

filosofía del código; el propietario con razón la calificará de equivocada.

Concluimos en la importancia que tiene en el diseño sismo-resistente dar consideración a todas las medidas tendientes a reducir los daños secundarios y las pérdidas económicas. Es importante considerar estos aspectos en el refuerzo estructural de edificaciones existentes, pues de las consideraciones anteriores y del grado de protección que se desee, dependerán el sistema resistente y los elementos de refuerzo que se adopten.

METODOS DE REFUERZO ESTRUCTURAL

Existen diferentes formas para reforzar un edificio de concreto reforzado dañado por un sismo o un edificio existente al que se desea proporcionarle mayor resistencia y mejorar su comportamiento ante sollicitaciones sísmicas:

- # Aumentando la sección de vigas y columnas (Fig.6), y adicionando acero de refuerzo para incrementar la capacidad resistente. Se debe confinar debidamente el concreto mediante aros y estribos para aumentar la ductilidad.
- # Disponiendo elementos diagonales en los ejes de columnas para formar un sistema de arriostramiento en el cual los elementos están sometidos principalmente a fuerzas axiales.
- # Disponiendo muros estructurales (Fig.8 y 9) para formar un sistema resistente a cargas laterales a base de muros de corte acoplados a los pórticos existentes.
- # Construyendo un sistema resistente exterior, dispuesto en el perímetro del edificio, unido a éste mediante diafragmas
- # Una combinación de los métodos anteriores: refuerzo de ciertos elementos e inclusión de muros estructurales o elementos de arriostramiento.

El primer método requiere en general el refuerzo de la mayoría de los elementos que forman parte del sistema resistente, su ejecución consume más tiempo y su costo puede resultar elevado. Por otro lado, no cambia esencialmente el sistema y, aun cuando aumenta ligeramente su rigidez, puede seguir siendo vulnerable a sufrir daños secundarios de consideración.

El segundo método depende de la efectividad de las conexiones de los elementos de arriostramiento a los nudos viga-columna difíciles de construir y sujetas a errores de ejecución; los elementos diagonales y elementos verticales sometidos a cargas axiales son vulnerables a sufrir falla frágil por pandeo.

El tercer método de refuerzo mediante la inclusión de muros estructurales es generalmente más expedito y sencillo de realizar, y el costo es menor. Tiene la ventaja que modifica el sistema existente a un sistema compuesto de mayor rigidez, que a su vez es menos vulnerable a sufrir daños secundarios.

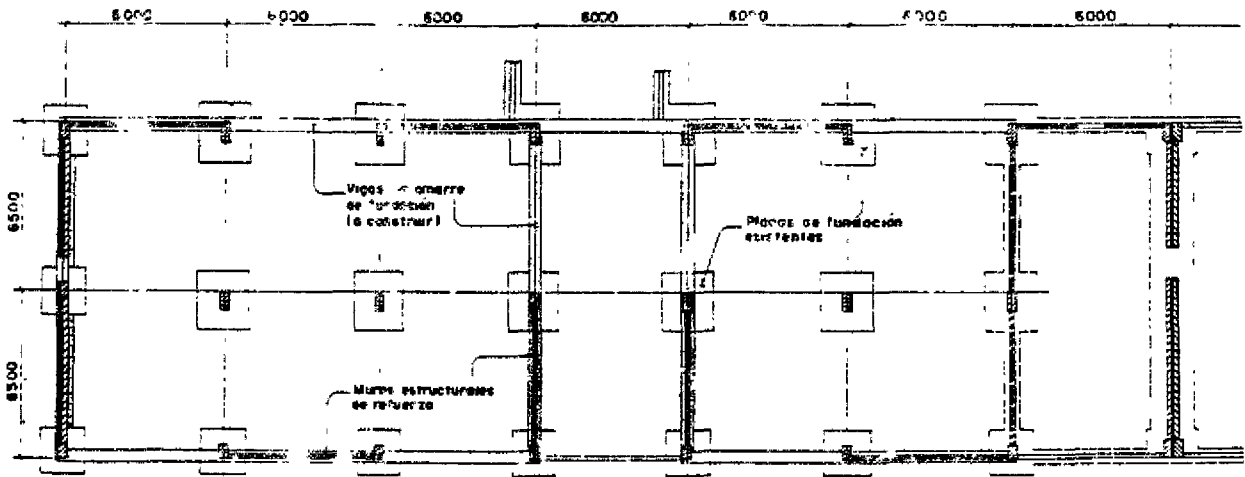
El autor, por las razones expuestas en los capítulos anteriores, ha preferido el refuerzo estructural de los edificios mediante la incorporación al sistema resistente de muros estructurales. Estos tienen la ventaja que rigidizan el sistema, disminuyen los desplazamientos laterales, mejoran el comportamiento sísmico y contribuyen a limitar los daños secundarios.

