

Capítulo 4. Evaluación de la tipología estructural y detalles constructivos.

Hacer una evaluación cualitativa de la tipología estructural (superestructura y subestructura), de los detalles constructivos de los elementos estructurales en particular las uniones, así como también de las uniones de los elementos no estructurales con el sistema de rigidización a cargas horizontales conduce a conclusiones importantes acerca de la vulnerabilidad sísmica estructural del sistema constructivo estudiado. Esto nos permitirá posteriormente precisar modelos de cálculo para los objetos de obra estudiados y predecir elementos estructurales o secciones transversales a revisar para la evaluación de la seguridad sísmica de estos objetos de obra. Una correcta evaluación de la tipología estructural y detalles constructivos nos puede conducir tanto a propuestas de modificaciones del sistema constructivo estudiado, como a propuestas de refuerzo en caso de edificaciones ya existentes.

Es necesario aclarar que en la evaluación de la tipología estructural y detalles constructivos del sistema constructivo estudiado no se pueden excluir las particularidades de los proyectos estructurales de los objetos de obra estudiados, ya que el proyectista puede haber, o bien reducido en parte la vulnerabilidad sísmica estructural del sistema constructivo, o bien incrementado esta vulnerabilidad violando aspectos positivos de las regulaciones técnicas del mismo. Así podemos concluir que la evaluación de la tipología estructural y detalles constructivos del sistema constructivo estudiado tiene al menos dos aspectos importantes a tratar:

1. Vulnerabilidad asociada a las regulaciones técnicas del Sistema Constructivo.
2. Vulnerabilidad asociada a las violaciones de las instrucciones para el proyecto y ejecución del Sistema Constructivo.

1. Vulnerabilidad asociada a las regulaciones técnicas del Sistema Constructivo Girón.

El Sistema Constructivo Girón está compuesto en su dirección transversal esencialmente por una estructura de esqueleto de hormigón armado rellenas ocasionalmente con paredes del mismo material, algunas de las cuales, denominadas tímpanos, contribuyen a la resistencia global del edificio en esa dirección. (Comité Estatal de Normalización, 1978). Las estructuras de piso y cubierta están constituidas por losas doble T apoyadas sobre las vigas dispuestas transversalmente (Ver figuras 4.1 y 4.2). La transmisión de las solicitaciones producidas por las acciones sísmicas en la dirección longitudinal para los pisos superiores se asegura también a través de tímpanos prefabricados y para el piso inferior a través de los pedestales prefabricados. No obstante las losas doble T dispuestas en la dirección longitudinal y las columnas o pedestales forman un pórtico que pueden transmitir las solicitaciones producidas por las acciones horizontales de cargas de viento en caso de no disponerse tímpanos en esa dirección. La carpintería y acabados, de forma general no forman parte del sistema estructural.

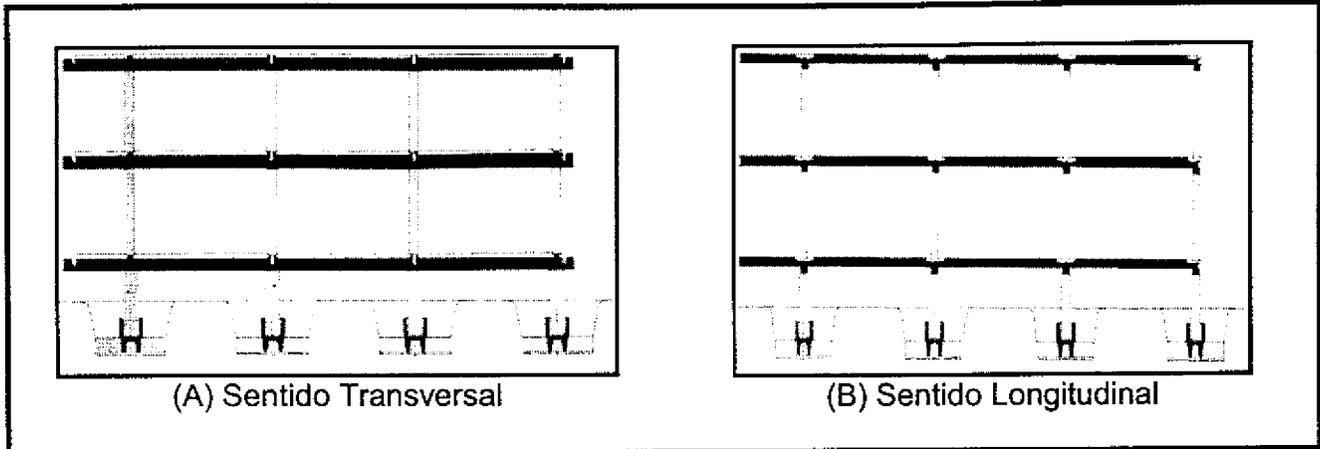


Figura 4.1. Esquema estructural del Sistema Constructivo Girón.

