

METODO TEORICO PARA EL ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE ELEMENTOS DE HORMIGON, CON ARMADURA TRANSVERSAL, SOMETIDOS A ESFUERZOS CORTANTES Y DE FLEXION COMBINADOS CON CONSIDERACION ESPECIAL DEL ENGRANAMIENTO EN LA FISURA*

Salvador Meca Gómez
IETcc

Director de Tesis:

Juan Murcia Vela
Catedrático de Hormigón. E.T.S.I.C.C.P.-U.P.B.
450-16

LA tesis que se reseña trata de realizar un avance en la interpretación teórica del comportamiento de elementos de hormigón con armadura transversal sometidos a esfuerzo cortante.

El problema

El problema teórico del esfuerzo cortante podría ser presentado así:

El comportamiento de flexión puede ser modelado de forma eficiente mediante la hipótesis de NAVIER. Las predicciones del modelo basado en esta hipótesis sólo pueden ser falsados en el caso de presencia de esfuerzo cortante de un cierto nivel.

Esta falsación producida en los modelos de flexión justifica un planteamiento que aún perdura y que puede ser apreciado en la filosofía que subyace en la figura n.º 1.

En este gráfico, a través de la relación adimensional $M/V \cdot d$, se presentan los efectos que el esfuerzo cortante produce sobre el momento

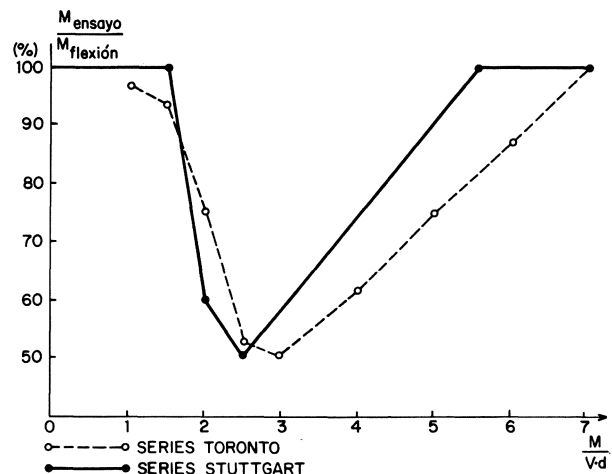


Fig. 1. — Variación de la resistencia a flexión según el esfuerzo cortante.

flector de rotura en el ensayo, expresado éste en forma de porcentaje en el momento último calculado de acuerdo con la teoría de flexión. Al dimensionar «a cortante» de lo que se trata es de recuperar ese momento último (es decir, de «validar» la teoría de flexión), que queda reducido entre los valores de $M/V \cdot d$ que van desde 2 hasta 5. Los datos que se reflejan en el gráfico corresponden a piezas sin armadura transversal. La función de esta armadura sería precisamente el evitar que se produzca la reducción del momento último teórico de flexión y conseguir que la relación entre momento último y momento de rotura sea invariable con respecto al parámetro $M/V \cdot d$.

Así se consagra una idea que permanece en la normativa nacional e internacional y, sobre todo, en la mentalidad de los proyectistas: «la armadura longitudinal resiste la flexión y la transversal, el esfuerzo cortante». Idea que se transmite a la denominación práctica de las citadas armaduras como armaduras de flexión y cortante respectivamente.

Esta idea es totalmente falsa, y aunque esta falsedad ha sido reconocida desde MORSCH, no lo ha sido de modo suficiente por falta de modelos teóricos adecuados que lo explicasen. La asimilación del método plástico por el Código Modelo ha tenido efectos más que contraproducentes, y ha venido a reafirmar la idea anterior, creando un mayor grado de confusión.

En esta tesis se ha demostrado el error que se comete con la interpretación anterior, a la vez que se incluyen, de forma rigurosa, en la consideración

* Tesis presentada el 5 de mayo de 1982 en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, y leída el 18 de junio del mismo año. Obtuvo la calificación de sobresaliente cum laude.