Disposición y diseño de los muros estructurales

Para lograr un sistema resistente eficiente, que muestre buen comportamiento sísmico, es necesario disponer los muros en forma simétrica para evitar los efectos de torsión en planta. Obviamente, esto no es siempre fácil de realizar, pues los muros deben disponerse en tal forma que no interfieran sustancialmente con el funcionamiento y cumplan con las exigencias arquitectónicas del edificio. Debe existir un número adecuado de muros en los dos sentidos ortogonales, preferiblemente dispuestos en la periferia del edificio, pues tienen en esta forma mayor brazo de palanca para resistir los momentos de torsión (Fig.7 y 8).

En general, el diseño de los muros propiamente no presenta problema, el diseño de las fundaciones, en cambio, merece consideración especial debido a los grandes momentos de volcamiento inducidos por sismo. Los muros que no coinciden con ejes de columnas requieren una fundación relativamente grande y costosa, ya que no les tributa suficiente carga gravitacional para compensar la excentricidad producida por los momentos de volcamiento. Es preferible disponer los muros en los ejes entre dos columnas pues en esta forma se aprovechan las placas de fundación existentes (Fig.7 y 9) para transmitir los momentos de volcamiento; la carga axial en las columnas contribuye a disminuir la excentricidad debida a los momentos de volcamiento. Cuando la dimensión de las placas no es suficiente y las presiones en el suelo sobrepasan los valores admisibles, se debe aumentar el tamaño de las mismas construyendo una sobreplica. Momentos de volcamiento muy grandes obligan a construir vigas de amarre de fundación (Fig.9 y 18) que contribuyen a transmitir el momento a las columnas y placas opuestas.

El refuerzo en los muros consta de una doble malla de varilla de acero (Fig.10 y 11) para tomar los esfuerzos de cortante, y en los extremos se dispone el acero requerido para tomar las fuerzas de tensión (Fig.14). El refuerzo de las columnas existentes puede ser aprovechado para este fin, y cuando la demanda es superior, se adiciona acero (Fig.17).



PLANTA DE FUNDACIONES

Fig.9 Refuerzo sísmico del Hospital Nacional de Niños, San José, Costa Rica. Planta de fundaciones con indicación de muros estructurales y vigas de amarre.

