

La profundidad de la zona que no cambió de color puede transformarse en un índice de resistencia, si se considera la edad del hormigón: un hormigón de 60 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días acusó una carbonatación del orden de 2 mm al cabo de 6 años; en cambio, un hormigón de 100 kg/cm<sup>2</sup> a la misma edad puede tener 5 cm o más, lo que lo incapacita para dar la protección adecuada al acero.

El control de carbonatación se debe hacer sobre el hormigón recién quebrado y, como se ha indicado, es posible usar otros indicadores de pH. Todo el cuadro de corrosión electroquímica se agrava cuando el hormigón de recubrimiento se rompe; las sales, la humedad y la temperatura aceleran el proceso. Son críticas las grietas de 0,1 mm o más de abertura en exteriores, y de más de 0,3 mm en interiores no expuestos a ambientes agresivos.

### 3. Defectos de ejecución

Se producen también fisuraciones que no son explicables desde el punto de vista estructural. Se trata de fisuras que en un comienzo no quedan aparentes, pero que cualquier aumento de tensiones en la pieza estructural las hace aparecer. Es muy frecuente que el origen de estas fisuras se encuentre en lo que se ha calificado como "defectos de ejecución". Hay ocasiones en que las instalaciones de servicios se ubican perforando elementos estructurales sin que se hayan dispuesto los refuerzos correspondientes 3/, o bien por error se ubican las juntas de trabajo coincidiendo con las secciones más solicitadas por el sismo.

### 4. Calidad del refuerzo

El comportamiento del refuerzo de acero frente al efecto del sismo, lo mismo que sus defectos dinámicos y alternativos, depende de su adherencia con el hormigón, los traslajos de las barras y su correcta ubicación, así como de la forma adecuada. Es importante que se respete el tipo de acero especificado en el diseño: aceros más resistentes de lo necesario alteran la prevista ductilidad de las estructuras.

#### a) Adherencia

La adherencia del hormigón a la armadura se ve afectada por la falta de limpieza de la barra al momento de hormigonar, por escasez de conglomerante en el hormigón, por compactación insuficiente del hormigón y, finalmente, por el agua libre exudada que se acumula bajo las barras (véase la Fig. 16). Esta adherencia es disminuida también por la acción de altas temperaturas que dilatan más al acero que al hormigón, por deterioro del hormigón o por corrosión del acero.

#### b) Traslajos y anclajes

En los empalmes por traslajos (solape) las armaduras deben cruzarse en una longitud que depende de su diámetro y del tipo de acero, según se especifica en las normas correspondientes. Estas normas establecen también la longitud de anclaje en las regiones comprimidas.

3/ Requisitos de código de construcción para hormigón armado ACI-318-71 del American Concrete Institute (EE.UU.).

Cuando se revisan edificios dañados por sismos, es muy frecuente encontrar que las armaduras de las vigas no llegan hasta las columnas o que los refuerzos de pilares no penetran suficientemente en la cimentación. En la figura 18 se muestran detalles del Comentario al Reglamento ACI (American Concrete Institute) que dimensiona en función del diámetro de las barras, de la distancia de la fibra comprimida hasta la armadura, el momento y el esfuerzo de corte.

Algunas veces, lo que se mira como una muy pequeña diferencia en la colocación o distribución de las barras es la distancia entre el éxito y el fracaso de una estructura. La figura 19 muestra el caso de barras mal colocadas en el muro (corte en planta). La longitud de anclaje se anula cuando se desalinea la barra de armadura dentro de la pieza estructural. En este punto, cuando se tensa la barra en el esfuerzo sísmico, salta la capa de hormigón de recubrimiento. La figura 20 muestra el caso de una columna, una de cuyas barras de armadura vertical se encuentra desalineada en su anclaje con el cemento. Todo esto muestra que hay que aprovechar toda posibilidad de observar detalles de forma y ubicación de las armaduras, tipo de acero y amarres en los puntos en que las barras queden descubiertas y, si es necesario, hay que descubrir armaduras en las zonas fisuradas para comprobar su situación.

### c) Ubicación de las armaduras

Para la primera inspección es necesario recordar algunas formas típicas de refuerzos en algunos de los elementos más corrientes, sin pretender detallar todas las alternativas que puede presentar el hormigón armado, sólo con la intención de destacar la importancia que tiene el detalle del dibujo del plano de armaduras, la especificación escrita y la inspección técnica durante la ejecución.

#### i) Losas

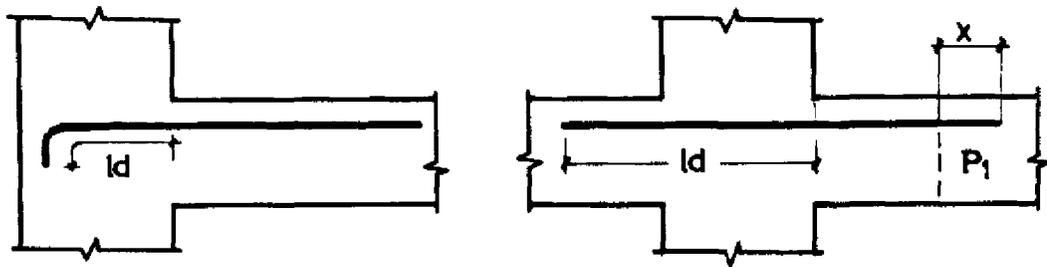
Las losas armadas en un sentido tienen una armadura principal y barras de repartición, cuya disposición se muestra en la Fig. 21, en que la armadura principal queda más próxima al borde de la sección.

En las losas con armadura cruzada, es preciso que los planos indiquen claramente cuál de ellas es la principal. En todo caso, la longitud de los puentes es mayor en la armadura principal, que se ubica más próxima al borde de la sección.

Deberá siempre recordársele al personal de faena que, al colocar las barras de refuerzo de los voladizos, éstas deben ir en su parte superior, como se muestra en la Fig. 22.

Tiene importancia la ubicación de las armaduras en las ménsulas cortas, en que se disponen barras especiales para resistir el esfuerzo de corte.