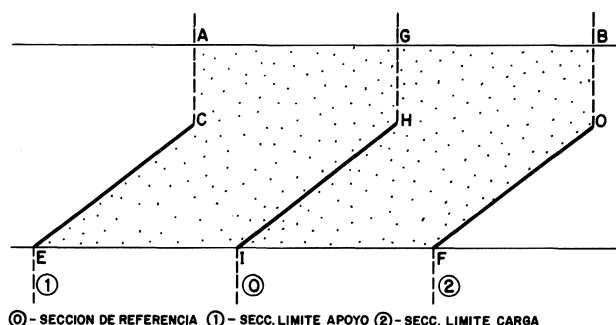


Fig. 2. —Zona del elemento que se estudia.

del fenómeno de la resistencia a esfuerzo cortante no sólo los elementos del análisis clásico: resistencia del hormigón, armadura longitudinal y armadura transversal, sino también los efectos del engranamiento entre las caras de las fisuras inclinadas y el efecto pasador de los elementos de acero que las atraviesan.

El método

Se analiza la zona crítica para rotura a esfuerzo cortante, aquella en la que la fisuración es inclinada, y ha sido iniciada por flexión. Dentro de esta zona se selecciona un sólido como el de la figura 2, que incluye tres fisuras, dos de ellas limitan el sólido y la tercera es interior al mismo. En este sólido se reconocen dos zonas de distinto comportamiento: la zona superior o región no fisurada y la zona inferior o región fisurada.

Para la región sin fisurar se admite un campo de deformaciones longitudinales definido por:

- hipótesis de sección plana que permanece plana tras la deformación, sólo extendida a la región no fisurada;
- deformaciones longitudinales en la fibra más comprimida crecientes con la cercanía al punto de carga;
- existencia de fibra neutra de posición variable a lo largo del sólido.

A partir de este campo de deformaciones, y del diagrama tensión-deformación del hormigón, se obtienen las tensiones normales longitudinales. A través de las ecuaciones de equilibrio interno se obtienen las tensiones tangenciales y las tensiones normales transversales.

Para el análisis de la región fisurada hay que determinar los movimientos relativos entre las caras de la fisura, ya que son estos movimientos los que ponen en tensión las armaduras y los que activan el efecto engranamiento. Con esta finalidad se proponen dos tipos de movimiento en fisura:

- movimiento apertura: el desplazamiento de dos

puntos que antes de abrirse la fisura estaban unidos es ortogonal a la dirección de la fisura;

- movimiento deslizamiento: el desplazamiento de dos puntos que antes de abrirse la fisura estaban unidos tiene la misma dirección de la fisura.

Estos movimientos coinciden con los que se producen en los modos de rotura I y II, de la teoría de Mecánica de Rotura (Figura 3).

A partir de modelos teóricos del efecto engranamiento y de resultados experimentales obtenidos de fuentes diferentes se llega a la conclusión de que, en una fisura inclinada de un elemento sometido a cortante y flexión, existe una relación lineal entre el movimiento apertura y el movimiento deslizamiento cuyo parámetro de proporcionalidad es el valor de la tensión tangencial del engranamiento, constante para todos los puntos de cada fisura, en cada instante.

Una última hipótesis, en cuanto al comportamiento del elemento, es la igualdad de las distorsiones medias de las regiones fisurada y no fisurada.