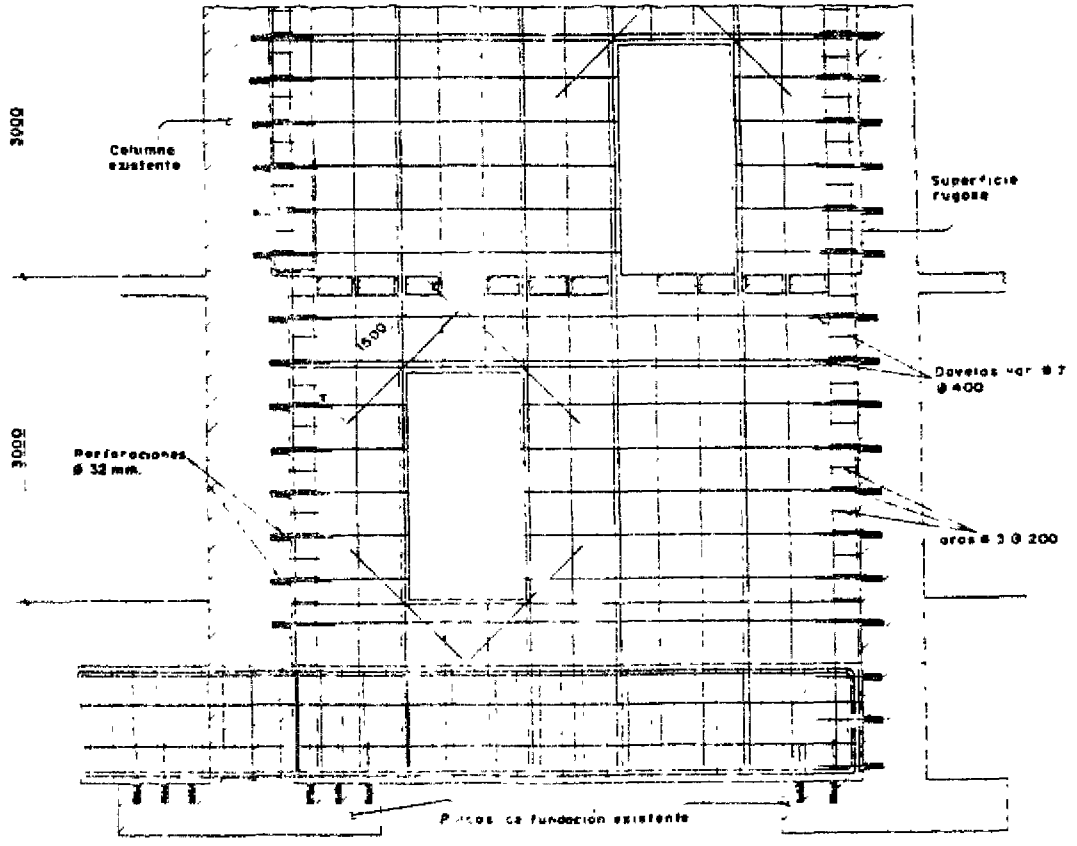


Fig.10 Detalle típico del refuerzo de muros estructurales y de las aperturas para puertas y ventanas.

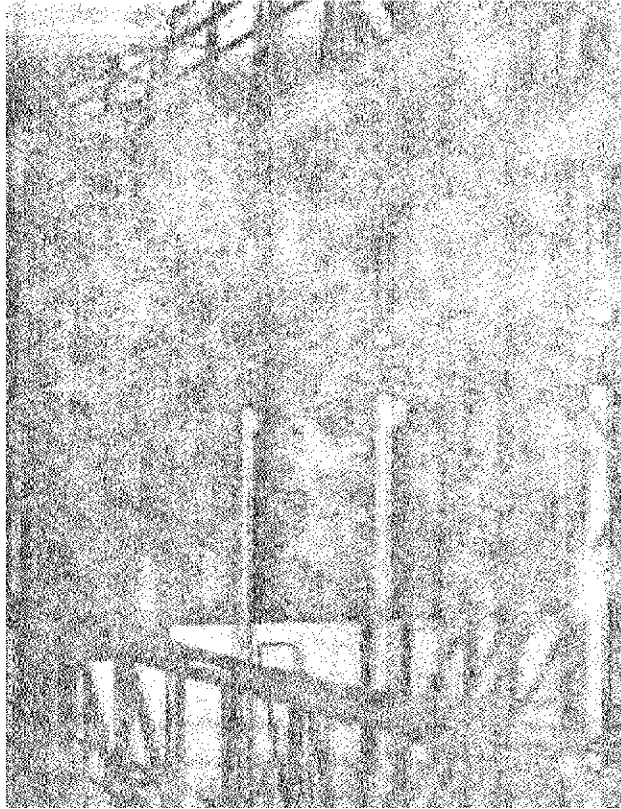


Fig.11 Refuerzo típico de muros estructurales. Hospital Nacional de Niños, San José, Costa Rica.