Las losas de fundación llevan armaduras en forma inversa a las losas corrientes, ya que la presión de trabajo viene desde abajo. Lo mismo vale para los voladizos de estas losas, como se muestra en la figura 23.



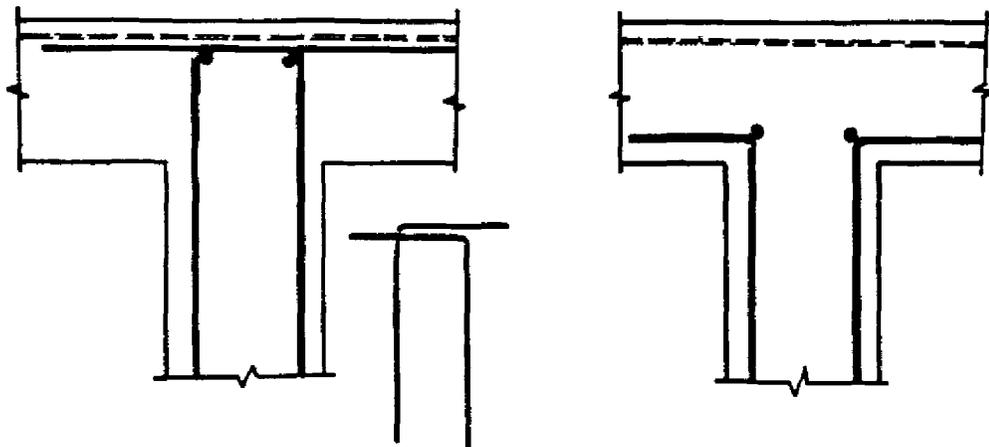
A una columna exterior

En vigas adyacentes

$x = \text{mayor valor entre } d, 12 d_b \text{ ó } ld/16$

$P_1 = \text{inflexión diagrama de momentos}$

Fig. 18. LONGITUD DE ANCLAJE



Correcto

Incorrecto

Fig. 19. MUROS EN PLANTA

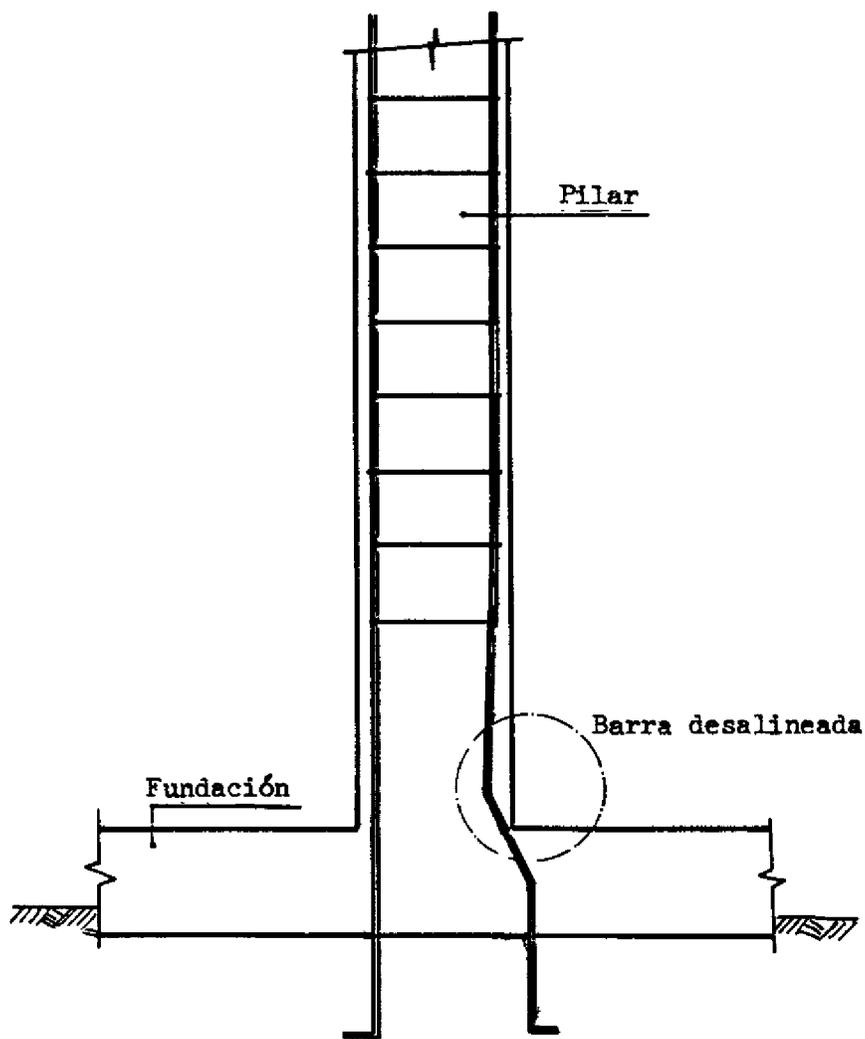


Fig. 20. ARMADURA VERTICAL DESALINEADA

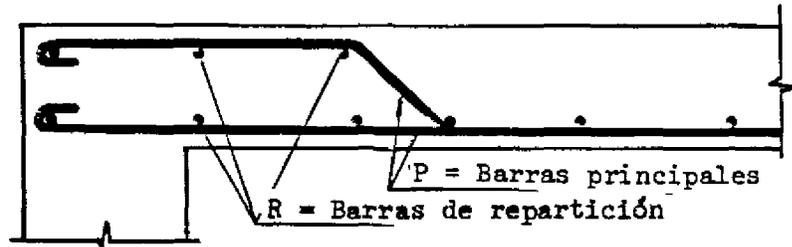


Fig. 21. LOSA SIMPLEMENTE ARMADA

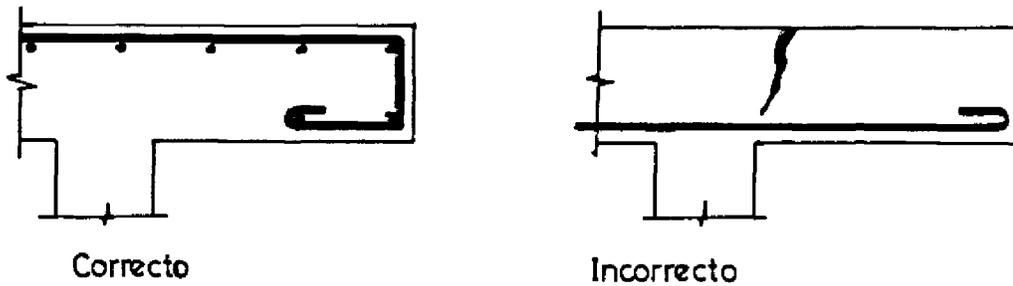


Fig. 22. ARMADURAS DE VOLADIZOS

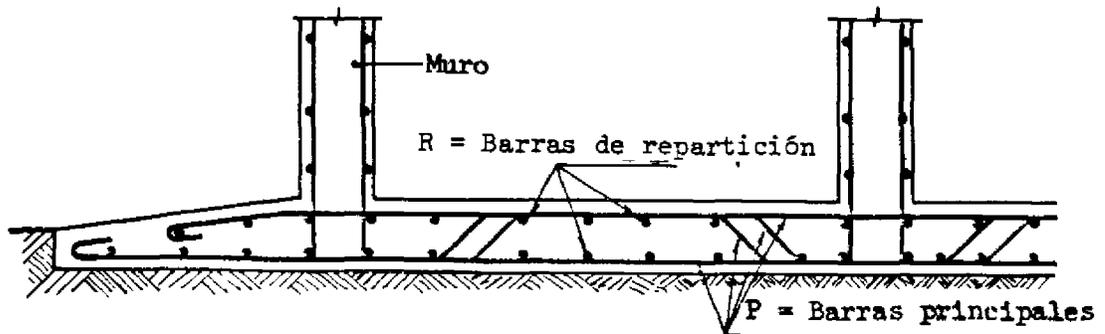


Fig. 23. ARMADURAS DE LOSAS DE FUNDACION

## ii) Muros

En los muros corrientes, que no tienen presiones laterales, las armaduras horizontales se ubican al exterior como lo muestra la Fig. 24. En los muros sometidos a presión lateral, como en estanques y piscinas, la disposición de las armaduras puede ser diferente, siendo corriente colocar las verticales más próximas a las superficies quedando los horizontales en el interior. En la Fig. 25 se muestra el caso de un muro de contención. Las barras horizontales deben abrazar las armaduras verticales de borde en la forma en que se señala en la figura 26, situación que es válida para extremos de muros y bordes de vanos.

## iii) Columnas

Las armaduras de los pilares son sencillas. Al igual que en vigas y muros, es necesario cuidar la disposición de estribos y refuerzos en los encuentros.

