayo, 1.978.
- 16.344: SOLANA, V. "Control de calidad". Hormigón y Acero, nº 127. Junio, 1.978.
- 16.345: SOLAS, A. "Armaduras de cosido entre hormigones prefabricados y ejecutados <<in situ>>". Tesis Doctoral dirigida por el profesor Doctor José Calavera Ruiz. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos de Madrid, 1.985.
- 16.346: SOLER, J y SOLER, F. "Las armaduras en los pilotes". Hormigón y Acero, nº 152, Madrid, 1.984.
- 16.347: STEOPOE, A. LA DURABILITÉ DU BÉTON. Eyrolles Ed. Paris, 1.970.
- 16.348: STOCKER, Manfred F. "Influencia de las excavaciones en las edificaciones contiguas", en la obra colectiva CIMENTACIONES URBANA: CALIDAD Y MODERNA TECNOLOGIA, págs.65-99. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.975.
- 16.349: TAMAYO, F. "Resinas epoxi en la conservación y restauración de obras de arte". Informes y Trabajos del I.C.C.R, nº 11, 1.970.
- 16.350: TOBIO, J.M. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. METODOS APLICABLES A LA CONSTRUCCION. Instituto Eduardo Torroja.
- 16.351: TOBIO, J.M. "Medidas y ensayos no destructivos". Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento. Monografía nº 237. Madrid, 1.964. 52 págs.

- 16.352: **TOBIO, J.M.:** "Tensión, deformación y fisurabilidad en el hormigón". *Materiales de Construcción*, I.E.T, nº 680-51, 1.975.
- 16.353: **TORROJA, Eduardo y PAEZ, Alfredo,** INSTRUCCION ESPECIAL PARA ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. Instituto Técnico de la Construcción. Madrid, 1.956.
- 16.354: **TORROJA, Eduardo y PAEZ, Alfredo.** INSTRUCCION ESPECIAL PARA ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO: EH-58. Instituto Técnico de la Construcción. Madrid, 1.958.
- 16.355: **TORROJA, Eduardo y PAEZ, Alfredo.** INSTRUCCION ESPECIAL PARA ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO: EH-61. Instituto Técnico de la Construcción. Madrid, 1.961.
- 16.356: **TORROJA, Eduardo y PAEZ, Alfredo.** "La determinación del coeficiente de seguridad en las distintas obras". Instituto técnico de la construcción, Madrid, 1.969.
- 16.357: **TOTH, L.W.** "Propiedades de las resinas epoxi reforzadas con fibra de vidrio a temperatura de de 20° K". *Revista de Plásticos Modernos*, diciembre de 1.965.
- 16.358: **TRIVIÑO, F.** "Desintegración del hormigón causada por un árido que contenía pirrotita". *Materiales de Construcción*, nº 153. Instituto eduardo torroja. Madrid, 1.974.
- 16.359: **TRILL, John y BOWYER, Yack T.** CONSTRUCCION : EL CASO DE LA ESQUINA ROTA Y OTROS PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS: UNA APROXIMACION CIENTIFICA A LA PATOLOGIA. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, 1.982. 167 págs.
- 16.360: **ULSAMER, F.** HUMEDADES EN LA CONSTRUCCION, 24ª edición. 1.986. 240 págs.
- 16.361: **U.N.E.-7.457-86.** "Realización de ensayos estáticos de puesta en carga sobre estructuras de piso en la edificación".
- 16.362: **UNESCO. CDE ET MANUEL D'APPLICATION POUR LE CALCUL ET L'EXÉCUTION DU BÉTON ARMÉ.** Dunod, editeur. Paris, 1.968. 417 págs.
- 16.363: **URALITA.** LA NORMA NBE CT 79 Y LOS TRASDOSADOS PLADUR. Madrid.
- 16.364: **VAZQUEZ FERNANDEZ, M.** "Influencia de los esfuerzos cortantes en la rotura y en las deformaciones de estructuras metálicas". *Monografía del Instituto Eduardo Torroja*, nº 283.