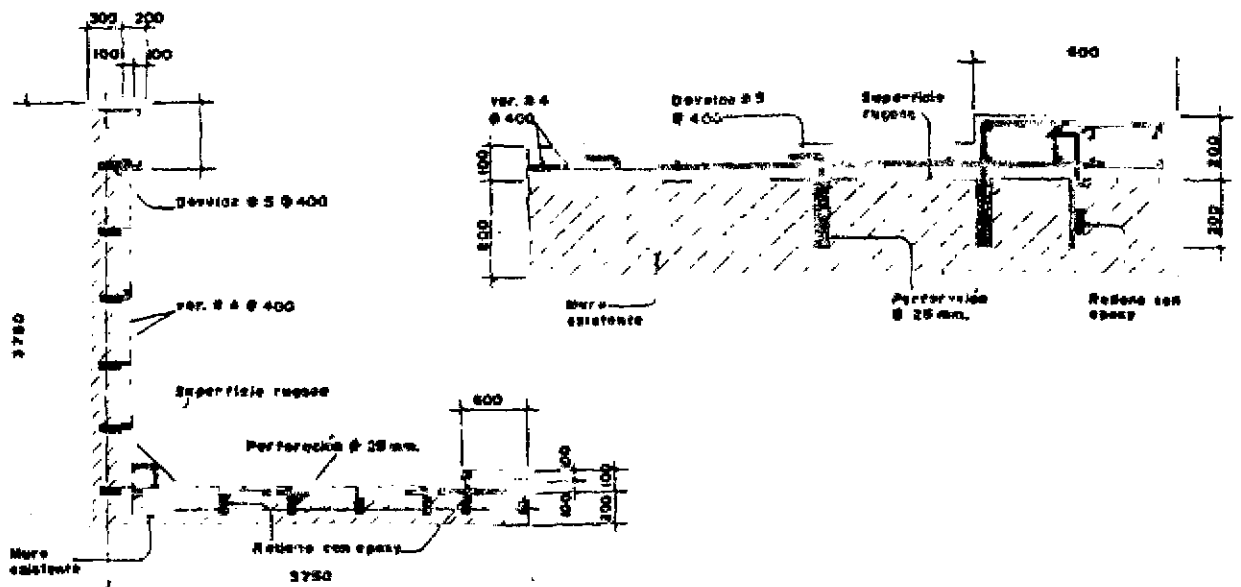


Fig.12 Detalle típico de conectores de acero a muros de concreto existentes.

Detalles de ancla y conexión

Los muros deben quedar integrados al sistema resistente existente. Para ello se emplean conectores y anclajes apropiados (Fig.12 a 15). La superficie de concreto de columnas y vigas en contacto con los muros, debe ser martelinada para crear una superficie rugosa para mejor adherencia. Antes de colar el concreto fresco, las superficies deben ser limpiadas cuidadosamente, removiendo material suelto, saturándolas con agua.

Para la transmisión de los esfuerzos de corte se emplean con preferencia conectores de acero (Fig.12 y 13); el número, espaciado y diámetro de los conectores está dado por los requerimientos del cálculo. Un tipo de conector frecuentemente usado es el indicado en las figuras 14 y 15. Las perforaciones en el concreto se realizan con taladro eléctrico o neumático de alta potencia; su diámetro es de 25 mm o mayor con una profundidad de aproximadamente 150 mm.; el conector es generalmente varilla de refuerzo deformada # 5 a # 8 y su longitud es tal que sobresalga aprox. 40-50 cm para anclaje; la perforación se rellena con material epóxico o con mortero de muy baja retracción; el conector se introduce en la perforación con el mortero aun fresco para garantizar que el espacio de la perforación quede debidamente llenado.