En la Fig. 27 se representa el diseño de las armaduras al producirse la disminución de sección en un pilar. Es necesario hacer notar que los estribos siguen al interior del elemento de anclaje y que es recomendable disminuir la distancia entre ellos. Se pueden aceptar desalineamientos de hasta 8 cm con pendiente 1:6 y con sus refuerzos correspondientes. En la Fig. 28 se presentan diversos casos de angostamientos que también podrían aplicarse a muros.

## iv) Encuentros

Los encuentros de muros y pilares con vigas deben quedar solucionados en forma similar a lo que se muestra en la Fig. 29.

## v) Desplazamiento de barras y amarres

La tolerancia en la ubicación de las barras es función del espesor del elemento: para 20 cm o menos es de  $\pm 5$  mm; entre 20 y 60 cm es de  $\pm 10$  mm; y para miembros de más de 60 cm es de  $\pm 15$  mm.

Cuando las armaduras están mal amarradas se desplazan durante la compactación del hormigón, como suele comprobarse al inspeccionar elementos que fallaron en un sismo. Los estribos de columnas se acumulan en sus bases o, por lo menos, no están en el lugar en que más se les necesita (Fig. 30).

Es útil disponer de información sobre la frecuencia y tipo de los amarres que se emplean. Estos amarres se hacen con alambre retorcido de 1,2 a 1,5 mm de diámetros (Figs. 31 y 32).

La cantidad de amarres en una losa debe ser, por lo menos, de tres puntos para cada barra y en todas las intersecciones con barras perimetrales o a distancias del orden de 100 diámetros con un mínimo de 1,5 m. En el caso de muros se respetan las indicaciones de tres puntos por barra en cada 3a. o 4a. intersección, o a 50 ó 60 diámetros con un mínimo de 0,9 m.

