
NOTAS . TÉCNICAS

LAS GRIETAS DEL HORMIGÓN

EL CONOCIMIENTO DE LA MORFOLOGÍA de las grietas tiene gran importancia en la diagnosis de estructuras de hormigón dañadas. Los primeros tratadistas del hormigón — Emperger, Probst, Mörsch — reconocieron implícitamente su valor al incluir en sus libros gran cantidad de dibujos o reproducciones fotográficas de probetas ensayadas hasta la rotura. Sin embargo, en la actualidad, los manuales han ido descuidando poco a poco este aspecto. Incluso, pese al gran caudal de experiencia reunida en las tres últimas décadas, esto no ha sido abordado ni aun por los autores que se han preocupado de la reparación del hormigón. Entre los pocos trabajos de conjunto que se han publicado sobre el asunto, debemos citar el de Bukowski y el de Boyd Mercer, que han tenido bastante influencia en el presente trabajo.^{1,2}

Las fuerzas que pueden actuar sobre el material de un cuerpo — ya sean internas o externas — hacen que éste se deforme. Si la magnitud de la fuerza continúa aumentando, la deformación sigue creciendo hasta que en una cierta sección del cuerpo o elemento se produce una separación neta entre las partículas constituyentes. Dependiendo del tipo de material — frágil o dúctil — este fenómeno puede ser repentino o sobrevenir después de una cierta deformación plástica. Se dice que se ha producido una grieta si esa separación afecta sólo a parte del cuerpo.

El hormigón es un material que puede tener muy diversas cualidades según cuál sea su edad, horas o meses, o su composición, como factores principales. Por otro lado, la heterogeneidad del material hormigón — ya sea simple o armado — y la diversidad de sollicitaciones que pueden actuar en los elementos que se han construido utilizándolo, hacen muy corriente que se agriete.

En este trabajo hemos querido explicar por qué se producen los diferentes tipos de grietas, clasificarlas, y proponer medidas para evitarlas o reducir las posibilidades de que se produzcan.

Para una mayor facilidad en el análisis de los diversos tipos de grietas las clasificaremos en dos grandes grupos: aquéllas que aparecen cuando el hormigón está aún blando y plástico, y las que se producen cuando éste ya ha endurecido.

LAS GRIETAS DEL HORMIGÓN NO ENDURECIDO

Los diversos tipos de grietas del hormigón no endurecido se forman cuando ya ha comenzado el fraguado o un poco antes. En todo caso aparecen cuando el hormigón está aún blando y plástico pero ya ha perdido la fluidez que tenía al ser colocado, de modo que las grietas que se formen difícilmente pueden cerrarse por sí solas.

Los principales tipos de grietas de este grupo pueden producirse por:

- Asentamiento de la base (caso de pavimentos)
- Desplazamiento del moldaje
- Deformación (hinchamiento) del moldaje
- Asentamiento de la pasta de cemento
- Retracción plástica

Grietas producidas por asentamiento de la base

Este tipo de grietas se produce de preferencia en pavimentos. Ocurre que parte del agua del mismo hormigón y del que se había colocado en lugares inmediatamente vecinos actúa debilitando la capacidad soportante de la base, facilitando que el hormigón se deforme. Puede evitarse la formación de este tipo de grieta mediante una buena preparación (compactación, drenaje) de la base.

Grietas producidas por desplazamiento del moldaje

Si el moldaje no ha sido bien ejecutado - especialmente, bien amarrado y apuntalado - una vez que la presión del hormigón alcanza cierto valor, puede ceder parcialmente produciéndose grietas en el hormigón que ya ha comenzado a fraguar. Desplazamientos muy grandes pueden provocar roturas que convendrá reparar para permitir el empleo del elemento de hormigón, aunque éste, sin duda, quedará con deformaciones que lo afearán.

Grietas producidas por deformación (hinchamiento) del moldaje

Si los encofrados se hacen con madera seca muy deformable y absorbente, puede ocurrir que, en contacto con el hormigón, absorban humedad y se deformen.

Aunque los moldajes estén debidamente afianzados, el hinchamiento de la madera en contacto con el hormigón no se podrá impedir. Por otro lado, puesto que la absorción de agua no es inmediata, el efecto de la deformación de la madera culminará tiempo después que el hormigón haya sido colocado. El principal efecto de este tipo de deformación es la aparición de grietas en líneas cercanas y aproximadamente paralelas a las aristas libres de vigas y pilares de hormigón armado, pudiéndose llegar al extremo que el hormigón se desprenda en esas zonas (Fig. 1).

Se puede evitar que se produzcan estas grietas permitiendo que los moldajes absorban agua antes que el hormigón sea vertido.

Este tipo de grietas crea problemas especialmente en el caso de construcciones en las que se ha de dejar el hormigón a la vista, ya que su presencia obligará a parchar o aplicar un enlucido.

Grietas de sedimentación

Estas grietas tienen su origen en la sedimentación que se produce aun con

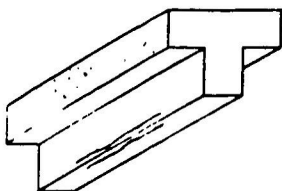


Fig. 1. Grietas provocadas por hinchamiento del molde en una vigueta.

razones agua-cemento muy bajas, una vez que el hormigón ya ha sido colocado en los moldajes. Esta sedimentación de las partículas y granos de áridos, que tiene su manifestación externa en la exudación, al encontrar algún obstáculo, que puede ser un fierro de armadura o un grano de grava, engendra una grieta ubicada justamente sobre el obstáculo (Fig. 2). El momento en que aparece esta grieta depende de muchos factores, pero es corriente que aparezca unos

veinte minutos después de colocado el hormigón, mucho antes que el agua de exudación se haya evaporado de la superficie y antes que comience el fraguado.

Para eliminar estas grietas se suele repasar posteriormente la superficie del hormigón mediante una llana. Pero se ha observado que este procedimiento no es siempre eficaz, ya que las grietas, aunque en un comienzo queden cubiertas, pueden volver a aparecer. (Fig. 2).

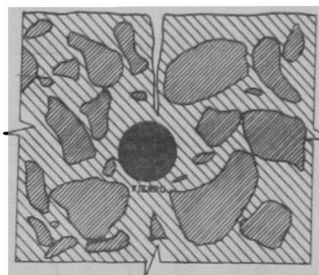


Fig. 2. Formación de una grieta por contracción de la pasta.

Las grietas de retracción plástica

Este tipo de grietas ha sido muy estudiado; se le ha observado en las obras y también se ha seguido su desarrollo en el laboratorio.^{3,4} Las grietas de este origen son frecuentes en losas de calzadas o de

aeropuertos y pueden atravesar todo el espesor del pavimento. Aparecen orientándose en un mismo sentido y dejando entre sí espacios aproximadamente iguales. (Fig. 3).

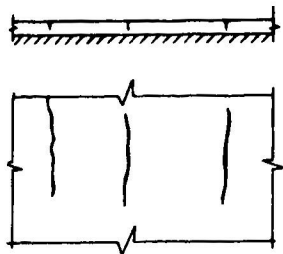


Fig. 3. Grieta por retracción plástica en una losa de pavimento.

Dos factores parecen ser determinantes en la formación de este tipo de grietas: las condiciones del ambiente, caracterizadas por la temperatura y la humedad relativa, y la velocidad con que la exudación transporta el agua hasta la superficie. Si la velocidad con que el ambiente externo absorbe

humedad es mayor que la velocidad con que el hormigón exuda el agua, el agua superficial disminuirá y finalmente comenzará a secarse la superficie, y por lo tanto a contraerse. Como esta contracción se produce en circunstancias que el hormigón, aunque todavía no ha endurecido, no tiene ya la facilidad de antes para cambiar de forma y además tiene muy poca resistencia a la tracción, al continuar el proceso llegará un momento en que aparecerá la grieta.

A continuación damos una serie de indicaciones mediante cuya observación se evitarán o se reducirán las grietas de este tipo:

- Evitar el empleo de áridos muy absorbentes
- En el momento de hormigonar, tener húmedos, pero no mojados, la base o los moldajes.
- Mantener a la sombra el acopio de áridos.
- Si es necesario transportar el hormigón, protegerlo del sol y evitar que pierda humedad.
- Inmediatamente de colocado el hormigón, protegerlo temporalmente con alguna cubierta, arpillera húmeda, polietileno.
- Colocar defensas de modo de evitar que el viento pase libremente sobre la superficie del hormigón.
- Evitar que el sol dé directamente sobre el hormigón.

Grietas producidas por la contracción de secado

Si a diferencia de las grietas de retracción plástica, el hormigón pierde agua no sólo a través de su superficie sino también a través de su base, o si parte importante de esta agua es succionada por áridos absorbentes, entonces, se contraerá. Si además este hormigón forma parte de algún elemento estructural y tiene ligazones con otros elementos más rígidos, se generarán tensiones de tracción que pueden traducirse en grietas. De todas maneras el aspecto de las grietas es muy similar al de las grietas de retracción plástica, como se muestra en la Fig. 4.

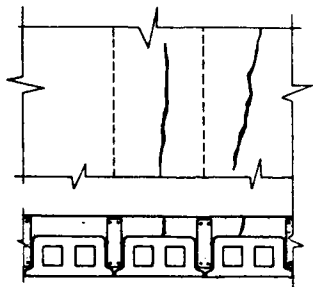


Fig. 4. Agrietamiento por contracción de secado del hormigón fresco de una losa cerámica.

LAS GRIETAS DEL HORMIGON ENDURECIDO

Estas grietas poseen las características más variadas y, fuera de la cualidad que ha permitido clasificarlas en este grupo, no tienen nada más en común.

Las principales grietas de este tipo son las provocadas por:

- Retracción del hormigón

- Acción de sulfatos
- Corrosión de las armaduras
- Reacción álcali-árido
- Calor de hidratación del hormigón
- Aumentos de temperatura por efectos externos
- Acción del hielo
- Cargas
- Asentamiento de la base y otras causas, en pavimentos

Grietas provocadas por retracción

Al perder o al absorber agua, la pasta de cemento se contrae o se dilata. Si esta variación de volumen encuentra alguna restricción, se generan tensiones que pueden llegar a producir el agrietamiento del hormigón. Si las tensiones son de tracción, la aparición de grietas es más probable dada la poca resistencia a la tracción del hormigón.

Estas variaciones de volumen están muy ligadas al efecto del agua en la estructura capilar del hormigón; es por lo tanto un fenómeno inherente a la conformación íntima del hormigón. Para un determinado cemento, este tipo de retracción es mayor mientras más alta sea la dosis de cemento empleada, pero especialmente mientras mayor sea la cantidad de agua empleada en el amasado. Ciertos tipos de áridos pueden tener también gran influencia en la retracción observada.⁵

En las Figs. 5 a 7 damos diversos ejemplos de este tipo de grietas.