- 16.365: VAZQUEZ, T; TRIVIÑO, F. y RUIZ DE LA GAUNA, A. "Estudio de las transformaciones del cemento aluminoso hidratado. Influencia del anhídrido carbónico, temperatura, humedad y adición de caliza de polvo". Monografía del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento, nº 334.
- 16.366: VENUAT, M. y PAPADAKIS, M. CONTROLE ET ESSAIS DES CIMENTS, MORTIERS, BÉTONS. Eyrolles Ed. Paris, 1.961.
- 16.367: VENUAT, Michely y PAPADAKIS, M. CONTROL Y ENSAYO DE CEMENTOS, MORTEROS Y HORMIGONES. Editorial Urmo, 1.966.
- 16.368: VENUAT, M. ADJUVANTS ET TRAITEMENTS DES MORTIERS ET BÉTONS. Paris, 1.971. Editado por el mismo autor.
- 16.369: VENUAT, Michely y PAPADAKIS, M. LA PRACTIQUE DES CIMENTS ET DES BETONS. Editions du Montieur des Travaux Publics et du Batiment, 1.976.
- 16.370: VERONELLI, Dante J.E. "Durabilidad de los hormigones. Reacción ácido-álcalis". Instituto Eduardo Torroja, Monografía, nº 352, septiembre 1.978.
- 16.371: VIEITEZ, JA y RAMIREZ, J.L. "Datos orientativos sobre evolución de defectos de Construcción en España". Hormigón y Acero, nº 156, diciembre de 1.985.
- 16.372: VILA RODRIGUEZ, Rafael. RESTAURACION DE FACHADAS: EL PROYECTO Y SUS TECNICAS. Publicacions del Col·legi d'Arquitectes de Catalunya. Barcelona, 1.988. 107 págs.
- 16.373: VILLACAÑAS, J.A. "Deformaciones del hormigón armado a flexión pura". Hormigón y Acero", nº 123. Junio de 1.977.
- 16.374: VILLANUEVA, A.J. INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES DIMENSIONALES Y DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EN LA SEGURIDAD DE LAS PIEZAS DE HORMIGON PRETENSADO TRABAJANDO A FLEXION. Tesis Doctoral en la Escuela Técnica Superior de Caminos de Madrid, dirigida Por el Profesor E. José Calavera Ruiz. Monografía nº 361 del Instituto Eduardo Torroja. Madrid, septiembre de 1.980.
- 16.375: VILLEGAS, L. EDIFICACION: ACONDICIONAMIENTO SOLAR, INFRAESTRUCTURA. Universidad de Santander, 1.977.
- 16.376: VILLEGAS, L. "Estudio comparativo de la inestabilidad de los rectangulares de hormigón armado". Hormigón y Acero, nº 156, diciembre, 1.980.

- 16.377: VILLEGAS, L y ARENAS, J.J. "Diagramas axil-momentos curvaturas". Hormigón y Acero, nº 148, Madrid, 1.983.
- 16.378: VILLANUEVA Y DOMINGUEZ, Luis de. "Materiales de acabado interior en paredes y techos: criterios y técnicas de utilización", en CURSO DE REHABILITACION, Nº 7, CERRAMIENTOS Y ACABADOS, págs. 211-229. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1.988.
- 16.379: WOODS. DURABILITY OF CONCRETE CONSTRUCTION. 1.968.
- 16.380: YNCENGA ACHA, Bernardo. "Acabados interiores: pinturas y escayolas, su tratamiento de diseño", en CURSO DE REHABILITACION, Nº 7, CERRAMIENTOS Y ACABADOS, págs. 197-209. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1.988.
- 16.381: ZAPATA TEJEDOR, Franciso. "Pasado y futuro: la conservación de cimentaciones antiguas", en la obra colectiva CIMENTACIONES URBANA: CALIDAD Y MODERNA TECNOLOGIA, págs. 295-318. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1.975.

ULPGC.Biblioteca Universitaria



583268
ARQ 69.059 PAD fis