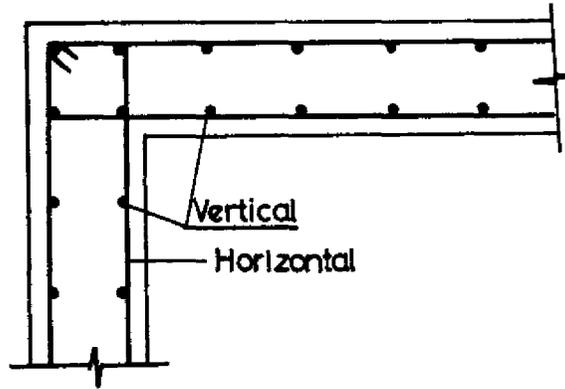


Fig. 24. MURO SIN PRESION LATERAL

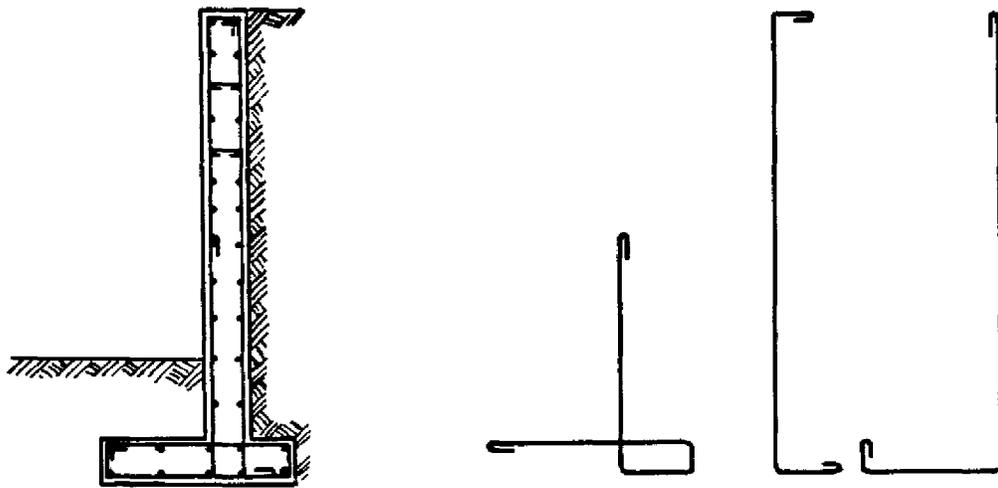


Fig. 25. MURO DE CONTENCIÓN

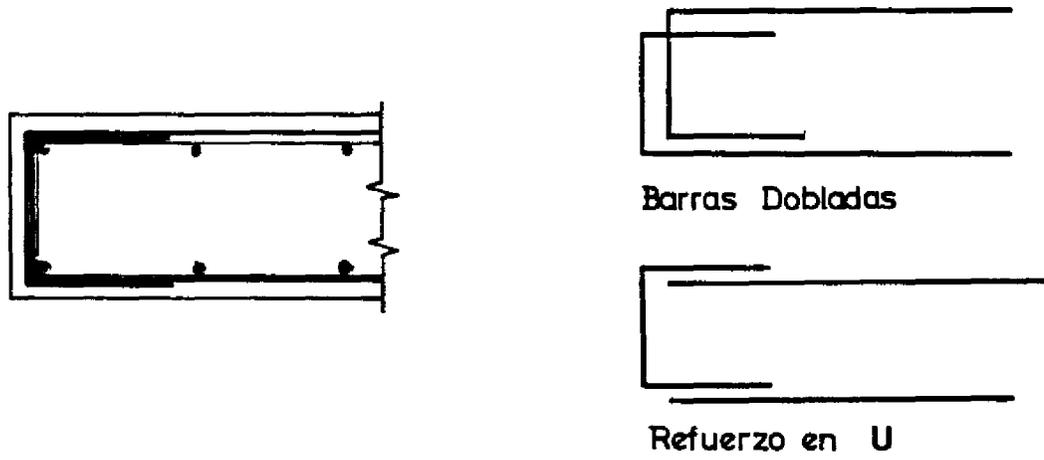


Fig. 26. ARMADURAS EN EXTREMOS DE MUROS

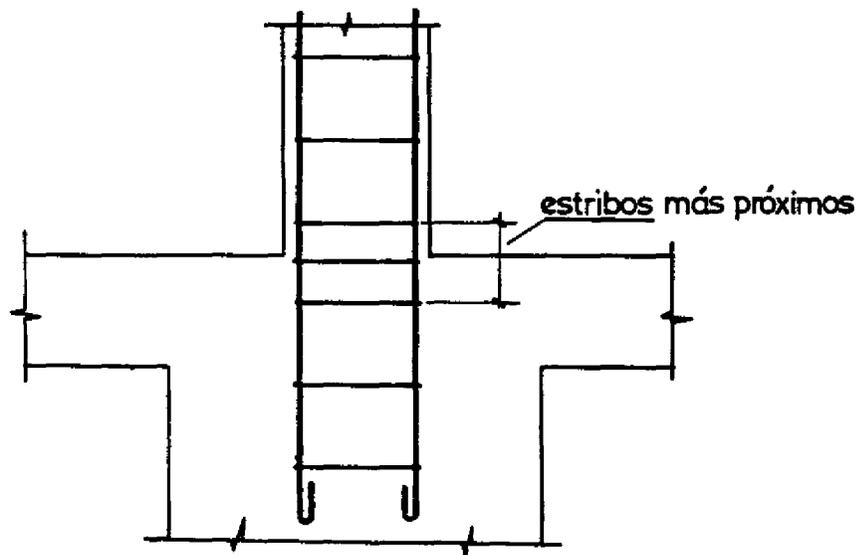
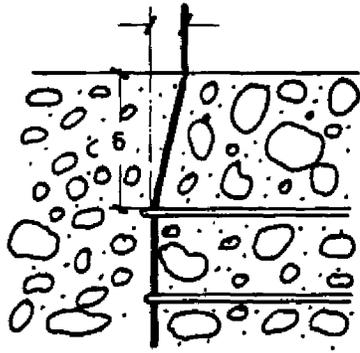
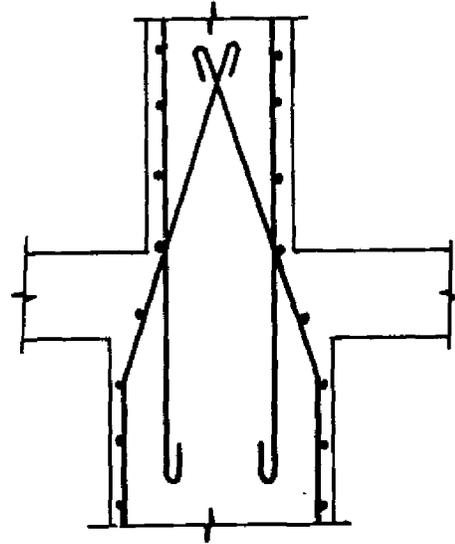


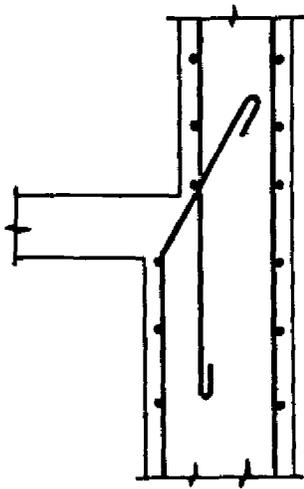
Fig. 27. DISMINUCION DE SECCION DE UN PILAR