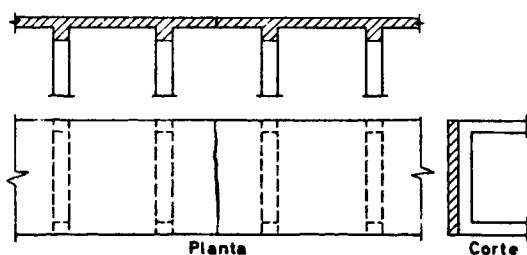


Fig. 5. Grietas por retracción en un sistema de losas con dos bordes libres. Citado por Bukowski¹.

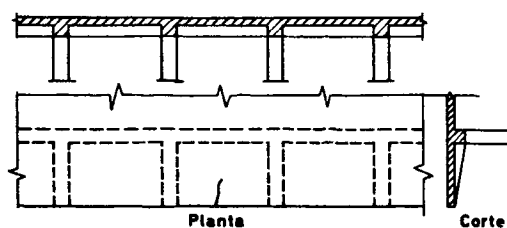


Fig. 6. Grietas por retracción en un sistema de losas con un solo borde libre. Citado por Bukowski¹.

Las tensiones provocadas por la retracción se suman a las tensiones provenientes de la flexión y del cizalle. En el caso que aparezca alguna grieta aislada en el centro de la luz de una viga, aunque tenga el aspecto de una grieta de flexión, habrá que atribuirle casi siempre a la retracción.

A continuación hacemos un resumen

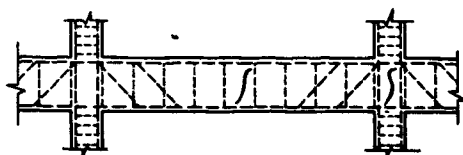


Fig. 7. Grietas de retracción en viga fuertemente armada. Al aparecer cerca de los apoyos pueden situarse oblicuamente, con lo que se asemejarían mucho a grietas producidas por cargas. La grieta no pasa la línea de la armadura. Citado por Bukowski¹.

de las principales características que tienen las grietas de retracción:

- Su aparición puede tener lugar después de meses o aun de años.
- En el caso de elementos idénticos, las grietas aparecen sólo en los elementos ubicados en lugares secos, o que han sido fabricados en estaciones secas o cálidas.
- En elementos fuertemente armados el espaciamiento de las grietas es muy reducido. Las grietas no pasan la línea de la armadura.
- En los elementos débilmente armados el espaciamiento es grande. Es corriente que la grieta atraviese toda la viga.
- Su recorrido es rectilíneo y el espaciamiento muy regular.
- Abertura pequeña (una fracción de milímetro). Puede ser mayor en vigas más largas débilmente armadas.
- Una vez producida la grieta ésta se estabiliza casi inmediatamente.

Grietas provocadas por la acción de sulfatos

Los sulfatos - y en forma indirecta los sulfuros que pueden pasar a sulfatos - en contacto con el hormigón pueden generar productos expansivos que originan grietas y en último extremo hasta la disgregación de aquél. Estas sustancias pueden actuar desde el interior - en caso de que hayan sido mezcladas con los ingredientes del hormigón - o desde el exterior, en humos o aguas ricas en sulfatos. Tanto el ataque interno como el de humos pueden dar lugar a un conjunto de grietas en que éstas aparecen ubicadas en cualquier punto y dirección.

Si el hormigón es atacado por aguas ricas en sulfatos puede no agrietarse y mostrar en cambio una superficie blanquizca y blanda en la zona en contacto con el agua.

Los diversos sulfatos en contacto con el cemento y el agua actúan originando sulfoaluminato de calcio; esta sustancia tiene un peso específico muy bajo (1,7) y ocupa un volumen mucho mayor que el original, lo que da lugar a las tensiones de expansión.

Es muy probable que el agrietamiento de la cara inferior de puentes de hormigón contruidos como pasos sobre nivel de vías ferroviarias se deba a la acción de humos de locomotoras, que contienen sulfatos y desde luego sulfuros.

En caso de que exista la posibilidad de ataque por sulfatos es aconsejable emplear cementos puzolánicos o cementos especialmente resistentes a los sulfatos. Entre estos últimos están los cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico y los cementos aluminosos y sobresulfatados⁶.

Grietas provocadas por la corrosión de las armaduras

Los cloruros en el agua de amasado o en los áridos actúan de dos formas diferentes: producen un descenso en la resistencia a la compresión, y pueden

atacar, una vez endurecido el hormigón, al fierro de la armadura. Este último ataque es el que puede manifestarse exteriormente en la forma de grietas.

Los cloruros actúan produciendo la oxidación del acero. El aumento de volumen resultante genera una fuerte presión en el hormigón.

Las grietas que se producen por corrosión de las armaduras son muy características. Se presentan siguiendo la línea de las armaduras atacadas (Fig. 8).

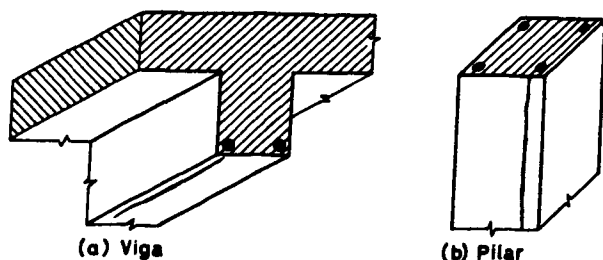


Fig. 8. Dos casos de grietas producidas por corrosión de armaduras.

Se puede prevenir este tipo de accidente limitando la presencia de cloruros tanto en el agua de amasado como en los áridos. Las normas chilenas aconsejan limitarlo al 1% del agua de amasado⁸.

Como se ha visto que para que se produzca este ataque es muy determinante además la presencia de agua, en los casos en que haya presencia de cloruros deben emplearse hormigones especialmente compactos e impermeables, y las armaduras deben tener un buen recubrimiento.

Conviene agregar que este ataque puede producirse aun en hormigones cuyos materiales no contengan cloruros, si existe un ambiente húmedo y salino (cerca del mar, por ejemplo), el hormigón es poroso y el recubrimiento de las armaduras es insuficiente.

Además, si hay grietas, se pone en contacto el cloruro con las armaduras, creando así las condiciones para que comience allí la corrosión. En los comentarios de las normas del Instituto Eduardo Torroja⁹ se hace notar que, dado que no es posible evitar el agrietamiento — por lo menos la posibilidad que aparezca —, especialmente cuando se quieren utilizar altas tensiones de tracción en el acero, es necesario tratar de repartir esas grietas lo más posible. Esa norma da indicaciones para regular la abertura de las probables grietas y propone clasificarlas según su orden de magnitud en las tres categorías siguientes:

- tres décimas de milímetro en estructuras normales, abrigadas de la intemperie o ubicadas en zonas de clima relativamente seco.
- dos décimas de milímetro en obras o elementos sometidos a la intemperie, lluvias, heladas, etc.
- una décima de milímetro en ambientes especialmente agresivos (depósitos de locomotoras, elementos sometidos a la carrera de mareas o rocciones salinos, etc).

En Chile, el tipo de ataque que hemos comentado en estas últimas líneas,

es muy corriente en los postes de hormigón destinados a soportar las líneas de transmisión eléctrica ubicados en las cercanías del mar.

Grietas producidas por la reacción alcali-árido

Ocurre a veces que los áridos - que se consideran químicamente inertes - reaccionan con los álcalis del cemento. Estas reacciones originan expansiones que pueden agrietar y causar graves deterioros en las estructuras de hormigón.

La reacción alcali-árido en el hormigón consiste en una reacción físico-química que se produce entre las partículas de sílice reactiva de algunos áridos, y los álcalis y el hidróxido cálcico liberados durante la hidratación del cemento. Se forman así complejos geles de cal-álcali-sílice que, al hincharse ante la presencia de agua, ocasionan fuertes presiones internas en todas las direcciones, que agrietan y finalmente rompen el hormigón. Un elemento estructural que se encuentre con una reacción alcali-árido avanzada, se presentará cuarteado con grietas en diversas direcciones. Es probable además que muchas de estas grietas segreguen una suerte de gel y que en algunos puntos de la superficie se observen abultamientos locales^{10, 11}. (Fig. 9).

Los minerales que participan en las reacciones alcali-árido consisten en sílice en estado amorfo o criptocristalino tales como ópalo, calcedonia, tridimita, cristobalita. Se encuentran principalmente en rocas de origen ígneo, como ser riolitas, dacitas, andesitas, algunos basaltos etc.

En la posibilidad de reacción del cemento con áridos reactivos, influye naturalmente el contenido de álcalis solubles de los cementos. Este valor, expresado como Na_2O , en algunos cementos puede alcanzar a 1,5% del peso del cemento. Ensayos efectuados revelan que cementos con menos de 0,6% de equivalente de Na_2O pueden emplearse con una mayor garantía de que no darán lugar a expansiones peligrosas con áridos dudosos. Existen métodos de ensayo que permiten determinar la reactividad potencial de un árido.

En algunos casos puede ser inevitable el empleo de áridos que han exhibido una cierta reactividad potencial. En tales casos, para reducir la reacción alcali-árido conviene emplear:

- cementos de bajo contenido de álcalis
- adición de puzolanas comprobadas como reductoras de la expansión.

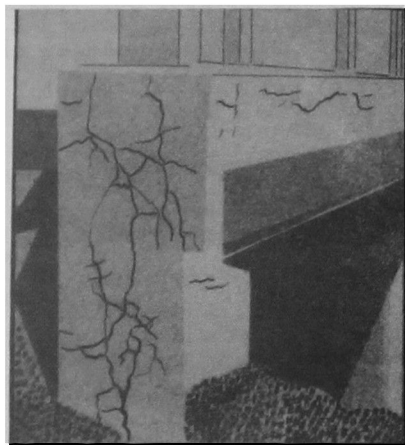


Fig. 9. Grietas producidas por la reacción alcali-árido en el hormigón del estribo de un puente, según Blanks y Kennedy¹¹.

Grietas debidas al calor de hidratación

La hidratación del cemento es una reacción exotérmica, y la cantidad de calor generada hasta una edad determinada por unidad de peso de cemento, se denomina calor de hidratación del cemento.

En la construcción corriente el calor generado durante la hidratación no es de importancia, debido a que la superficie del hormigón permite su rápida difusión y disipación.

En el hormigón para construcción en masa, la superficie por unidad de volumen puede disminuir mucho; por ello la velocidad de difusión también disminuye y el calor se acumula en el interior de la masa. Se desarrolla así una diferencia de temperatura entre el interior y las caras externas, lo que trae consigo la generación de tensiones internas que pueden provocar el agrietamiento de la estructura.

El monto del agrietamiento depende principalmente de la gradiente de temperatura, de la resistencia de tracción del hormigón, del módulo de elasticidad y del grado al cual las tensiones debidas a la temperatura pueden ser aliviadas por la fluencia plástica.