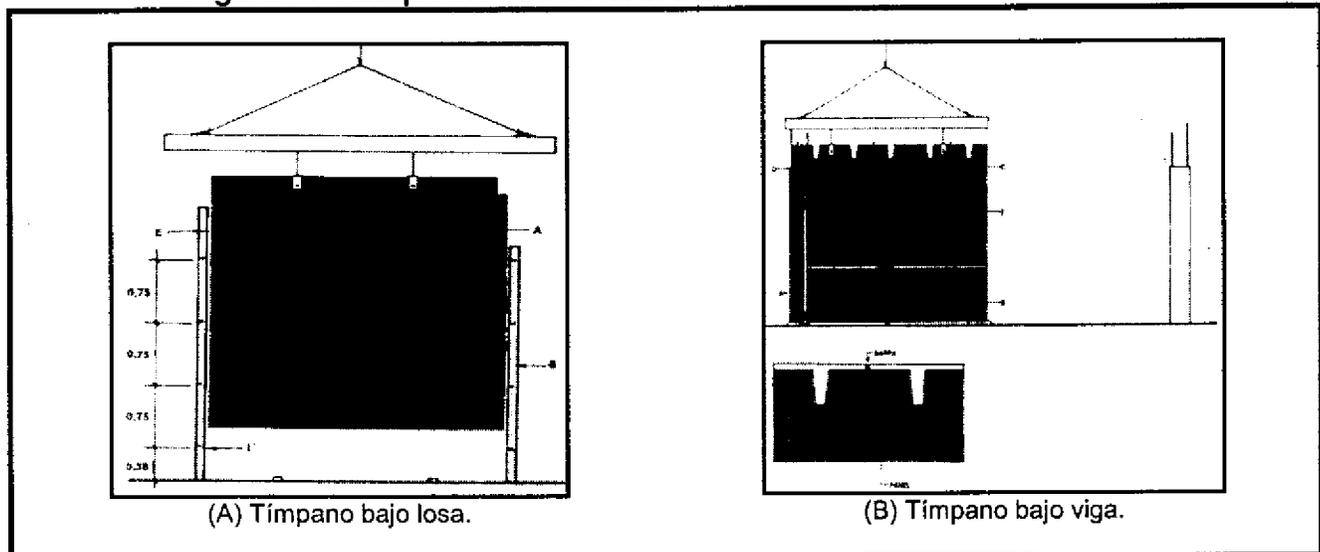


Figura 4.2. Tímpanos y paneles del Sistema Girón.

A continuación se presentan una serie de características que determinan el nivel de desempeño ante las acciones sísmicas de un sistema estructural y una evaluación de cómo se ponen de manifiesto en el Sistema Constructivo Girón.

- Solución de entrepiso.

El sistema de piso de este sistema constructivo puede garantizar la hipótesis de entrepiso rígido, asegurando una adecuada distribución de las cargas gravitatorias y las acciones sísmicas a los elementos del sistema de rigidización, por medio de las llaves de cortante entre las losas y una efectiva unión viga-losa. En las Figura 4.3 se muestra la solución de entrepiso con algunos detalles constructivos.