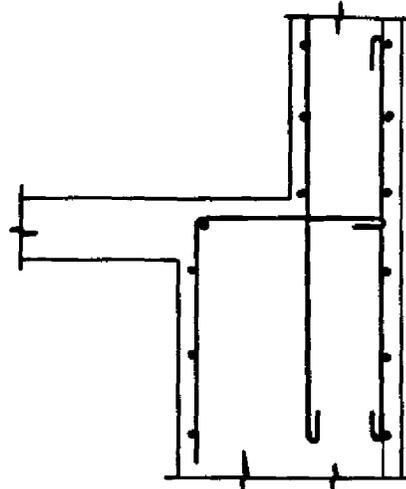
Diseño de desalineamiento



Ensanche al eje

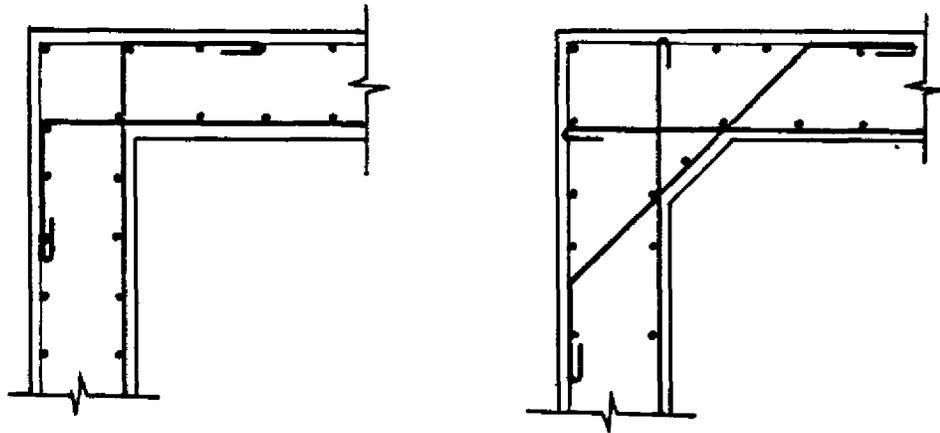


Ensanche con plomo fijo

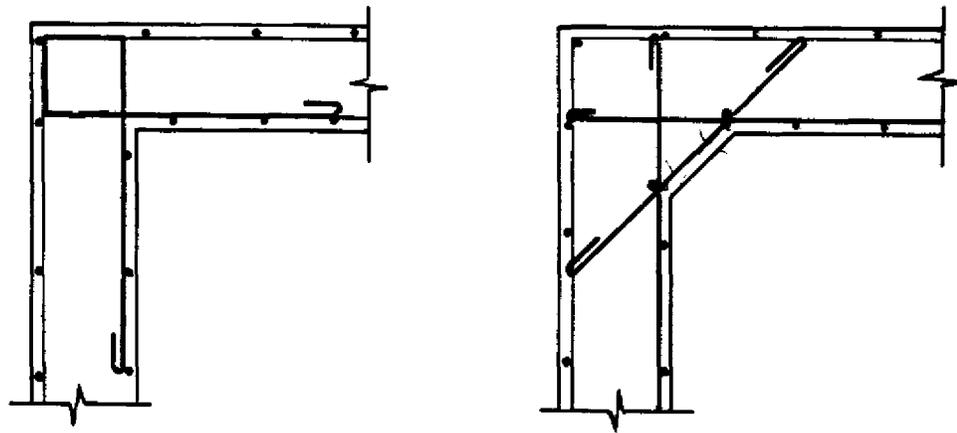


Ensanche con plomo considerable

Fig. 28. ESQUEMAS DE ENSANCHES



Elementos corrientes con refuerzo anclado en zona de compresión



Caso de estanques fosos y construcciones similares donde los encuentros deben ser herméticos

Fig. 29. ENCUENTROS DE MUROS Y PILARES CON VIGAS

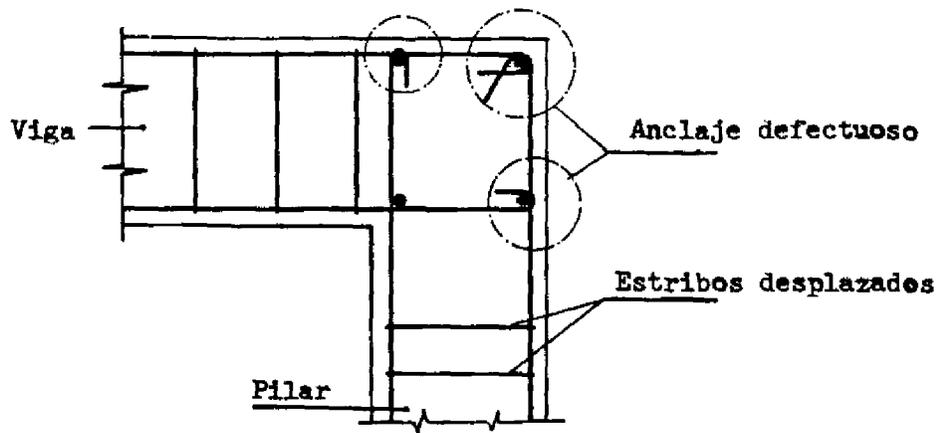
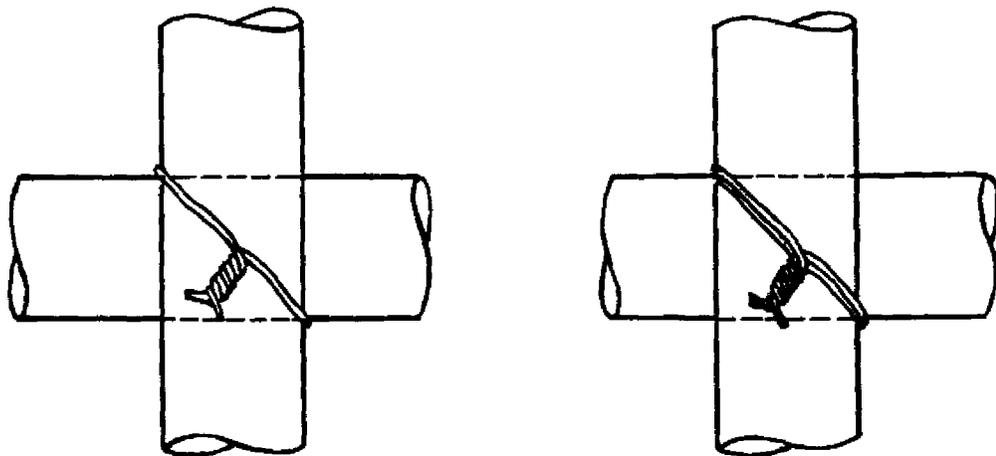