El aumento de temperatura depende del tipo y del contenido de cemento de la mezcla; conviene, pues, elegir un cemento puzolánico o de bajo calor de hidratación. Para reducir el contenido de cemento al mínimo, se recurre al empleo del tamaño máximo mayor posible, al empleo de vibración pesada y al uso de incorporadores de aire junto con árido fino de granulometría muy bien constituida con el fin de mejorar la trabajabilidad.

La gradiente de temperatura entre el interior y la cara externa del hormigón puede disminuirse bajando la temperatura de colocación del hormigón. Las especificaciones del U.S. Corps of Engineers estipulan que la temperatura de colocación no debe exceder los 10°C. Para lograr este objetivo se puede recurrir a procedimientos tales como refrigerar el agua de amasado, agregarle escamas de hielo o enfriar la grava.

Otros factores que influyen en el monto de elevación de temperatura de la masa de hormigón son la velocidad de colocación y la altura de la capa. Cada capa sucesiva de hormigón fresco genera su propio calor y por ello impide la disipación de calor de la capa inferior.

En Estados Unidos la práctica es limitar la altura de capa a 1,5 a 2,3 m, y dejar entre capas un lapso de 4 a 7 días para permitir con ello que se disipe el calor. Por otro lado no conviene que la diferencia de altura entre zonas adyacentes sobrepase las tres capas (4,5 a 7 m).

Otro procedimiento para atenuar la gradiente de temperatura consiste en aislar la superficie externa del hormigón del exterior durante la estación fría. Si se impide la rápida disipación de calor en el ambiente circundante, se re-

duce también la diferencia de temperatura y junto con ello las tensiones térmicas^{6, 12}.

Grietas debidas a aumentos de temperatura por efectos externos

Se consideran en este caso las fluctuaciones de temperatura normales del aire, las variaciones de temperatura debidas a instalaciones industriales y de calefacción, y en último término las debidas a incendios^{13, 14}.

Una de las razones de que se produzcan grietas por cambios de temperatura provenientes del exterior es que, en muchos casos, la armadura del acero y el hormigón que la rodea, pese a que sus coeficientes de dilatación térmica son casi iguales, no se deforman al mismo tiempo; esto se debe a que el acero, por su mayor coeficiente de conductividad térmica, se calienta más rápido. En muchos incendios este efecto ha generado grietas y en algunos casos ha hecho saltar el recubrimiento de las armaduras.

La acción del enfriamiento es tan análoga a la retracción, que muchas normas expresan la retracción por el equivalente de grados de enfriamiento. Los tipos de grietas que se producen por enfriamiento son muy semejantes a las que se producen por la retracción (Figs. 10, 11, 12); caso aparte es el de grietas generadas por la retracción del hormigón en el caso de elementos fuertemente armados: las grietas debidas a la retracción, señaladas en la Fig. 7 no podrían producirse por efectos térmicos.

En la gran mayoría de los casos este tipo de grietas puede evitarse mediante el empleo de aislaciones o de armaduras adecuadas.

Grietas debidas a la acción del hielo

Estas grietas se pueden producir por congelamiento del agua que ha penetrado en resquicios del elemento de hormigón.

A menudo ocurre que el hielo rompe las paredes de agujeros de anclaje que se encuentran en los bordes de bloques de fundación. Si el agujero se encuentra en el ángulo del bloque, se puede desprender toda la esquina, lo que es muy difícil de reparar.

Grietas producidas por cargas

Debido a la diversidad y a la importancia de este tipo de grietas las hemos subdividido en los siguientes subtipos:

- Grietas de compresión
- Grietas de compresión excéntrica

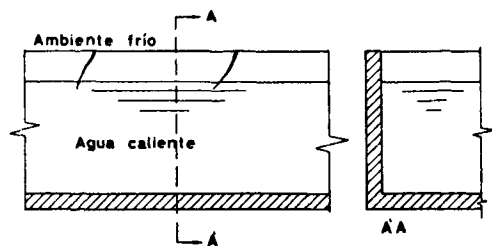


Fig. 10. Grietas que se producen en un estanque que contiene agua caliente hasta cierto nivel, pero cuyas paredes en su parte superior están en un ambiente frío. Citado por Bukowski¹.

- Grietas de flexión
- Grietas de cizalle
- Grietas de torsión
- Grietas de asentamiento de apoyos
- Grietas por armadura mal colocada u omitida

Grietas de compresión

Las grietas de compresión son diferentes según el cuerpo sea esbelto o chato; también son diferentes si se trata de un elemento de hormigón simple o de

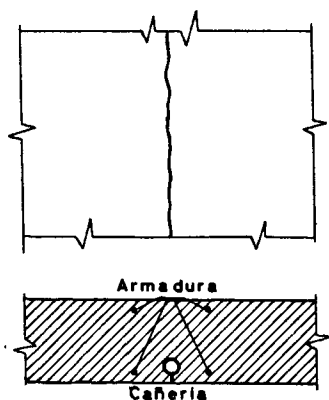


Fig. 11. Grieta en un muro armado provocada por la expansión de una cañería de calefacción. Obsérvese la semejanza con las grietas de corrosión de armaduras.

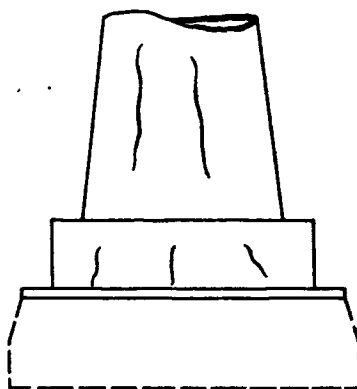


Fig. 12. Agrietamiento en una chimenea. Si el revestimiento de ladrillo refractario hubiera estado separado del hormigón resistente mediante una capa de aire, las grietas no habrían aparecido. Citado por Bukowski¹.

uno armado con barras rectas y estribos o de un elemento zunchado. Si no se produce pandeo, toda la sección de la columna resultará afectada. El aplastamiento debido a la compresión excesiva del material se producirá a media altura de la columna; esto se debe a que en los extremos existe un efecto de zunchado o de mayor refuerzo en la unión monolítica de la columna con las vigas.

Aunque nos interesan principalmente las grietas en elementos armados, indicaremos en la Fig. 13 la morfología de grietas para el caso de probetas - cubos y prismas - de hormigón simple ensayadas a compresión.¹⁸ La forma de grietas de la probeta sin armar puede servir de ayuda para el examen de grietas en columnas con fierros rectos y estribos, pues en muchos casos se ha encontrado una clara analogía. En las Figs. 14 y 15 dos casos citados por Bukowski¹ ilustran lo que acabamos de afirmar. Es evidente, sin embargo, que la forma final de las grietas dependerá en alto grado de la disposición de las barras rectas y de los estribos. Estos últimos son en realidad de gran importancia en el buen funcionamiento del elemento. Debe recordarse que los es-

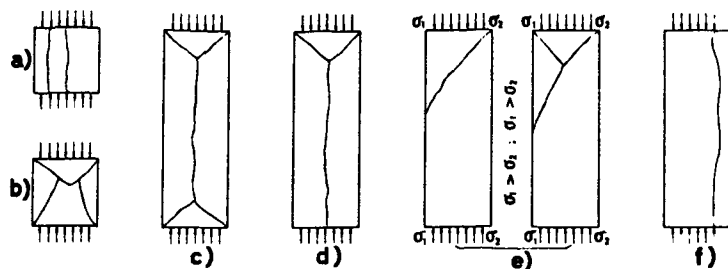


Fig. 13. Grietas típicas en cubos y prismas de sección cuadrada, ensayados a la compresión, según Jolsel (citado por Bukowski¹).

- Por efecto de la carga se forman una serie de columnas que comienzan a resistir separadamente.
- Modelo más clásico de agrietamiento en la rotura.
- El hormigón es muy homogéneo y las cargas están bien centradas.
- El hormigón inferior es más resistente que el superior.
- La distribución de la compresión no es uniforme.
- La compresión interesa sólo parte de la sección.

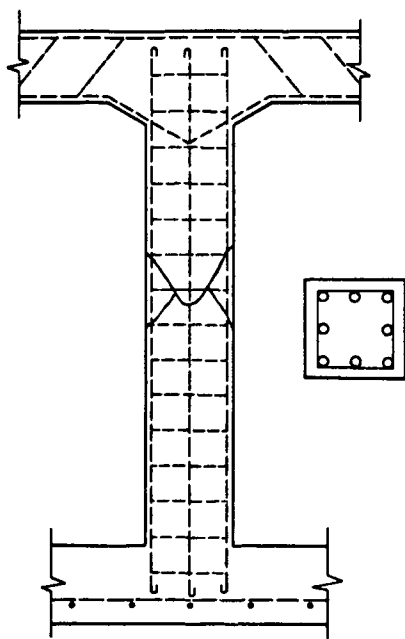


Fig. 14. Columna comprimida con armadura simple. Grietas en el instante de la rotura, según Bukowski¹.

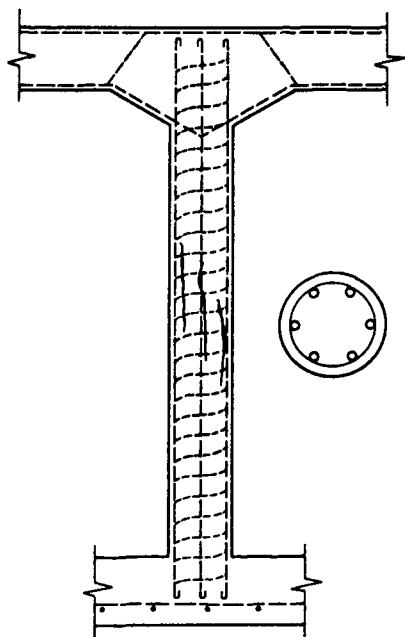


Fig. 15. Columna zunchada comprimida. Grietas antes de la rotura, según Bukowski¹.

tribos evitan el pandeo de las barras longitudinales y se oponen al ensanchamiento de la sección, con lo cual se aumenta la resistencia de la pieza.

Durante el proceso de carga de una columna armada con fierros longitudinales y estribos se forman primeramente grietas provenientes del pandeo de la armadura longitudinal; si el proceso de carga continúa, el sistema de grietas

tas tomará una configuración semejante a la de la Fig. 14, y, llegando a este punto, el colapso está próximo. De todas maneras, la aparición de grietas verticales indica que el elemento está muy cerca de su resistencia última.

Respecto del modo mismo de falla, las columnas armadas con hierros longitudinales y estribos fallan repentinamente y con muy pequeña deflexión; la falla ocurre por aplastamiento del hormigón y pandeo de las barras verticales en un pequeño tramo del largo de la columna; las deformaciones en o cerca de la falla nunca exceden el valor 0,002. El efecto es similar para columnas armadas de la misma forma pero de diferente longitud.