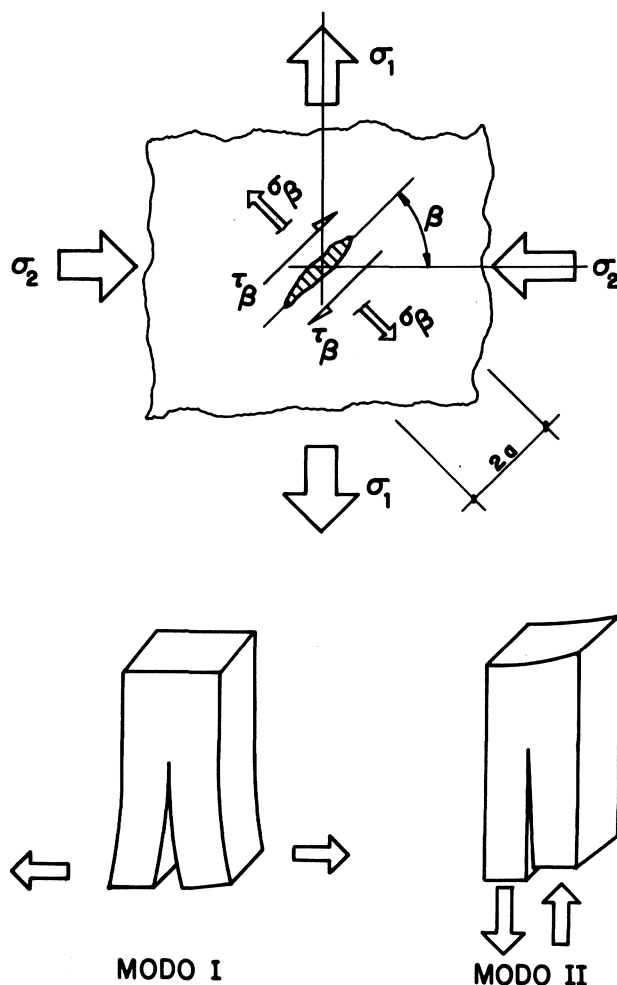


Fig. 3. —Modos de rotura I y II.

Resultados y conclusiones

Mediante el programa CORT, se resuelve el sistema de ecuaciones planteado y se puede seguir hasta rotura la evolución del elemento, obteniéndose, entre otros resultados, la participación relativa de las distintas contribuciones a la resistencia a cortante del elemento (figura 4).

Se ha realizado la comparación de los resultados de rotura del método propuesto con resultados de ensayos realizados por REGAN (1971), demostrándose la superioridad del ajuste de los resultados de este método frente a otros modelos.

De las conclusiones reflejadas en la tesis conviene destacar:

1. La comparación realizada entre resultados del CODIGO MODELO-78 y resultados experimentales refleja la calidad del método estándar para elementos de baja cuantía longitudinal y su escasa fiabilidad para los elementos fuertemente armados longitudinalmente. El método afinado no produce resultados mejores y en el caso de fuerte armado longitudinal, que permite contabilizar un aumento sustancial de la contribución por armadura transversal, este aumento se ve limitado en casi su totalidad por la regla de disminución de la contribución del hormigón que dicho método propone, produciendo resultados análogos a los obtenidos según el método estándar.
2. Se propone, a título indicativo, la forma en que este problema puede ser obviado. Hay que pronunciarse por una desaparición del método afinado y por la consideración del parámetro cuantía de armadura longitudinal en la contribución relativa al hormigón.
3. El papel del efecto engranamiento en el comportamiento a cortante de piezas con armado transversal es básico. Hasta ahora la explicación cuantitativa de la intervención del efecto engranamiento se había realizado sólo para elementos sin armadura transversal. Las aportaciones realizadas para elementos con armadura transversal eran escasas y parciales. El método propuesto integra de forma efectiva esta contribución como otro parámetro más incorporado al conjunto de factores clásicos de los estudios anteriores.
4. En lo relativo a la clasificación habitual de roturas: rotura por cortadura (shearing), y rotura de cortante-compresión (shear-compresión) cabe señalar que la rotura por cortadura ligada por la literatura a una rotura del cordón comprimido, por alcanzarse en éste tensiones tangenciales elevadas no tiene este sentido, de acuerdo con los resultados del