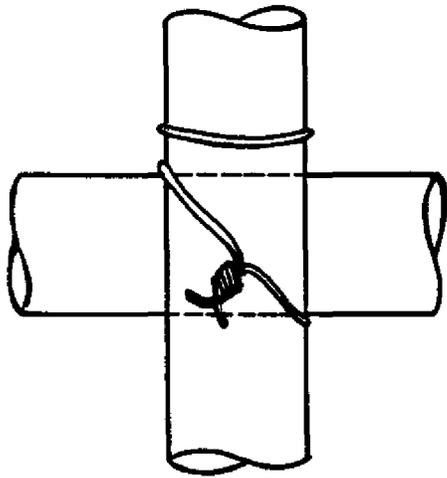
Fig. 30. ARMADURAS MAL AMARRADAS Y DESPLAZADAS



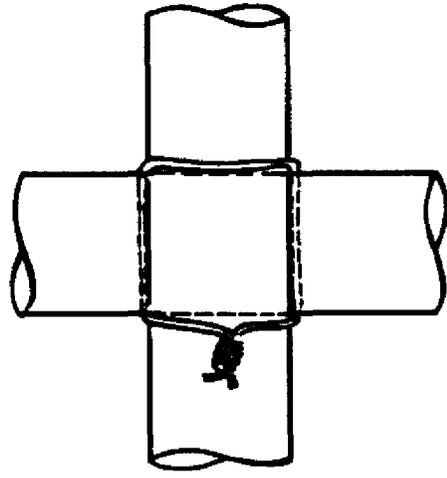
Amarre simple o rápido

Amarre simple con doble alambre

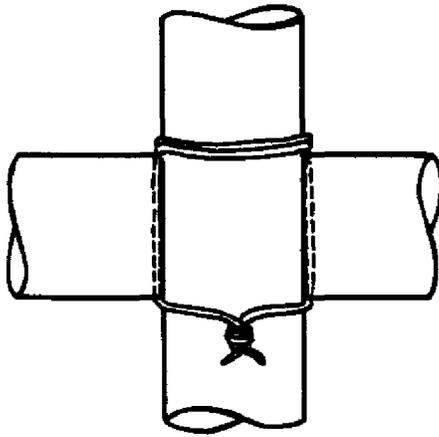
Fig. 31. DOS TIPOS DE AMARRES



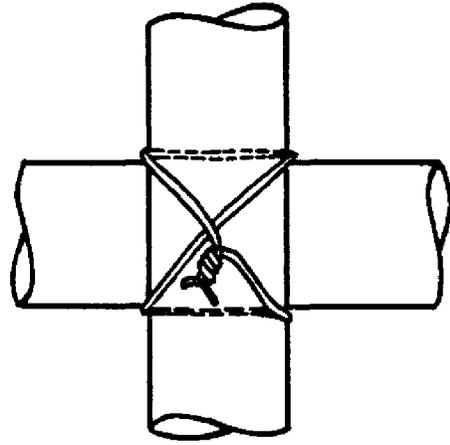
Amarre para muros



Amarre montado



Amarre montado con alambre retorcido



Amarre cruzado en forma de ocho

Fig. 32. CUATRO TIPOS DE AMARRES

#### D. Albañilerías

Al analizar los defectos que se observan en las albañilerías de ladrillos se hace referencia aquí en general a las de ladrillos de arcilla cocidos, ya que son las más comunes y los problemas que se observan en ellas son casi siempre los mismos que aparecen en los bloques de mortero u otros elementos de mampostería.

La grieta típica de la albañilería recorre las juntas de mortero, pasa por abajo del ladrillo y sobre la mezcla de conglomerante, sin cortar las piezas (véase la Fig. 33). Esto se explica por la menor resistencia del mortero y por la debilidad de la superficie superior de éste, lugar donde se acumulan finos y líquidos exudados disminuyendo su capacidad de adherencia. En este sentido influye mucho la calidad de la mano de obra, ya que la adherencia, la resistencia y la estabilidad volumétrica del mortero varían según la técnica de colocación. Obviamente, esta forma de fisuración típica se alterará si la pieza de albañilería es más débil que el mortero de pega o cuando mortero y ladrillo ofrecen igual resistencia al esfuerzo solicitante. Las grietas en la albañilería son originadas por diversas causas que fueron enumeradas y clasificadas anteriormente en este capítulo (secc. A).

Los agrietamientos ocasionados por errores de diseño pueden producirse, entre otros, en uniones de piezas (uniones de materiales de rigidez diferente), por variaciones bruscas de secciones, y por la falta de previsión sobre los efectos de las contracciones hidráulicas o térmicas y de la fluencia del material. Se han observado igualmente numerosas fallas por el cambio de rigidez de las estructuras en albañilerías que fueron consideradas como simple elemento de relleno no estructural.