Las columnas zunchadas pertenecen a una categoría diferente. Cuando las cargas ya alcanzan una cierta magnitud, aparece una gran cantidad de grietas verticales de espaciamiento parejo (Fig. 15). Si la carga se sigue aumentando, llegará un momento en que se desprenderá toda la capa de hormigón exterior al zuncho; esto ocurre cuando se han alcanzado esfuerzos de compresión que provocarían la rotura completa de la columna si ésta estuviese sin armar, ya que se la alcanzado una tensión equivalente a la resistencia prismática. Al desprenderse la capa externa de hormigón, no está agotada la capacidad resistente de la columna: el desprendimiento de la capa es tan sólo la señal externa de que empieza a entrar en juego la resistencia supletoria del zunchado. Sin embargo, el primer agrietamiento puede considerarse prácticamente como indicación de falla, ya que la resistencia adicional es variable y en algunos casos muy pequeña. Además al entrar a esta etapa pueden presentarse deformaciones inelásticas muy grandes al aumentar la carga. Si la carga que comprime una columna zunchada aumenta mucho y además ésta es muy esbelta, puede producirse un agrietamiento que anuncie que, de seguir aumentando la carga, el colapso sobrevendrá por pandeo. En este caso las grietas aparecerán como se indica en la Fig. 16. En la columna ensayada tanto las grietas τ como las σ se han producido por aplastamiento del hormigón debido a una compresión local excesiva.

En el instante de la rotura, las columnas zunchadas muy esbeltas presentan efecto de flexión y zonas de aplastamiento locales, tanto en los extremos superior e inferior como en la zona intermedia. El colapso final ocurre en algunos casos por rotura de la hélice de alambre y, en otros, por una rápida deflexión de la columna¹⁷.

A continuación reseñamos las principales características de las grietas y de la falla de elementos comprimidos:

Las grietas tienen diferente significado según se trate de columnas con barras rectas y estribos, o zunchadas. Las grietas en el caso de las primeras indican que, de mantenerse el estado de cargas, el colapso estaría muy próximo. En el caso de las columnas zunchadas indican que en ese momen-

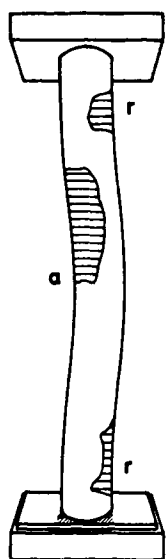


Fig. 16. Grietas de falla de columna por pandeo según Richart et al.¹⁷

to ha comenzado a actuar la resistencia de la hélice y que queda aún cierta reserva de resistencia.

- La falla de las columnas con barras rectas y estribos es brusca y con pequeña deflexión.
- La falla de las columnas zunchadas ocurre por rotura de la hélice o por una rápida deflexión (pandeo).

Grietas producidas por compresión excéntrica

Mientras las grietas de compresión y las de pandeo se producen en la zona media de la columna, las grietas de compresión excéntrica se producen en un extremo, nunca a media altura. Además, la extensión de la zona agrietada es muy reducida, ya que el momento disminuye rápidamente hacia la zona media de la columna. (Fig. 17). En la compresión excéntrica la disposición de las grietas puede ser muy diferente según sea la excentricidad de la fuerza actuante. A medida que crece la excentricidad, las grietas se forman antes y son más numerosas y largas. Si la excentricidad disminuye, las grietas aparecen más tarde, son menos numerosas y más cortas. Si la excentricidad es muy pequeña, el aplastamiento puede sobrevenir antes que aparezcan las grietas de tracción.

Grietas de flexión.

Antes de describir en detalle las grietas de flexión, haremos un breve examen del comportamiento de una viga sometida a la acción de cargas. Supondremos que la viga está bien dimensionada y que la distancia entre apoyos es tal que hace que por efecto de las cargas la sollicitación predominante sea la de flexión.

Consideremos las secciones de una viga cargada. A medida que el estado de carga se va acentuando, el diagrama de tensiones varía según se indica en la Fig. 18. Se pueden distinguir tres fases bien diferenciadas:

Fase I. Los esfuerzos actuantes son aún pequeños, tensiones de tracción en el hormigón de hasta unos 10 kg/cm^2 . La viga de hormigón se comporta como una viga de material homogéneo con un módulo de elasticidad E_b , siendo la sección activa la de hormigón más n veces la del hierro.

Fase I a. Ha aumentado el esfuerzo solicitante. Los módulos de elasticidad del hormigón en tracción y en compresión ya no son iguales. Las tensiones de la zona de trac-

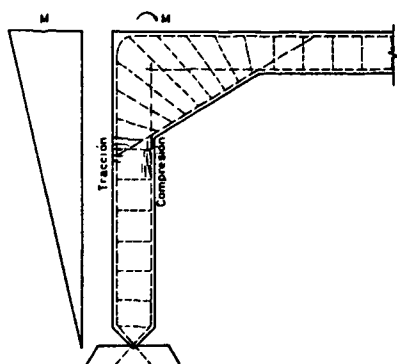


Fig. 17. Columna cargada excéntricamente. El efecto del momento, sumado al de la carga, ha producido las grietas indicadas.¹⁰

ción son menores que las de la zona de compresión para fibras situadas a la misma distancia de la fibra neutra. Esta fase perdura hasta que se agota la resistencia a la tracción del hormigón — dilataciones de 0,10 a 0,20 mm/m.

Fase II. Al rebasarse la resistencia a la tracción del hormigón, se producen grietas. Al principio son imperceptibles, pero al aumentar la carga van haciéndose visibles y progresando poco a poco.

Fase III o de rotura. Hay grandes dilataciones en el hierro y fuertes compresiones en el hormigón. El acero traccionado puede llegar al límite de su resistencia o el hormigón puede romperse por compresión (aplastamiento).

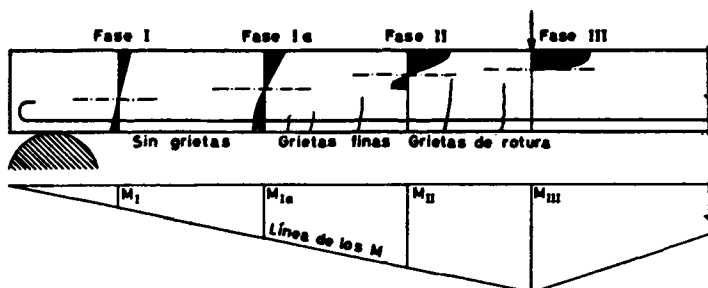


Fig. 18. Estados de tensión en diversas secciones de una viga cargada hasta la rotura.¹⁶

La forma de falla de una viga de hormigón solicitada preferentemente por flexión depende de las resistencias del hormigón y del acero. A todo hormigón de resistencia conocida corresponde una cuantía determinada, para la cual se llegan a agotar, simultáneamente, las resistencias del acero y del hormigón.¹⁶

Por ejemplo según Saliger, para $\sigma_{\text{acero}} = 3000 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{\text{hormigón}}$ 50 100 150 200 250 300 350 400 kg/cm^2

corresponde: cuantía =

sección acero/sección hormigón 0,17 0,55 1,1 1,7 2,3 3,0 3,7 4,4 %

Si la cuantía es más débil que la que corresponde a los valores dados, la rotura sobrevendrá por producirse en el acero deformaciones plásticas que generarán falla por aplastamiento del hormigón. Si la cuantía es más fuerte que la señalada, la falla se iniciará por el aplastamiento del hormigón.

La sollicitación de flexión en una viga siempre va acompañada de una cierta sollicitación de cizalle. Pero si, como hemos dicho, la viga tiene ya cierta longitud, la flexión predominará, y por tanto las grietas de flexión aparecerán primero y las de cizalle sólo se evidenciarán en las últimas fases de carga.

Las grietas de flexión aparecerán en la zona de momento máximo y se irán extendiendo hacia los apoyos a medida que la carga progresa. (Figs. 18 y

19). El aspecto y el espaciamiento de las grietas es diferente según la cuantía. En vigas débilmente armadas el espaciamiento entre grietas es grande, mientras que en vigas fuertemente armadas el espaciamiento es reducido. (Figs. 20 y 21).

La primera grieta aparecerá siempre cerca de la zona de momento máximo. Es corriente además que en vigas mediana o fuertemente armadas, en las últimas etapas de carga aparezcan grietas de cizalle (tracción diagonal) cerca de los apoyos.

A continuación enumeramos las principales características de las grietas debidas a la flexión:

- No atraviesan toda la altura de la sección de la viga: se las encuentra solamente en la parte traccionada.
- Siempre atraviesan la línea de los fierros de la armadura traccionada.
- Se presentan en gran cantidad, muy proximas y casi equidistantes unas de otras. El espaciamiento es mayor cuanto menor es la cuantía, cuanto menor es la resistencia del hormigón, cuanto mayor es el diámetro de las barras de la armadura y cuanto menor es la adherencia del acero.
- Se producen bajo carga; pero si la carga se retira, la mayor parte de las grietas se cierra.
- Si el efecto del cizalle es débil, las grietas tienen una dirección perpendicular al eje de la viga, pero cerca de los apoyos se inclinan hacia el medio de la viga por la influencia del cizalle.

Un caso muy especial de grietas de flexión lo constituyen las que se producen por cargas en losas de hormigón con armadura cruzada.

Las losas de hormigón poseen una elevada seguridad a la rotura. Como elementos estructurales poseen la característica de que en ellas, fallas locales no trascienden con la gravedad que lo harían en otros elementos estructurales. Esto se debe a que los esfuerzos que un determinado sector debilitado no ha podido tomar, son redistribuidos hacia zonas más fuertes. Por estas razones es poco frecuente observar en la práctica fallas — menos todavía colapsos — por exceso de carga en losas con armadura doble.

Los aspectos más importantes del comportamiento de losas ensayadas en el laboratorio, según datos de Steinmann¹⁹ extraídos del examen de los ensayos de la Comisión Alemana para el Hormigón Armado, se resumen en los siguien-

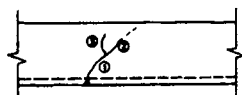


Fig. 19. Progreso de una grieta de flexión en diversas etapas de carga. La grieta ha nacido en la base inferior y ha llegado primeramente a (1); con un aumento de carga se ha extendido hasta (2), y, en último término, ha sobrepasado (2) y se ha ramificado en (3).

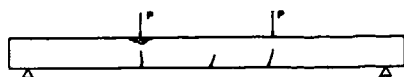


Fig. 20. Grietas en el estado de rotura de una viga muy débilmente armada (cuantía 0,2%) Citado por Bukowski¹.

tes:

- La razón entre la carga de rotura y la de servicio varía entre 4,2 y 5,8.
- La seguridad a la fisuración, razón entre la carga de fisuración y la de servicio, es, en promedio, del orden de 1,8.
- La rotura queda determinada por el límite de fluencia del acero de la armadura.
- Las deformaciones de rotura son considerables. La losa nº 693, serie 3 de los ensayos de Dresde, de 3 m de luz y 12 cm de espesor, alcanzó en la rotura una flecha de 118 mm.