Continuidad del acero vertical

El acero de refuerzo vertical que toma las fuerzas de tensión debidas a los momentos de volcamiento, debe tener continuidad desde la fundación hasta el nivel superior (Fig 16). Cuando los momentos no son grandes y en edificios bajos el acero existente en las columnas resulta ser suficiente para tomar la tensión; en este caso la continuidad está asegurada. En caso contrario se amplía la sección de columna y se adiciona acero de refuerzo (Fig.17).

Cuando el muro coincide con el propio eje de columna y viga, es difícil lograr continuidad vertical a través de las vigas; en estos casos se disponen las varillas de refuerzo alrededor del núcleo de la columna existente (Fig.17), y pasan a través de la losa de entrepiso. El concreto de recubrimiento de la columna se remueve hasta despejar los aros y el refuerzo vertical existente, dejando una superficie rugosa para mejorar la adherencia. Las varillas verticales deben tener suficientes aros para confinamiento del concreto.

Es conveniente que las varillas verticales de la malla de refuerzo sean continuas; esto puede presentar también dificultad cuando la viga interfiere con el paso de las varillas, por lo que conviene desplazar el muro en tal forma que al menos en una malla se asegure la continuidad vertical (Fig.16).

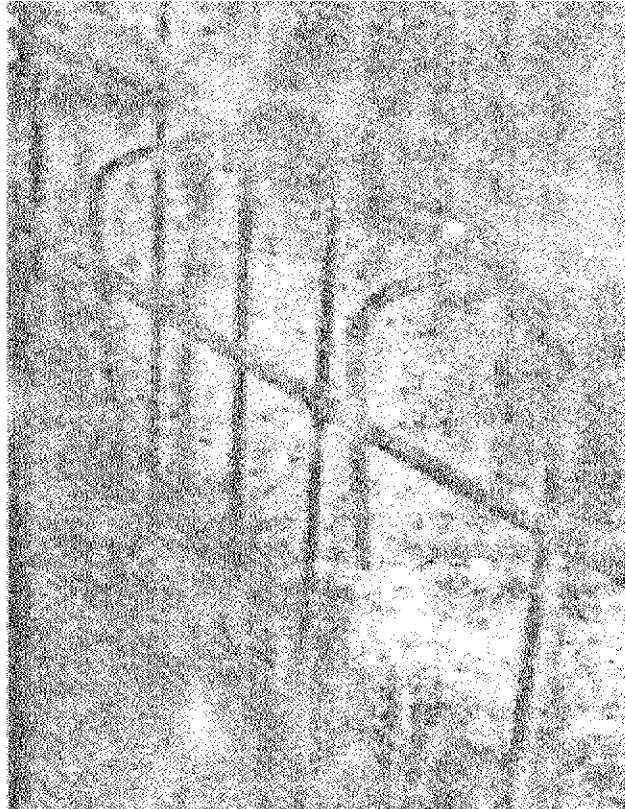
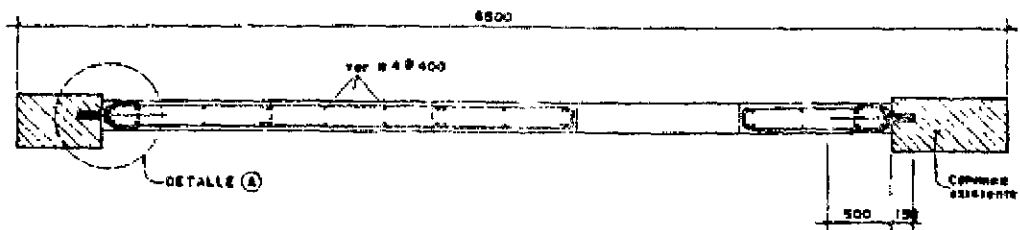
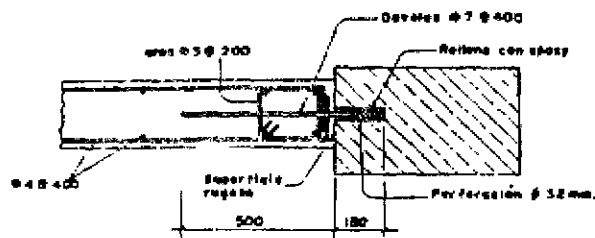