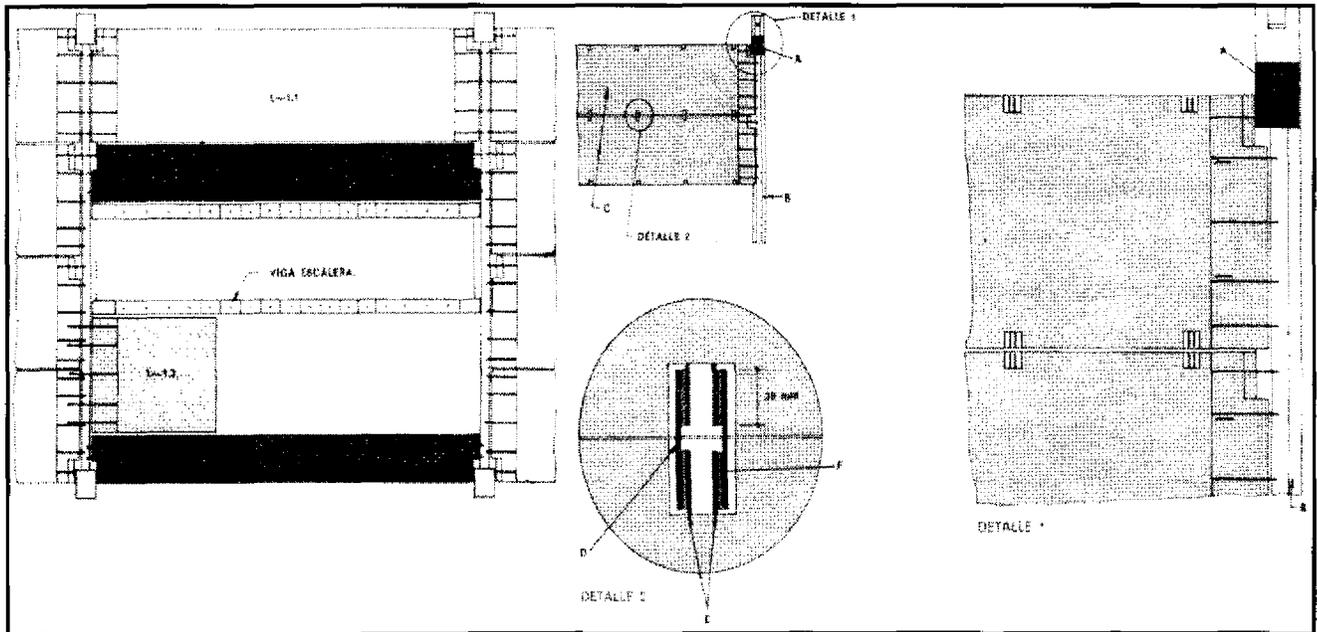


Figura 4.3. Solución de entrepiso y detalles.

- o Capacidad dúctil de la estructura portante.

Al Sistema Constructivo Girón, ya de hecho por ser un sistema prefabricado, se le confiere un bajo nivel de ductilidad. A lo anterior se añade un detallado inadecuado tanto de los elementos estructurales y uniones como de las zonas predestinadas al desarrollo de deformaciones plásticas (comparar los detalles estructurales de la Figura 4.5 con los recomendados para zonas sísmicas que aparecen en la Figura 4.6), así como un sistema estructural caracterizado por una viga fuerte y una columna débil (*Mecanismo de columna*), lo que le confiere a las edificaciones con él erigidas una baja capacidad para disipar la energía inducida por los movimientos fuertes del terreno (Figura 4.4).

Según la experiencia práctica internacional el factor de reducción por ductilidad para los sistemas constructivos prefabricados siempre sería menor que cuatro y solo para los más avanzados sistemas constructivos donde se han introducido innovaciones tecnológicas en la ejecución y se han introducido importantes medidas sismorresistentes en el detallado de las uniones y secciones críticas de los elementos estructurales pudiera llegar a alcanzar este factor de reducción el valor de tres. Al Sistema Constructivo Girón parece adaptarse el factor de reducción de 1.5 que recomendado por la norma sísmica cubana.

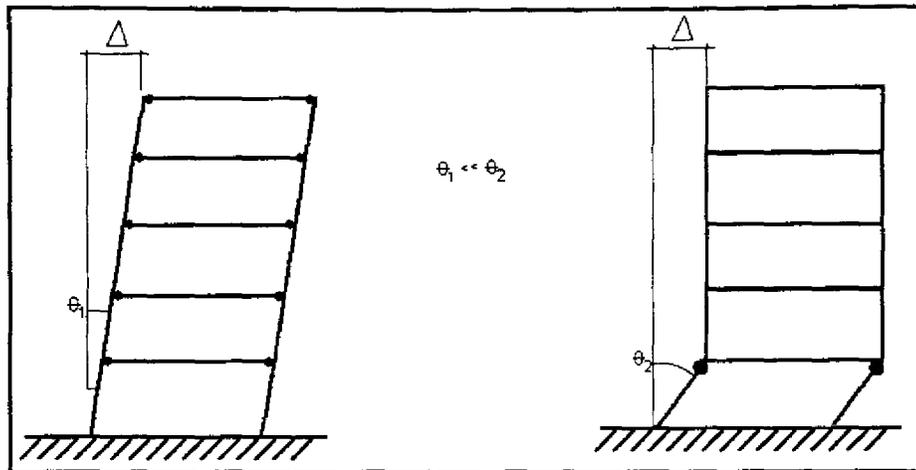


Figura 4.4. Esquema de capacidad de ductilidad de la estructura.