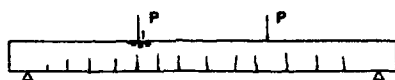


Fig. 21. Grietas de flexión en la fase de rotura de una viga fuertemente armada (cuantía 5,1%). El espacio entre grietas ha disminuido considerablemente y hay indicios de aplastamiento del hormigón en el punto 1 al alcanzar allí la resistencia de compresión un valor excesivo. Citado por Bukowski.¹

Estudios de la fisuración bajo cargas crecientes hasta la rotura en losas de diferente forma y condiciones de borde han permitido aclarar el mecanismo de su funcionamiento. Basado en ello está el procedimiento de cálculo de las "líneas de rotura" de Ingerslev y Johansen, muy complementado en el último tiempo gracias al impulso recibido del Comité Europeo del Hormigón y de universidades americanas principalmente^{19, 20}. En las Figs. 22, 23 y 24 se observan grietas de diversos tipos de losas.

En el caso de las losas simplemente apoyadas en sus cuatro costados, las grietas de la cara inferior se deben a tensiones de tracción causadas por flexión.

Las de la cara superior, que aparecen principalmente cerca de las esquinas, se deben en un comienzo a aplastamiento del hormigón; pero en las fases finales de carga pueden aparecer grietas de tracción diagonal que atraviesan la losa a 45° (Fig. 26).

En el caso de la losa continua que hemos indicado en la Fig. 25, se puede apreciar la progresión de grietas en ambas caras según el estado de carga. Las primeras grietas de la cara superior aparecen sobre los apoyos centrales y se van extendiendo hacia las esquinas, donde se forman finalmente familias de grietas más cortas, de trayectoria aproximadamente perpendicular a las primeras. Las grietas que se producen en la cara inferior de cada losa parcial muestran una distribución muy semejante a la de una losa simplemente apoyada en sus cuatro lados y cargada uniformemente.

Las grietas de cizalle

En una viga, si la sollicitación de cizalle crece, pueden aparecer grietas de tracción diagonal debidas al efecto conjunto del cizalle y la flexión. Estas grietas aparecen cerca de los apoyos y se producen de preferencia en vigas

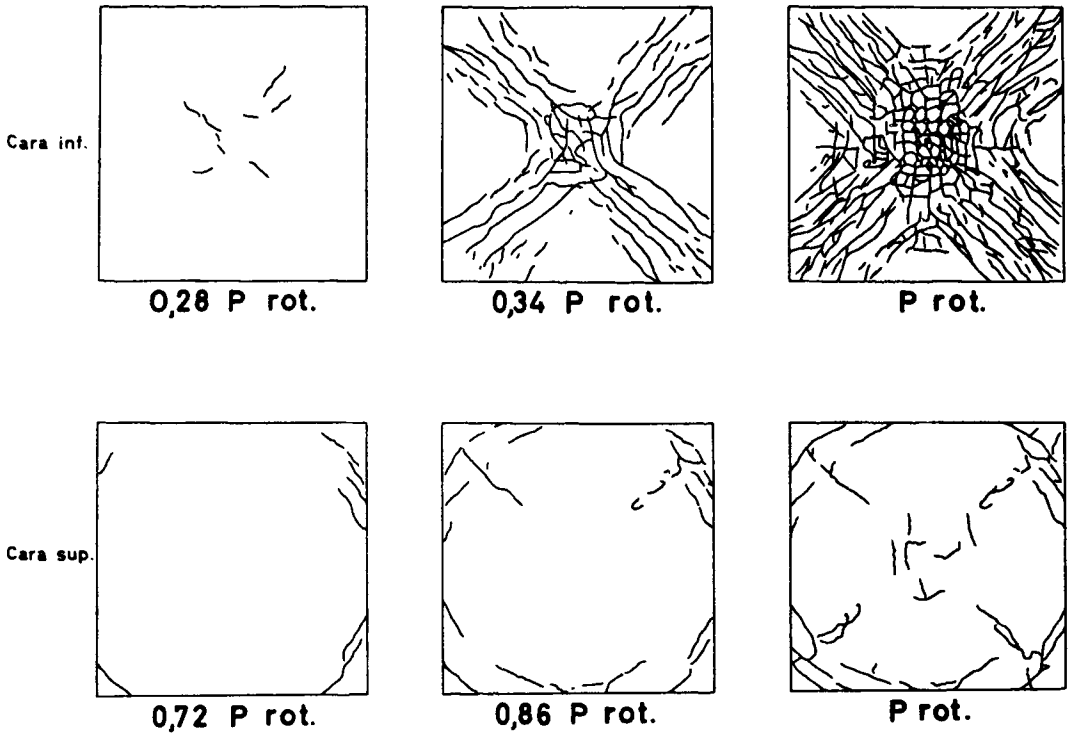


Fig. 22. Vistas de una losa cuadrada en distintos escalones de carga. Los cuatro bordes simplemente apoyados, carga uniforme. Experiencias de la Comisión Alemana para el Hormigón Armado, cuaderno 30, citados por Mörsch²¹, t. II, p. 400

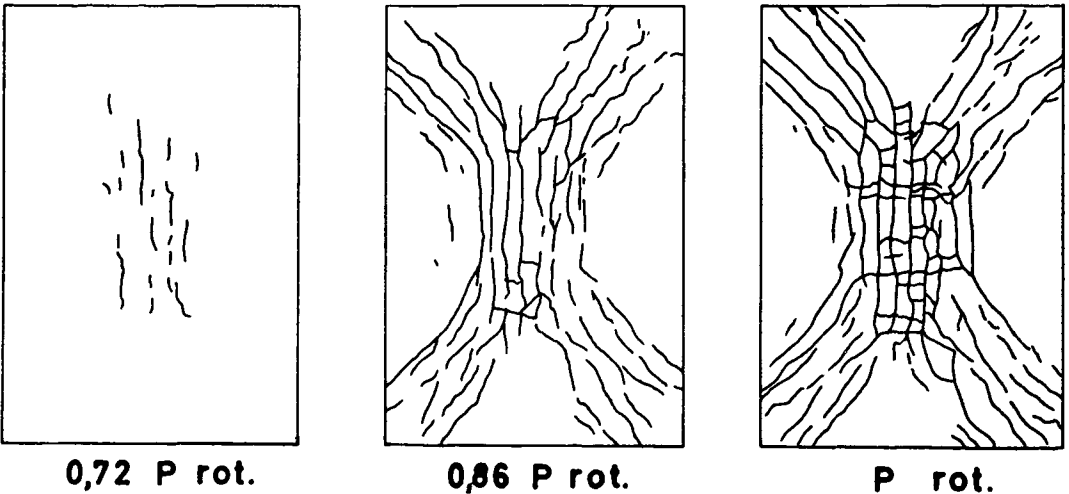
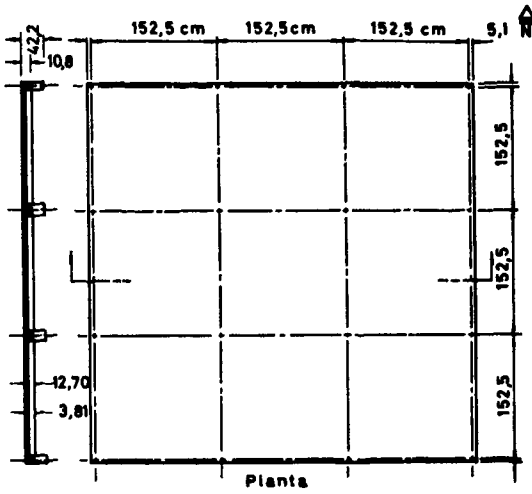
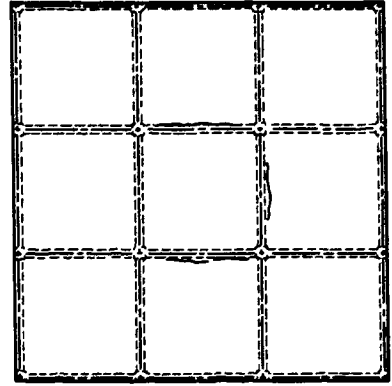


Fig. 23. Vista inferior de losa rectangular en distintos escalones de carga, los cuatro bordes simplemente apoyados, carga uniforme. Experiencias de la Comisión Alemana para el Hormigón Armado, cuaderno 56, citados por Mörsch²¹, t. II, p. 410.

cortas y muy cargadas. En general van precedidas de grietas debidas a la flexión. En muchos casos, y ya en etapas cercanas a la rotura, las grietas de

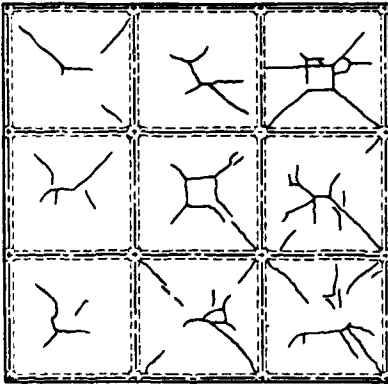


CARA SUPERIOR

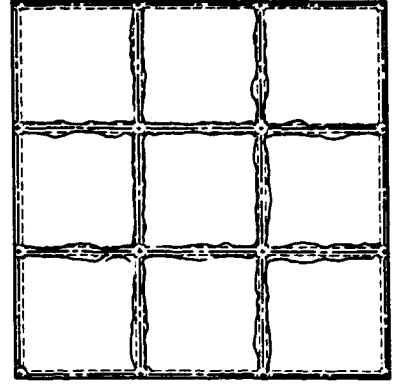


$q = 1042$

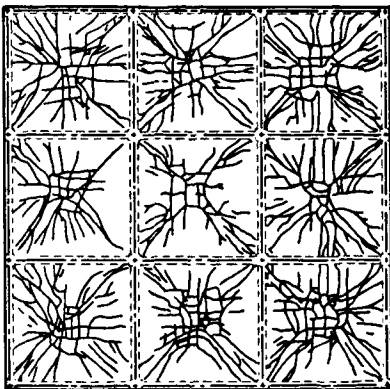
CARA INFERIOR



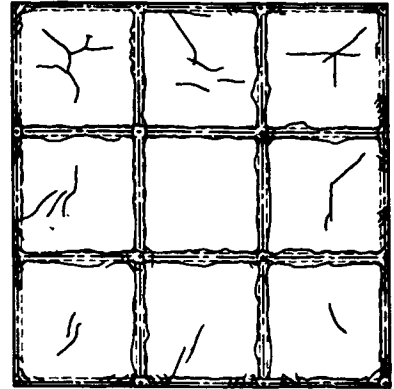
$q = 1726$



$q = 1726$



$q = 2630$



$q = 2630$

Fig. 24. Grietas de un sistema de losas continuas apoyadas en un entramado de vigas rígidas. Ensayo efectuado en la Universidad de Illinois²⁰. La carga de servicio era $q=730$ kg/m² (no produjo grietas). Los estados de agrietamiento se dibujaron para las cargas siguientes:

- Peso prop. + 2 carga útil: $q = 1042$ kg/m² (pequeñas grietas).
- Peso prop. + 4 carga útil: $q = 1726$ kg/m².
- Carga rotura: $q_m = 2630$ kg/m².

tracción diagonal van acompañadas de grietas provenientes de fallas de adherencia (especialmente si el anclaje de la armadura es corto).