Fig.13 Detalle típico conectores a muro existente. Hospital Nacional de Niños, San José, Costa Rica.



MURO ESTRUCTURAL DE REFUERZO



DETALLE (A)

Fig.14 Detalle típico de conectores entre muro estructural y columnas existentes.

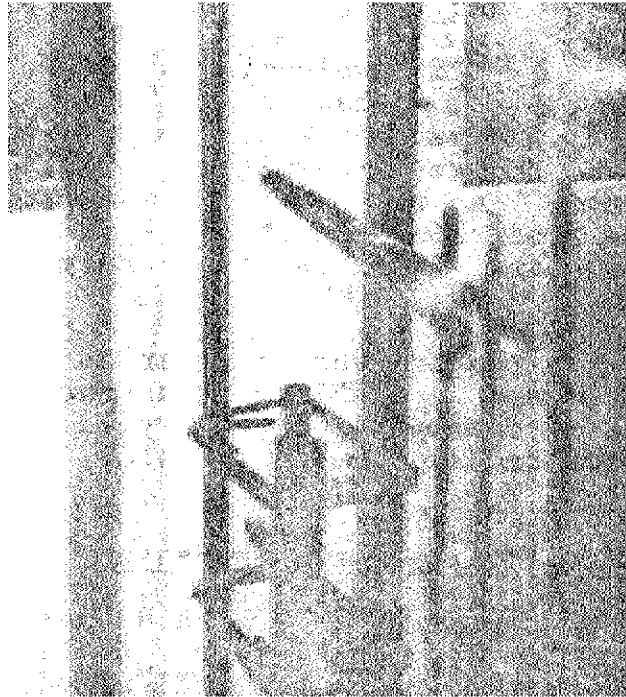


Fig.15 Conectores de acero entre muro estructural y columna existente. Hospital Nacional de Niños, San José, Costa Rica.