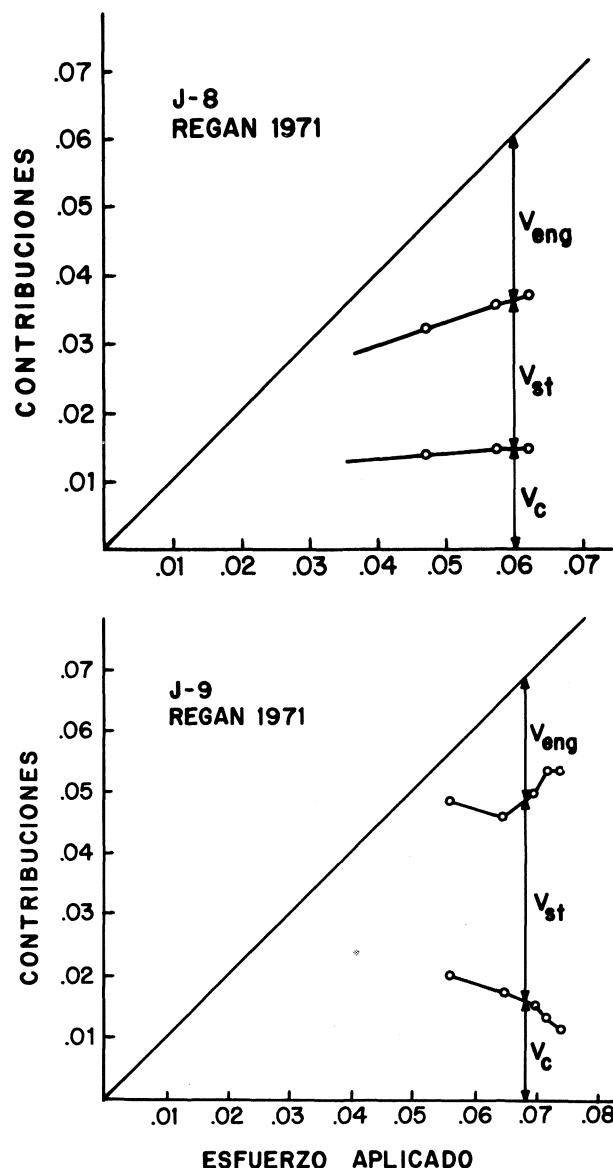


Fig. 4.—Participación relativa en la resistencia en cortante: V_c , contribución de la región no fisurada; V_{st} , contribución de la armadura transversal; V_{eng} , contribución del efecto engranamiento.

modelo. Para la aparición de rotura de cortadura es preciso la plastificación total de todos los elementos de armado que cruzan la fisura crítica. Esta plastificación aumenta las deformaciones con lo que desaparecen las restricciones en la fisura y con ellas el engranamiento. Esta desaparición brusca del engranamiento produce un aumento en la carga a resistir por el cordón comprimido, que rompe entonces según el esquema típico de cortadura. Esto se deduce del estudio de las tensiones que se producen en un amplio conjunto de puntos del cordón comprimido.

5. Los resultados y conclusiones hasta aquí reflejados constituyen una parte del trabajo realizado por el autor dentro del Equipo de Investigación «Esfuerzo Cortante», que viene

desarrollando su actividad desde el año 1976 en el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Este equipo de investigación pretende en el futuro, y con el fin de completar y explotar las líneas generales del método propuesto:

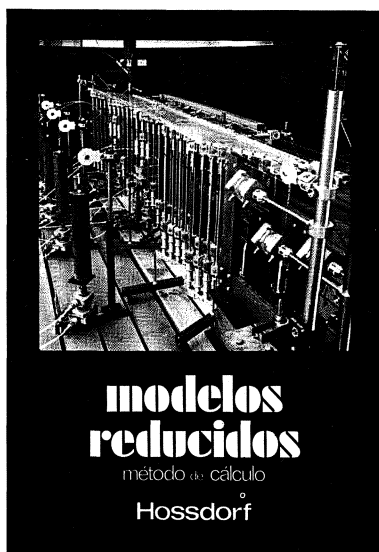
- a) la realización de programas experimentales dirigida a la comprobación de las hipótesis aquí propuestas, así como de un estudio más detallado del fenómeno del engranamiento en pieza, no mediante probetas como se viene realizando hasta

ahora;

- b) extensión del modelo a elementos de sección en T;
- c) consideración de cargas cíclicas, incorporando el comportamiento cíclico del engranamiento.
- d) la aplicación de los métodos obtenidos al análisis de la fiabilidad de componentes y sistemas estructurales sometidos a esfuerzos cortantes y de flexión combinados.

* * *

publicaciones del I.E.T.c.c.