En la Fig. 26 se muestran las trayectorias de las tensiones máximas de tracción. Las grietas de tracción diagonal siguen aproximadamente una trayectoria normal a las indicadas. Estas grietas tienden a cortar el eje de la viga en un ángulo de 45° y justamente comienzan a extenderse a partir del eje neutro.

La Fig. 27 muestra el desarrollo de una grieta de tracción diagonal. La grieta comienza a formarse cerca del eje neutro e irá extendiéndose hasta llegar cerca de (1) donde encontrará cierta resistencia, dado que se halla cerca de la zona comprimida. Con una mayor carga, la grieta sigue extendiéndose, y la falla sobreviene al alcanzar el punto (2); al mismo tiempo, en (3) las tensiones de adherencia han aumentado considerablemente y pueden aparecer, sobre la ubicación de las armaduras, grietas como las indicadas en (4)²¹⁻²⁷.

Para absorber las tensiones de cizalle en las vigas de hormigón armado se cuenta con la colaboración de estribos y de barras dobladas; si estos elementos faltan o son insuficientes, la viga puede fallar prematuramente por tracción diagonal. En la Fig. 28 se ven ejemplos de estos diversos casos. Conviene anotar que en ellos la capacidad máxima de carga se alcanzó con el peso mínimo de hierro. La conveniencia del empleo de hierros doblados es evidente.

En el caso de losas apoyadas directamente sobre pilares (losas fungiformes), la falla puede sobrevenir por la formación de grietas de tracción diagonal cuya inclinación es aproximadamente de 45° y que se forman alrededor de la columna (Fig. 29).

La rotura final se produce por punzonamiento al arrancar la columna parte de su apoyo en la losa. En instantes cercanos a la rotura el aspecto de las grietas es complejo, y en la cara superior e inferior de la losa es como se muestra en la Fig. 29.

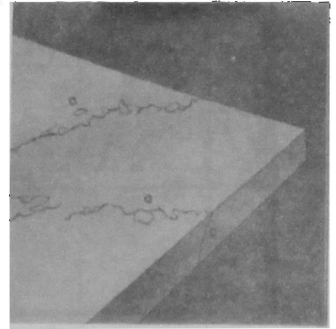


Fig. 25. Detalle de esquina de una losa rectangular simplemente apoyada en sus cuatro lados, cargada hasta la rotura. Obsérvese el aplastamiento del hormigón en (a) y la grieta de tracción diagonal (c). Ensayos del IRABA²⁰.

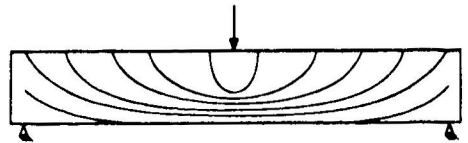


Fig. 26. Trayectoria de tensiones de tracción en una viga simplemente apoyada con una carga central.

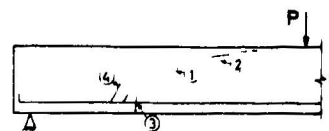


Fig. 27. Desarrollo de una grieta de tracción diagonal, según Ferguson.²²

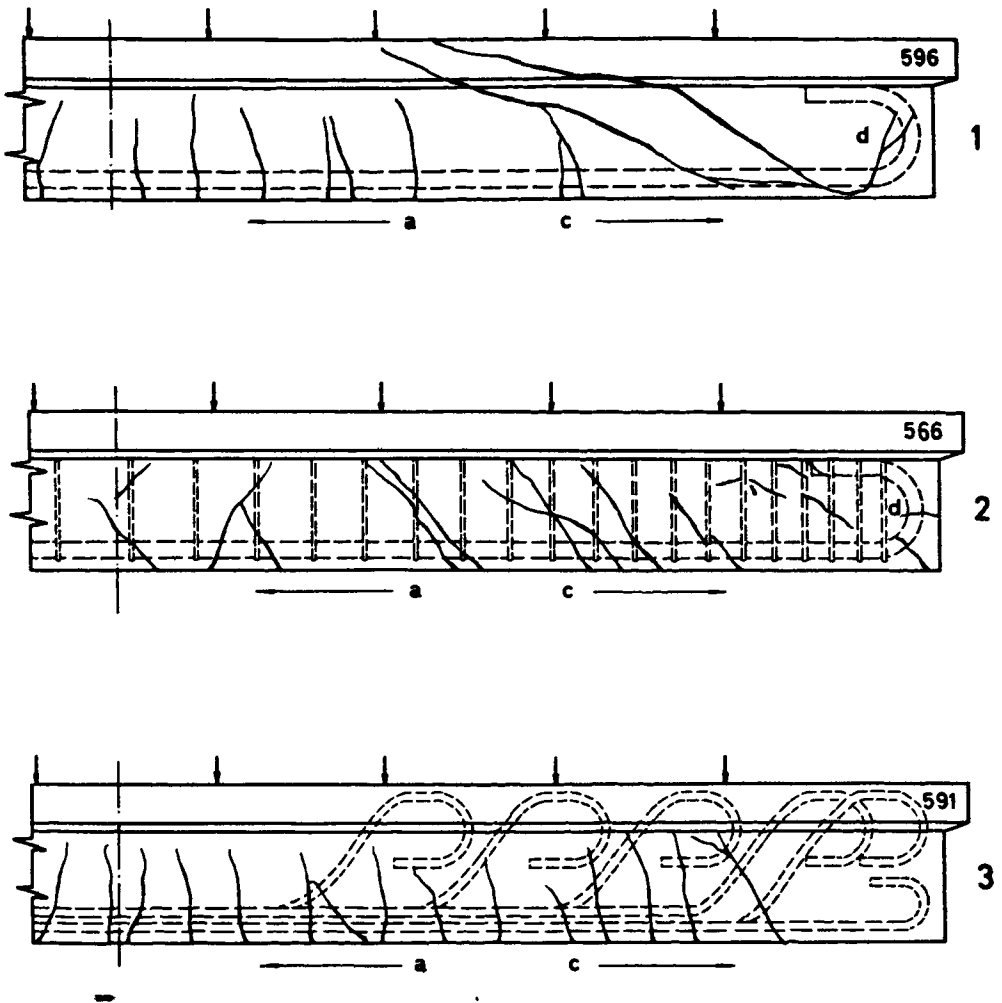


Fig. 28. Ensayos de vigas a la flexión. 1, Viga sin armadura transversal. 2, Con estribos. 3, Con barras levantadas. Las grietas *a* son de flexión, las grietas *c* de tracción diagonal y las grietas *d* (casos 1 y 2) de adherencia. Experiencias de la Comisión Alemana para el Hormigón Armado, cuaderno 20, citadas por Mörsch²¹.

Características de las grietas de tracción diagonal:

- Se producen cerca de los apoyos, donde el esfuerzo de corte es máximo.
- Se forman especialmente en vigas cortas y van precedidas siempre de grietas debidas a la flexión.
- En la fase de rotura van acompañadas de grietas provenientes de fallas de adherencia entre la armadura y el hormigón. Esto ocurrirá con mayor probabilidad si el anclaje de los fierros de la armadura es corto.
- Tienen una orientación tal que cortan el eje neutro.
- Pueden atravesar toda la altura de la viga.

Las grietas de torsión

Entre el conjunto de grietas producidas por exceso de carga, las grietas

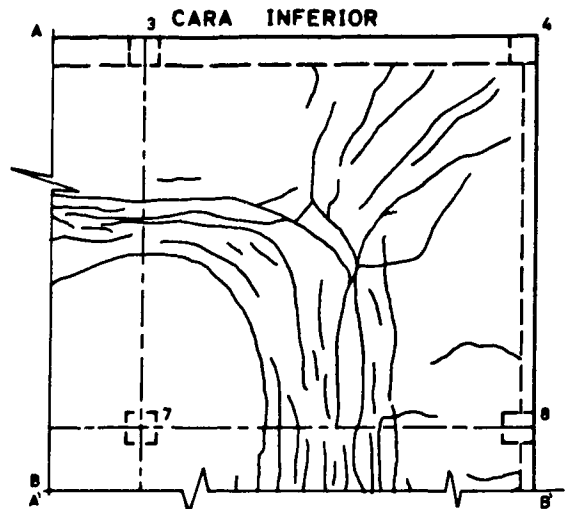
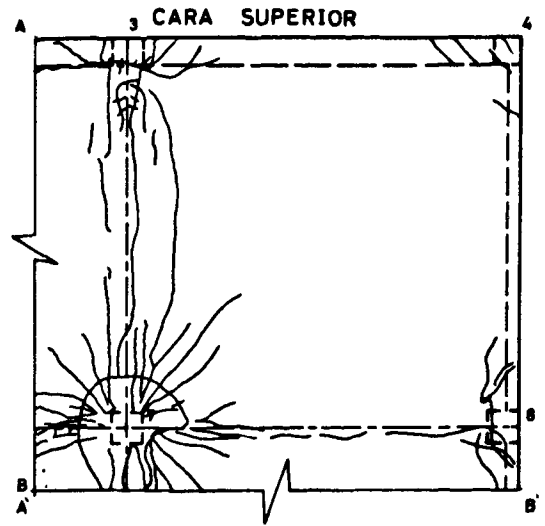
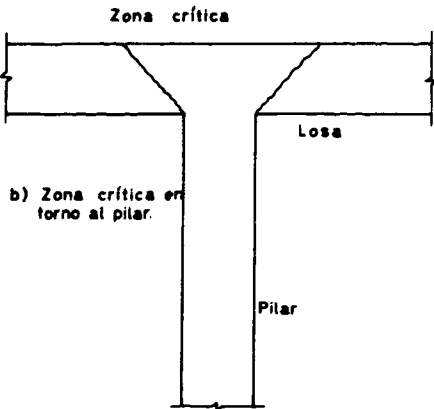
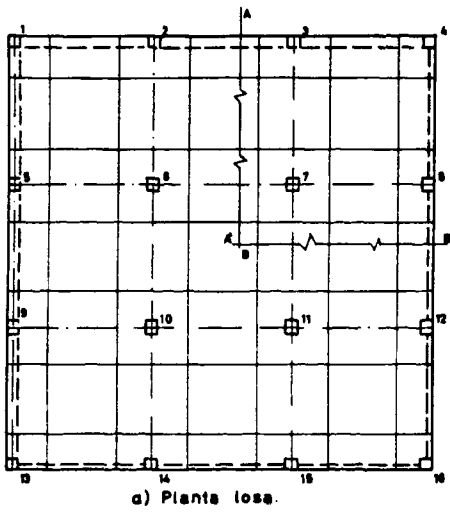


Fig. 29. Grietas en instantes cercanos a la rotura observadas en la zona indicada de una losa apoyada directamente sobre pilares. Existe una zona crítica de rotura en torno al pilar que forma un ángulo de 45° aproximadamente con el plano de la losa. En el caso de la cara superior las grietas que se producen convergen hacia el apoyo, en la cara inferior en cambio aparecen rodeándolo formando círculos concéntricos. Ensayos de la Universidad de Illinois²⁰.

de torsión son unas de las más raras. La razón de esto es que normalmente en vigas soportantes de losas los momentos de torsión (momentos secundarios con relación a los de flexión que se producen) son insignificantes.