El ladrillo hueco de arcilla con paredes de cerámica de alta calidad puede resultar muy frágil ante la sollicitación sísmica. Los ladrillos de mayor espesor, que tienen la evidente ventaja de aumentar la productividad en la construcción, producen una mayor concentración de esfuerzos en la unión de mortero. Es necesario considerar la compatibilidad de deformaciones cuando estos materiales se utilizan como rellenos rígidos de estructuras flexibles o reciben el efecto de asentamiento diferenciales de los suelos.

Los defectos principales de ejecución se originan en el maltrato mecánico de las albañilerías frescas: interrupciones de la faena (por ejemplo, cortes a media altura), excesiva velocidad al levantar la pared, relleno deficiente en las uniones verticales entre ladrillos o en contacto con el hormigón armado y en el curado defectuoso en los primeros períodos de fragüe.

Cuando las estructuras están en uso, aparecen los efectos de bajas temperaturas y abrasiones si el material no está adecuadamente protegido y, especialmente, suelen producirse alteraciones con graves consecuencias cuando los usuarios abren vanos a través de las albañilerías. Las grietas aparecen principalmente donde hay cambios bruscos de sección y en las trabas o uniones con el hormigón armado. También son frecuentes las roturas por esfuerzos de corte.

La albañilería reforzada con elementos de hormigón armado tiene un comportamiento heterogéneo y anisótropo; al ser de materiales diferentes, reacciona diferencialmente según sea el sentido del esfuerzo. El conjunto está compuesto por

hormigón armado, piezas de albañilería y mortero. La albañilería misma se comporta prácticamente como un hormigón simple y su resistencia a la compresión es aceptable, pero su resistencia a la tracción y al esfuerzo de corte es baja. La mayoría de las fallas se originan debido a que la albañilería no puede seguir el movimiento impuesto por la estructura de hormigón armado (véase la Fig. 34). Cuando se trabaja con ladrillos huecos de mayor dimensión y paredes muy delgadas, se observa rotura frágil por pandeo en los tabiques de cada pieza.

Generalmente las roturas de los paños de albañilería no tienen significación desde el punto de vista de la resistencia estructural. Por ello es una sana medida fijar a priori, en forma controlada, la ubicación de las grietas en el fondo de canterías o bajo elementos secundarios, para evitar el efecto de intranquilidad que estas fallas producen sobre los ocupantes de las viviendas. En estructuras bien estudiadas, se pueden predecir y establecer los sitios en que aparecerá la fisura.

Es frecuente que falle el endentado en la línea de unión entre la albañilería y el pilar de hormigón armado. En Chile se deja una traba de medio ladrillo, la cual se rellena posteriormente con el hormigón del pilar, pero usualmente el relleno de hormigón posterior no llega a llenar totalmente el hueco. Esto origina un esfuerzo extraordinario por parte del elemento de ladrillo durante el sismo o en caso de asentamientos del terreno. El método constructivo es malo por esta razón y algo se mejora cuando el endentado se reduce a un tercio de ladrillo (véase la Fig. 35).

Puede mejorarse el comportamiento de la albañilería mediante la introducción de elementos verticales de hormigón armado, que la refuerzan y le dan ductilidad. Por razones estéticas o atendiendo a determinados sistemas constructivos, se ha tratado de reemplazar esta solución tradicional por tensores verticales que van por el interior de la albañilería (pilar simulado), o quedan a la vista al exterior. Luego de un sismo las inspecciones han mostrado que estos elementos no trabajan en el momento en que son más necesarios, ya que por lo general no están perfectamente alineados, ni tienen la tensión previa necesaria para responder correctamente a una sollicitación dinámica de tracción (véase la Fig. 36).

En todo caso, no hay duda que la mayoría de las fallas de elementos de albañilería se producen cuando no existen los refuerzos necesarios para resistir el esfuerzo horizontal. Es común que el sismo produzca la caída de elementos estructurales débiles o difíciles de sustentar, como frontones, antepechos partes libres de las chimeneas y algunos ornamentos. Estas situaciones son fáciles de prever y evitar por los proyectistas cuando tienen un claro concepto del fenómeno sísmico y su influencia en el comportamiento general de un edificio.

#### E. Adobes

Cuando se inspeccionan obras de adobe luego de un sismo se encuentran fallas debidas a una falta total de control en el proceso de diseño, construcción y uso de este material, y priman los errores por ignorancia que son propios del sistema de construcción espontánea.