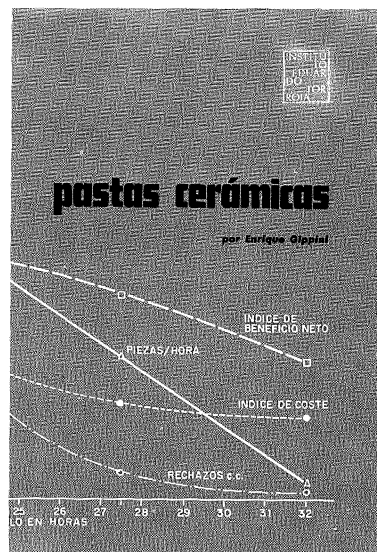
Modelos reducidos. Método de cálculo

H. Hossdorf, Ingeniero Civil

La técnica de los ensayos en modelos reducidos de estructuras sufre hoy día una decisiva metamorfosis. Hasta hace poco era un medio más bien de artesanía, que no siempre era tomado en serio por los académicos teorizantes para comprender el comportamiento resistente de las estructuras complejas y al que se acudió las más de las veces, como a un último remedio debido a sus indiscutibles insuficiencias. Sin embargo, en poco tiempo y gracias a su conexión con los ordenadores digitales, se ha transformado en un instrumento científicamente valioso, que no puede quedar a un lado en la práctica diaria del Ingeniero Projectista.

Un volumen encuadernado en cartón plastificado con lomo de tela, de 17 x 24 cm, compuesto de 250 páginas, 158 figuras y fotografías.

Precios: 1.800 ptas.; \$ USA 26.00.



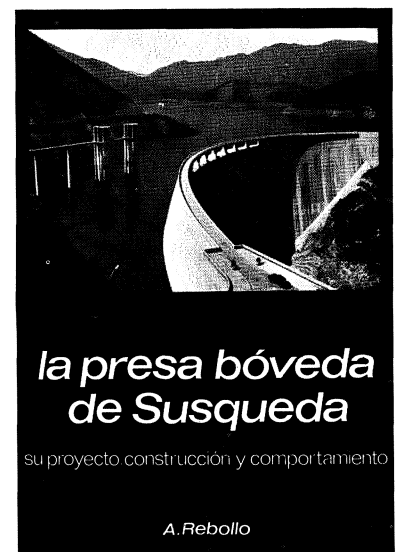
PASTAS CERAMICAS

Enrique Gippini,
Dr. en Ciencias Químicas

El nexo de unión de todos los capítulos del libro es la idea subyacente de crear una teoría general de pastas. Moldeo y Cocción son los dos procesos a los que debe adecuarse la composición. Las características físico-químicas más importantes que deben presentar las pastas para que los resultados de estos procesos sean satisfactorios y cómo pueden cambiarse dichas características son los temas de discusión escogidos.

Un volumen encuadernado en cartón, de 25 x 17 cm, compuesto de 259 páginas, 143 figuras y fotografías, y 37 tablas.

Precios: 2.000 ptas.; \$ USA 29.00.



La presa bóveda de Susqueda

A. Rebollo,
Dr. Ingeniero de Caminos

El esfuerzo del constructor de presas se sitúa, por su pretensión de perennidad, a contracorriente de las tendencias de la civilización actual, caracterizada por lo fungible. Pueden evocarse las 10.000 grandes presas en funcionamiento o en construcción que están envejeciendo y reclaman los cuidados gerontológicos para mantener y perfeccionar su servicio y garantizar su inalienable pretensión de perennidad. En la medida en que todas nuevas obras, grandes o pequeñas, son portadoras de riesgos ecológicos y, a veces, catastróficos, que aumentan con el envejecimiento, la gerontología de las presas es todo un emplazo. La acción adelantada de Arturo Rebollo en este terreno marca un camino a seguir para todos los que aman su propia obra con la devoción paternal que él ha puesto en Susqueda.

Un volumen encuadernado en cartón plastificado con lomo de tela, de 18 x 24,5 cm, compuesto de 408 páginas, 330 figuras y fotografías y 39 tablas.

Precios: 1.700 ptas.; extranjero, \$ USA 24.00.