Las grietas producidas por la torsión se presentan siempre inclinadas en un ángulo de 45° como las grietas de tracción diagonal, pero se diferencian de éstas en

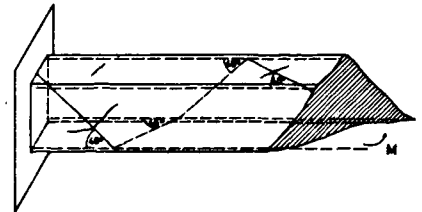


Fig. 30. Armadura y grietas en un prisma sometido a torsión.

que se continúa desarrollando a 45° en las otras caras del elemento. (Figs. 30 y 31).

Sin embargo el efecto de la torsión puede llegar a ser primario en el caso de vigas curvas, tales como las que forman la esquina de un edificio.

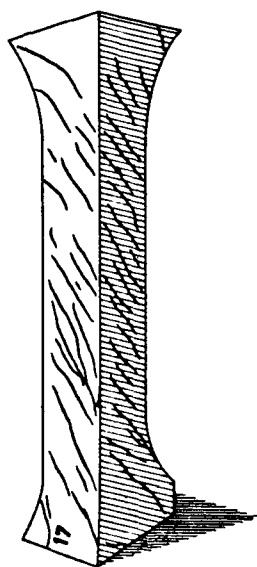


Fig. 31. Probeta sometida a torsión, después de rebasado el momento máximo. Estaba armada con 8 fierros longitudinales y hélices. Cuaderno 16 de la Comisión Alemana para el Hormigón Armado. Citado por Morsch.²¹

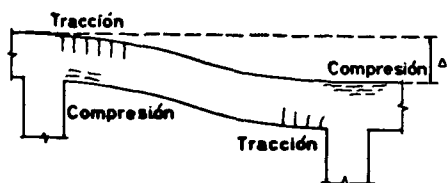


Fig. 32. Efecto del asentamiento diferencial en un elemento continuo de hormigón armado. Ante la acentuada deformación, tanto la sección de armadura como la de hormigón resultan insuficientes en diversos puntos.

La sollicitación de torsión pura tal como la hemos indicado en las Figs. 30 y 31 rara vez se presenta; es más frecuente que se presente junto a tracción diagonal. En este caso la torsión aumenta el corte en un lado de la viga y lo reduce en el lado opuesto. En el lado más sollicitado esto llevará, por lo tanto, a un agrietamiento prematuro por tracción diagonal bajo una tensión combinada.

Para absorber las sollicitaciones de torsión se pueden utilizar armaduras longitudinales y estribos o armadura en hélice.

Grietas producidas por asentamiento de apoyos

El asentamiento de apoyo de fundaciones es un accidente corriente en las estructuras. Justamente, las construcciones de hormigón, por su elevada rigidez, son especialmente sensibles a este tipo de falla.

Los asentamientos de apoyo pueden provocar alteraciones de trascendencia porque producen sollicitaciones de tracción en zonas no previstas de la estructura con lo cual se pueden generar grietas de importancia. Esto se ha explicado de una manera esquemática en la Fig. 32.

Para simplificar el análisis, dividiremos los casos en dos grupos: estructuras llenas y estructuras reticulares.

Estructuras llenas. El asentamiento se puede producir en un extremo de la estructura (Fig. 33); en este caso las grietas se localizan en la zona ubicada entre la línea de pilares que se han asentado y la del pilar que se ha mantenido en su posición.

Si el asentamiento se produce en la zona intermedia, la disposición de las grietas cambia, pero siempre se localizan entre las líneas de pilares que han cedido y los que han mantenido en su sitio (Fig. 34).

Cuando el asentamiento producido no afecta a la estructura de una manera simétrica, los diversos elementos estructurales tenderán a desviarse de la línea vertical original.

Los asentamientos que generan desviaciones de la vertical, además de plantear un problema de estabilidad mucho más serio, afectan de manera más notoria el aspecto de la estructura.

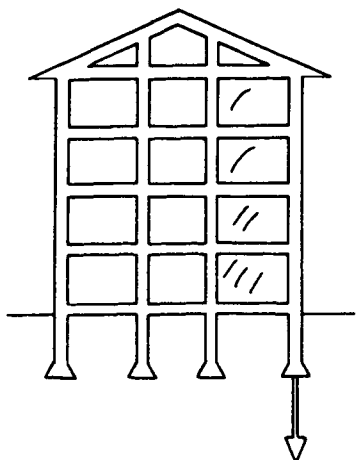


Fig. 33. Caso de una estructura llena de hormigón; se ha asentado una fundación ubicada en un extremo de la estructura. Según Mastrodicasa.²⁹

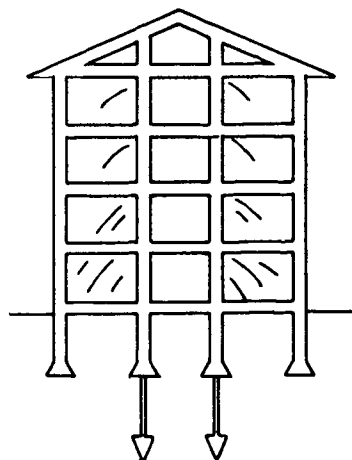


Fig. 34. Caso de una estructura llena de hormigón; se han asentado fundaciones intermedias. Según Mastrodicasa.²⁹

Estructuras reticulares. Las estructuras reticulares cuentan con una mayor flexibilidad que las estructuras llenas; en ellas, por lo tanto, el efecto de asentamiento de apoyos puede propagarse mucho más lejos.

Al producirse el asentamiento de un pilar que sustenta una viga, se producen cambios en los momentos máximos y en los esfuerzos de corte, que afectan no sólo a su magnitud sino también a su ubicación.

El asentamiento induce el mayor cambio en el apoyo que se asienta y en las vigas vecinas; en la Fig. 35 mostramos cómo influencia a los diversos elementos el asentamiento del apoyo central. El asentamiento produce también un cambio notorio, aunque relativamente menor, en los apoyos vecinos. Esto hace que los puntos de $M_{\text{máx}}$ se desplacen hacia el apoyo que se asienta; el valor de la carga transmitida hacia el suelo disminuye en el apoyo que se asienta, a la vez que aumenta en los apoyos vecinos.

Si en un caso particular se constata que bajo la acción de cargas admisibles se produce una cantidad excesiva de grietas en la parte inferior de las vigas, y la ubicación de las grietas aparece desplazada del punto teórico $M_{\text{máx}}$, y además se forman grietas cerca de los apoyos en las vigas adyacentes, tendremos sin lugar a dudas un caso de asentamiento.

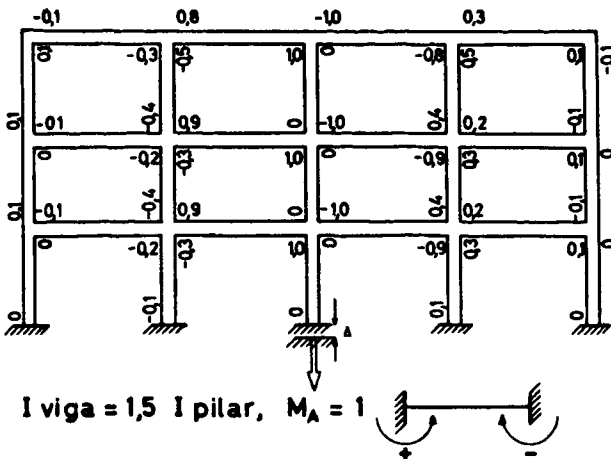


Fig. 35. Asentamiento del apoyo central en una estructura de marcos múltiples. Los mayores momentos se producen en las cercanías del elemento asentado. Los momentos en los apoyos laterales disminuyen rápidamente al alejarse de la zona afectada. En el sentido vertical, en cambio, los momentos casi no se atenúan.

desciende por falta de cuidado durante la colocación del hormigón.

La losa puede quedar tan debilitada que en algunos casos no resistirá ni el peso propio: por otro lado, el inconveniente más grave es que para su estabilidad la losa depende sólo de su único apoyo, no hay posibilidad de redistribución de esfuerzos como en el caso de una losa cruzada, en la cual uno de cuatro lados fallara. Este tipo de losa en voladizo se emplea mucho en balcones de edificios de varios pisos. Se puede prevenir este accidente

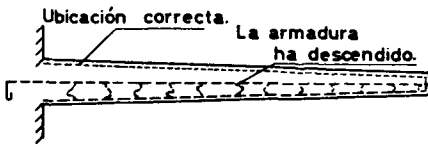


Fig. 36. Caso de una losa en que la armadura de refuerzo ha descendido debilitando su resistencia.

revisando cuidadosamente las armaduras antes del hormigonado y evitando que se transite directamente sobre ellas durante el vaciado del hormigón. Cuando existe la sospecha que se ha presentado este problema, la verificación de la situación de las armaduras puede no ser sencilla. Existe un dispositivo electromagnético, el paquímetro, que permite determinar el espesor del recubrimiento; en ciertos casos, sin embargo, resulta necesario el empleo de técnicas radiográficas.

Otro caso de grietas son las que pueden formarse en losas rectangulares en cuyas dimensiones predomine un lado. Esto hace que se conceda especial importancia a la armadura que está en el sentido de la menor longitud. Si en los planos de enfierradura se omite, por descuido, la enfierradura necesaria para absorber los momentos negativos en los apoyos más distanciados entre sí, esta omisión puede no ser advertida posteriormente por el constructor, y

Grietas por armadura mal colocada u omitida

Entre las grietas que pueden atribuirse a fallas de construcción, varias ya han sido descritas al tratar grietas atribuidas a diversas causas. En este último punto nos referiremos a las grietas producidas por una mala colocación o por deficiencias de las armaduras.