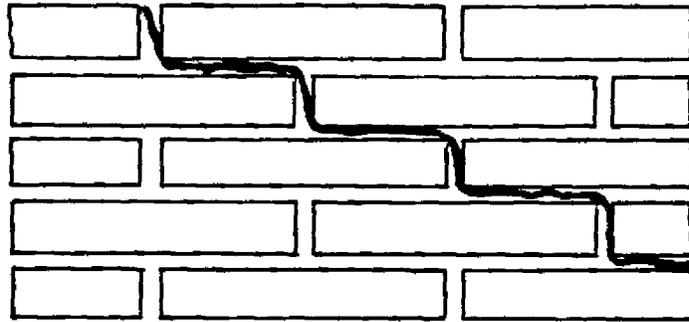


Fig. 33. GRIETA TIPICA DE ALBAÑILERIA

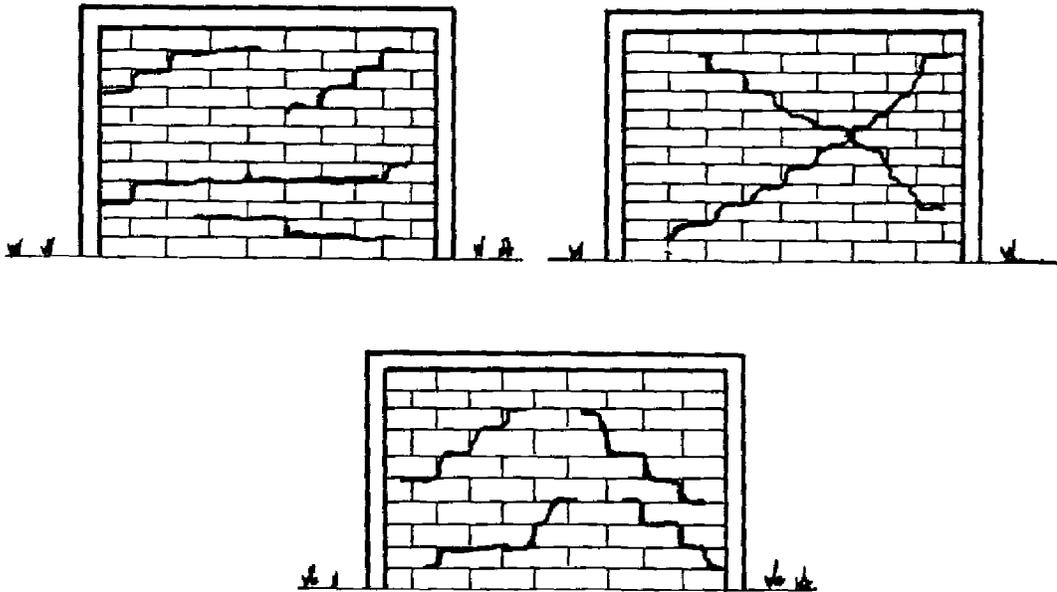


Fig. 34. GRIETAS TIPICAS DE ALBAÑILERIA REFORZADA

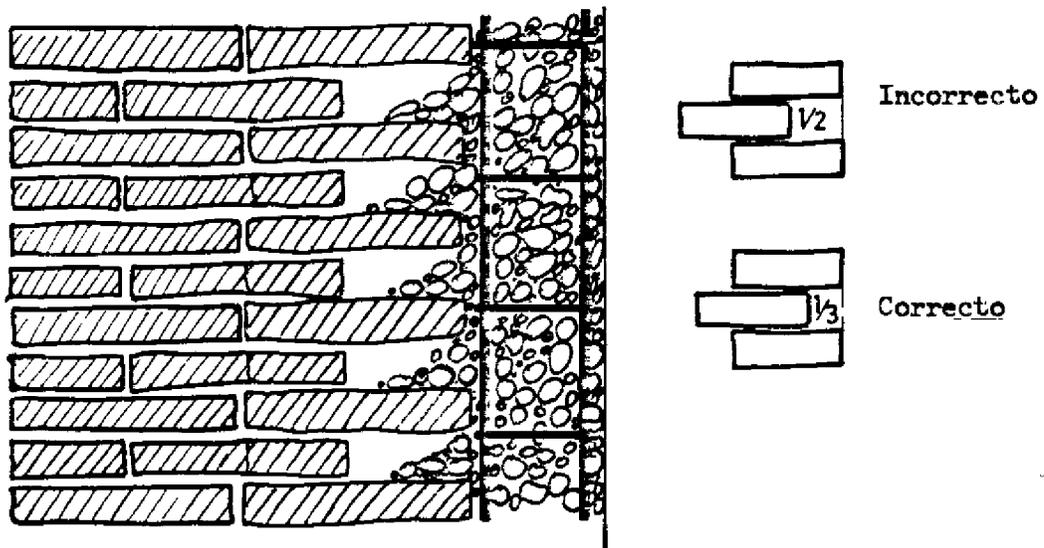


Fig. 35. UNIONES DE ALBAÑILERIA Y PILAR

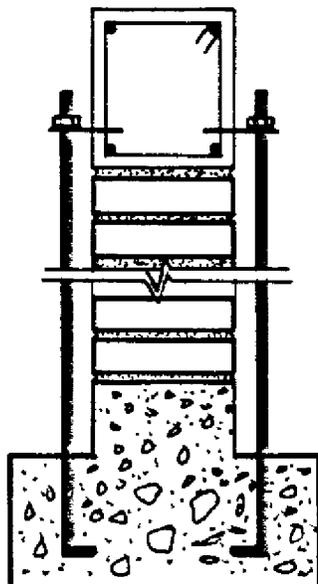


Fig. 36. ARMADURA TENSADA EXTERIOR

Las deficiencias más comunes son las siguientes: primera, no hay fundación o su profundidad y ejecución son muy deficientes; segunda, no se ha considerado la importante función de la fundación como protección del muro contra la humedad del suelo (ascensión capilar); tercera, mala traba de los adobes; cuarta, no existen elementos de amarre de la estructura (cadena de barro al menos); quinta, la distancia entre pilares, cruces de muros o contrafuertes es excesiva; sexta, excesiva superficie de vanos (puertas y ventanas); séptima, distancia excesiva entre vanos y cruces o encuentros de muros; octava, no existe suficiente cantidad de muros transversales que resistan el esfuerzo horizontal del mismo; novena, el peso del techo es excesivo; décima, el apoyo del techo es deficiente; undécima, la dimensión de los aleros es insuficiente para proteger los muros de la lluvia; duodécima, los elementos de frontón o tímpano están mal unidos a las estructuras; decimotercera, la altura de piso a cielo raso es demasiado grande o se construye en más de un piso; decimocuarta, escaso empotramiento de dinteles en los muros.

Cabe hacer las siguientes observaciones relativas a la calidad del adobe con material: primera, uso de suelo inapropiado, mala proporción de material estabilizador y/o exceso de agua en la fabricación; segunda, dimensionamiento inadecuado, especialmente un excesivo espesor de los adobes.

Las fallas de construcción son predominantemente las siguientes: primera, adobes muy frescos; segunda, falta de relleno en las juntas verticales; tercera, deficiente mano de obra en la colocación de los adobes, que se refleja en la mala calidad geométrica del muro (desviaciones o desplomes); cuarta, construcción en época de lluvias, sin las protecciones adecuadas; quinta, elevación muy rápida de los muros, provocando asentamiento en las hiladas inferiores.

La acción de los usuarios consiste generalmente en adición de sobrecargas imprevistas (materiales apoyados contra los muros), falta de mantenimiento de las protecciones exteriores necesarias, cambios en la estructura y adición de nuevas construcciones con mayor rigidez que la original.

La revisión primaria de la obra de adobe debe tener en cuenta todos los aspectos enumerados anteriormente.