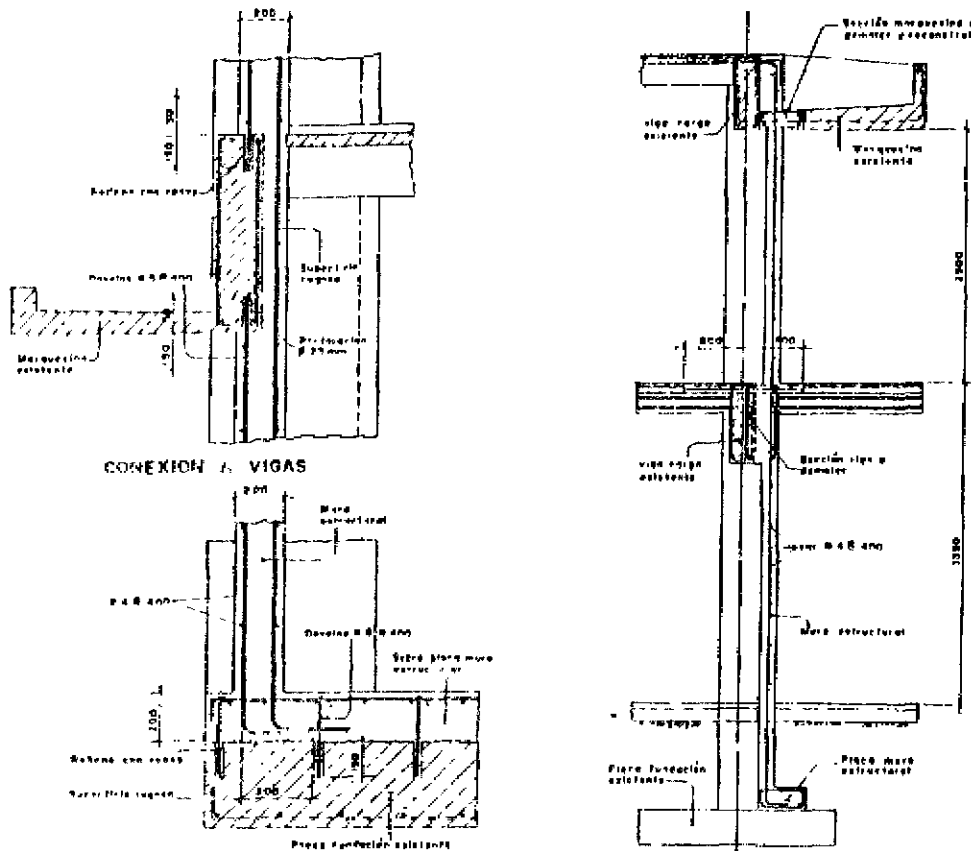


Fig.16 Detalle típico para la continuidad del acero vertical sobre placa y conexión muros a placas existentes.

Vigas de amarre de fundación

Cuando los momentos de volcamiento son muy grandes, especialmente en edificios altos, puede que las fundaciones existentes no tengan dimensión adecuada y su ampliación no sea una medida suficiente para transmitir las fuerzas de volcamiento al terreno. En ese caso se debe recurrir a vigas de amarre a nivel de fundación. En la Fig.9 se da un ejemplo de como se disponen estos elementos de amarre y la Fig.19 muestra su construcción.

Vigas de acople pueden ser necesarias también en otros niveles, pero conducen a problemas constructivos y de ejecución, por lo cual se trata de obviarlas y el acople se realiza únicamente a través de las vigas existentes.

Problemas de arquitectura y funcionamiento

Encontrar una disposición adecuada de los muros y el sitio apropiado donde colocarlos, es el mayor problema que confronta el ingeniero en el refuerzo estructural de edificios. Un sitio apropiado desde el punto de vista estructural no necesariamente lo es desde el punto de vista arquitectónico; un muro puede interferir con el funcionamiento del edificio, dividir salones y aposentos existentes, o pueden cortar la libre circulación de personas. Muros dispuestos en la periferia del edificio, coinciden con la fachada, modifican la arquitectura exterior del edificio y cortan la iluminación natural del espacio interior.

Los muros deben ser continuos desde la fundación al último nivel; desplazar la posición de un muro en cierto nivel, no es estructuralmente conveniente. Sin embargo, es frecuente que una disposición óptima a cierto nivel no lo sea en otro nivel; la solución que se encuentre debe cumplir con su cometido estructural y satisfacer las exigencias arquitectónicas en todos los niveles. Frecuentemente hay que dejar en los muros aperturas para ventanas y puertas de acceso; en las Fig.10 y 11 se muestra el refuerzo alrededor de las aperturas.

La disposición de los muros debe ser consultada con el arquitecto y con el propietario del edificio para buscar la solución óptima. En muchos casos se debe llegar a un compromiso entre las necesidades estructurales y las exigencias arquitectónicas y de funcionamiento.