En la Fig. 36 se muestra el caso de una losa en voladizo cuya armadura ha descendido. En la práctica esto ocurre cuando la armadura, mal asegurada,

revisando cuidadosamente las armaduras antes del hormigonado y evitando que se transite directamente sobre ellas durante el vaciado del hormigón. Cuando existe la sospecha que se ha presentado este problema, la verificación de la situación de las armaduras puede no ser sencilla. Existe un dispositivo elec-

tromagnético, el paquímetro, que permite determinar el espesor del recubrimiento; en ciertos casos, sin embargo, resulta necesario el empleo de técnicas radiográficas.

de este modo, cuando se descubre la losa, pueden aparecer grietas ubicadas cerca de los apoyos y siguiendo la línea de éstos. Estas grietas, aunque no comprometen gravemente la estabilidad de la losa dañan su aspecto y, si tienen la abertura suficiente, pueden provocar la oxidación de los fierros que dejan expuestos. (Fig. 37).

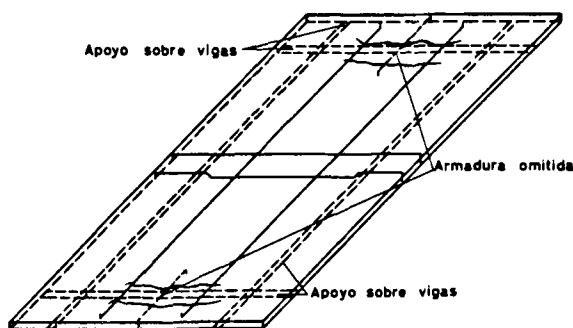


Fig. 37. Grietas en una losa rectangular por omisión de armadura para absorber momentos negativos en un apoyo.

Otra falta que puede cometerse en el caso de vigas es el doblado de la armadura en el circuito cóncavo de la viga. (Fig. 38 a). Si la armadura trabajara comprimida, no pasaría nada; pero si ante un cambio en los momentos, se presentan allí tensiones de tracción, se forma entonces una grieta como la indicada.

Los estribos que aparecen dibujados en la figura retardan la aparición de la grieta, pero no evitan su formación. En b) y c) se indican mejores soluciones para este problema.

Asentamiento de la base y otras causas, en pavimentos

Además de las grietas que se pueden producir en pavimentos cuando el hormigón está aún fresco, también, por otras causas, pueden producirse en el hormigón endurecido de pavimentos terminados. Las clasificaremos en tres tipos:

- Grietas producidas por expansión
- Grietas producidas por asentamientos del suelo natural o de la base.
- Grietas producidas en las esquinas de paños.

Grietas producidas por expansión

Si durante la estación de bajas temperaturas durante la cual el pavimento se contrae, penetran sustancias tales como arena o gravilla en las juntas de paños contiguos, entonces, al llegar la temporada en que este pavimento se dilate, la inclusión de este material extraño generará tensiones de corte que pueden llegar a agrietar el pavimento. (Fig. 39).

Estas grietas aparecen con una trayectoria tal

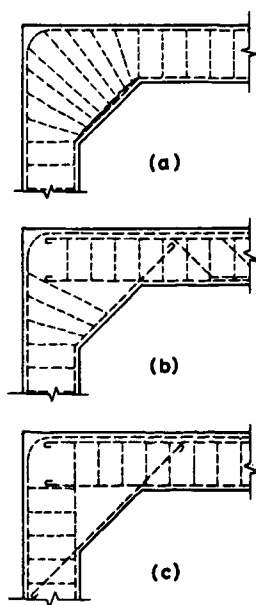


Fig. 38. Detalle de esquina en un marco. En la Fig. a) se ha doblado la armadura defectuosamente. b) y c) serían las soluciones más recomendables.

que se muestran orientadas hacia el centro de la losa. La existencia de estas grietas en un pavimento puede no provocar un debilitamiento pronunciado de éste, pero sí perjudicar su aspecto.³⁰

Grietas producidas por asentamiento del suelo natural o de la base

Este tipo de grietas se debe a fallas de diseño o de construcción. Se deben a que el pavimento o la base, o ambos a la vez, tienen un espesor insuficiente. En esta situación, la carga producida por vehículos pesados provocará en el suelo natural tensiones elevadas que éste en muchos casos no podrá resistir debidamente, asentándose ante el efecto de tales cargas. Al mismo tiempo

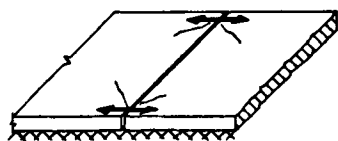


Fig. 39. Grietas producidas por expansión del pavimento y mal funcionamiento de la junta.

se generarán en el pavimento fuertes tensiones de tracción por flexión que producirán finalmente la grieta.

Las grietas debidas a las causas señaladas atraviesan toda la sección del pavimento y su ubicación en él puede ser diversa.

Una vez iniciado el proceso de asentamiento y producida la grieta, el medio más utilizado para mantener en uso el pavimento consiste en cubrir las grietas con una mezcla asfáltica, aunque, en general, el proceso continuará.

Grietas producidas en las esquinas de paños.

También este tipo de grietas se debe a fallas de diseño o de construcción. Si las esquinas han sido construidas sin armadura que preserve la continuidad entre paño y paño, y si la base permite que se acumule agua en esos puntos, el paso constante de vehículos hará que en las esquinas bajo el pavimento se produzca, por efecto de las cargas variables, un verdadero bombeo de material fino hacia el exterior y de agua hacia el interior. Esto, al proseguir dejará sin una sustentación adecuada esa zona del pavimento, con lo que, ante una carga

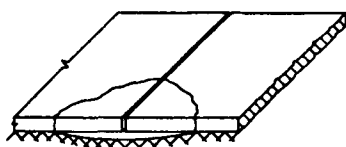


Fig. 40. Grietas en las esquinas producidas por expulsión del material fino de la base.

suficientemente elevada, se producirán en ese punto tensiones de tracción por flexión tales que agrietarán el pavimento. (Fig. 40).

REFERENCIAS

1. BUKOWSKI, B. "Morphologie des fissures dans les constructions en béton armé et béton". Symposium on bond and crack formation in reinforced concrete. Stockholm 1957, vol. II, pp. 373-399.
2. BOYD MFRCFR, L. "Classification of concrete cracks". The Commonwealth Engineer, sep-

tiembre 1946, pp. 48 - 49.

3. LERCH, W. "Plastic shrinkage". Journal of the American Concrete Institute. vol. 28, nº 8 (febrero 1957) pp. 797-802.
4. NATIONAL SAND AND GRAVEL ASSOCIATION. "Plastic cracking of concrete". National Sand and Gravel Association Engineering Information, Washington D.C. 1960.
5. ROPER, H. "Study of shrinking aggregates in concrete" National Building Research Institute, South African Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, diciembre 1959.
6. CZERNIN, W. "Cement chemistry and physics for civil engineers". Crosby Lockwood and Son Ltd, Londres, 1962.
7. ANGUITA, A; BARROS, B. "Corrosión de las armaduras en estructuras de hormigón armado". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago, 1958.
8. INDITECNOR 2.30 - 62. "Hormigones de cemento", 15 julio 1952, p. 2.
9. INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO". Instrucción H.A. 61 especial para estructuras de hormigón armado. Madrid 1961. pp. 181-195.
10. OSSA, M. "Reacción álcali-árido en el hormigón". Revista del IDIEM, vol 4, nº 2 (octubre 1965), pp. 129 - 137.
11. BLANKS, R.F., y KENNEDY, H.L. "The technology of cement and concrete". vol. I. J. Wiley and Sons, Nueva York, 1955.
12. WAUGH, W. R; RHODES, J.A. "Control of cracking in concrete gravity dams". Journal of the Power Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, vol. 85, nº PO 5, octubre 1959, pp. 1-20.
13. BRICE, L. P, y CHEFDEVILLE, J. "Résistance au feu d'une construction en béton armé. Observations après incendie et réfections". Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics". diciembre 1959, pp. 1370-1389.
14. PERCY TAYLOR, C., y TURNER, L. "Reinforced concrete chimneys". Concrete Publications, Londres 1960.
15. JOISEL, A. "La rupture du béton en compression". Revue des Matériaux marzo 1954, (citado por Bukowski).
16. SALIGER, R. "El hormigón armado". Traducción de la 7a edición austriaca. Ed. Labor. 1957.
17. RICHART, F.E., DRAFFIN, J.O., OLSON, T.A., y HEITMAN, R.H. "The effect of excentric loading, protective shells, slenderness ratios, and other variables in reinforced concrete columns". University of Illinois, Bulletin Engineering Experiment Station. Bulletin Series nº 399, 1948.
18. HOGNESTAD, E. "A study of combined bending and axial load in reinforced concrete members". University of Illinois, Bulletin Engineering Experiment Station. Bulletin Series nº 399, 1948.
19. STEINMANN, G.A. "La théorie des lignes de rupture. Principes généraux, exemples d'utilisation pratique, comparaisons expérimentales". Comité Européen du Béton, Bulletin d'Information, nº 27, (septiembre 1960).
20. COMITE EUROPEEN DU BETON. "Applications de la théorie des lignes de rupture aux calculs de resistance en flexion". Bulletin d'Information nº 35, (marzo 1962).
21. MÖRSCH, E. "Teoría y práctica del hormigón armado". Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1948, Tomo II.
22. FERGUSON, P. "Reinforced concrete fundamentals". Wiley, 1958. pp. 133-139.
23. HOGNESTAD, E. "What do we know about diagonal tension and web reinforcement in concrete? A historical study". University of Illinois Bulletin Engineering Experiment

Station. Circular Series nº 64, 1952.

24. PADUART, A. "Résistance du béton armé a l'effort tranchant". Dunod 1947, Paris.
25. GASTON, J.R.; SIESS, C.P. y NEWMARK, N.M. "An investigation of the load deformation characteristics of reinforced concrete beams up to the point of failure". Civil Engineering Studies, Structural Research Series nº 40, University of Illinois, Urbana, Illinois, diciembre 1952, reimpresión de junio de 1959.
26. FERGUSON, P.M. y THOMPSON, J.N. "Diagonal tension in T- beams without stirrups". Journal of the American Concrete Institute, vol. 28, nº 2 (agosto 1956), pp. 157-172.
27. FERGUSON, P.M. "Some implications of recent diagonal tension tests". Journal of the American Concrete Institute, vol. 24, nº 7 (marzo 1953), pp. 665-675.
28. RAUSCH, F. "Drillung (Torsion), Schub und Scheren im Stahlbetonbau". Deutscher Ingenieur - Verlag Gm b H, Dusseldorf, 1953.
29. MASTRODICASA, S. "Dissesti statici delle strutture edilizie. Diagnosi e consolidamento". Ulrico Hoepli. Milán, 1958.
30. YODER, F.J. "Principles of pavement design". Wiley, 1959, pp. 62-63.

Moisés PIÑEIRO
Ingeniero, Sección Investigación
de Hormigones del IDIEM