Equipo y materiales para el refuerzo estructural

Para la construcción de los muros estructurales de refuerzo se requiere algún equipo especializado, a saber: a) equipo para demoler y romper concreto, b) taladros eléctricos o neumáticos para realizar las perforaciones en el concreto, c) equipo para martelinar superficies de concreto, d) sistema de encofrado

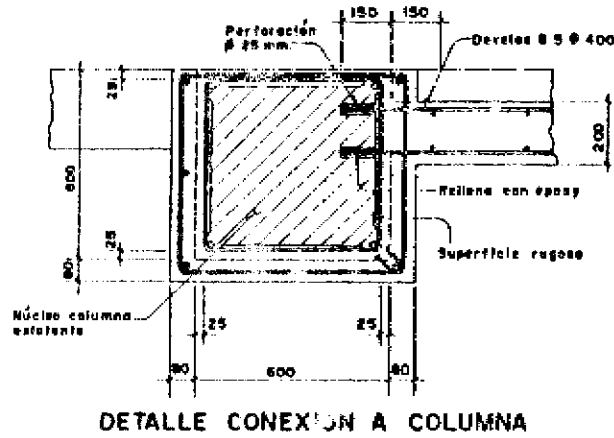
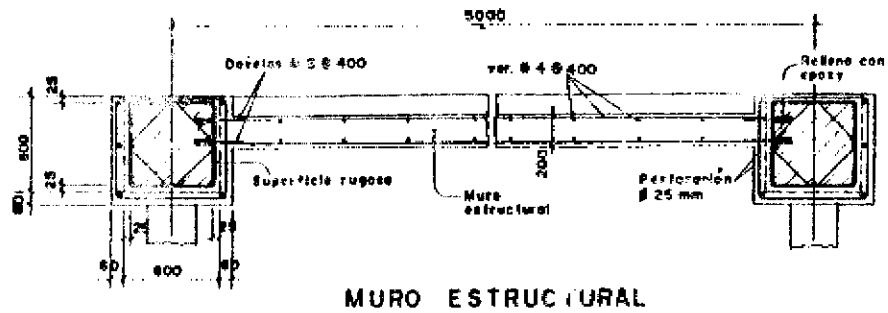


Fig.17 Detalle de ampliación y refuerzo de columnas existentes e integración al muro estructural.



Fig.18 Viga de amarre de fundación. Hospital Nacional de Niños, San José, Costa Rica.

reusable. Los materiales a usar son: a) concreto de bajo revenimiento, plástico y trabajable, con resistencia normal de 210-280 kg/cm.2, según la necesidad del diseño, b) varillas de refuerzo corrugadas de acero grado 40 ó 60, ASTM 615, c) morteros de baja retracción y material epóxico para el llenado de las perforaciones para conectores y sustitución de concreto.

REFERENCIAS

1. Bett, B.J., Klingler, R.E. and Jirsa, J.O. (1985) - Behaviour of Strengthened and Repaired Reinforced Concrete Concrete Columns under Cyclic Deformations - Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin, Texas.
2. CFIA (1986) - Código Sísmico de Costa Rica - Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, San José, Costa Rica.
3. Gallegos, H. and Ríos, R. (1976) - Earthquake Repair-Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones - Publication SP-53, American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
4. Kahn, L. F. (1976) - Reinforced Concrete Infilled Shear Walls for Aseismic Strengthening - UMEE 76R1, Department Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, Mich.
5. NSF (1982) - Proceedings of the III. Seminar on Repair and Retrofit of Structures - US/Japan Cooperative Earthquake Engineering Research Program, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
6. Roach, Carol E. and Jirsa, James O. (1986) - Seismic Strengthening of a Reinforced Concrete Frame using Reinforced Concrete Piers - Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin, Texas.
7. Sauter, Franz (1988) - Riesgos Catastróficos de la Naturaleza, Aspectos sobre el Seguro contra Terremoto -VI. Congreso Mundial de Seguros del Tercer Mundo, Quito, Ecuador.
8. Sauter, Franz (1987) - The San Salvador Earthquake of October 10, 1986, Structural Aspects of Damage - Earthquake Spectra, Vol.3, N° 3, August 1987, El Cerrito, California.