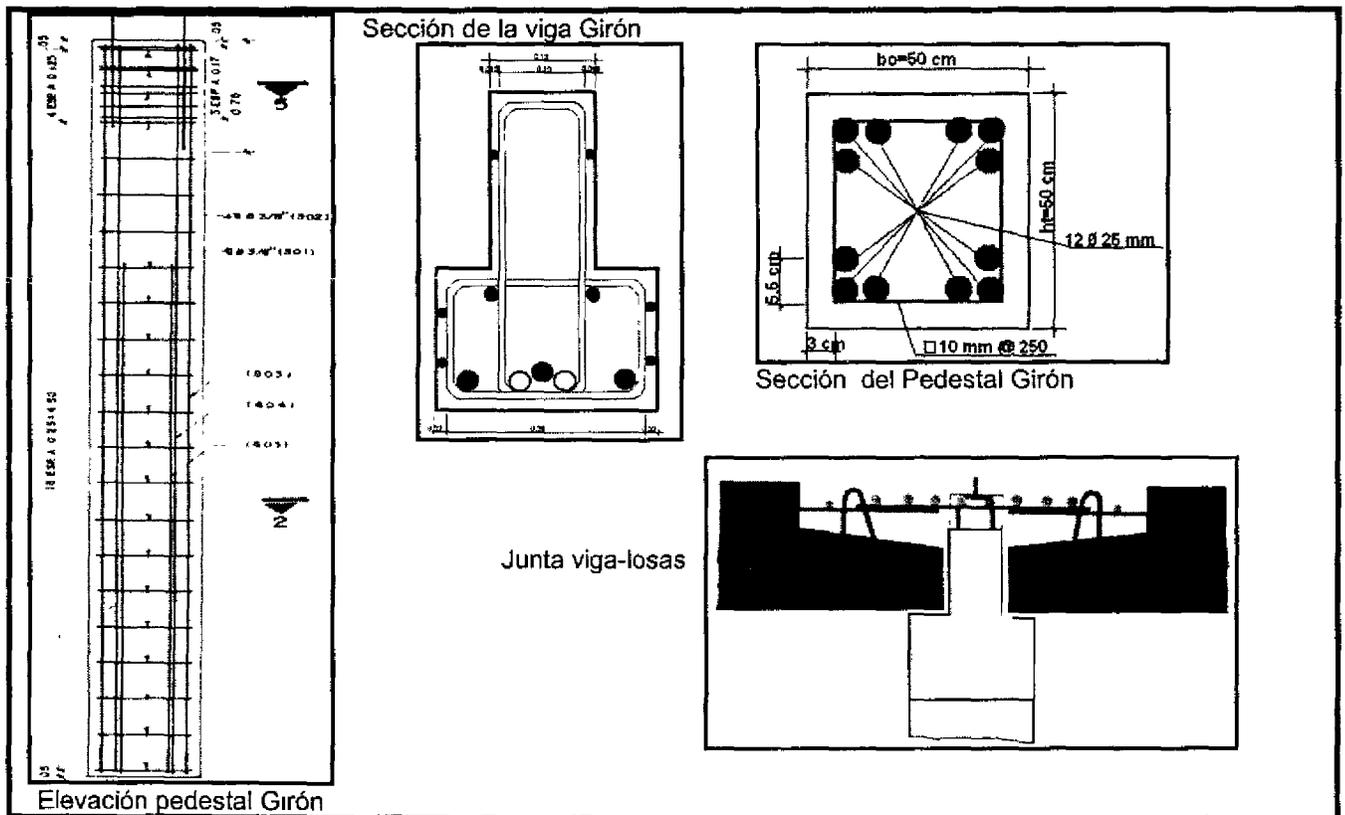


Figura 4.5. Detallado de elementos estructurales del Sistema Girón.

CAPITULO 4. EVALUACION DE LA TIPOLOGIA ESTRUCTURAL Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

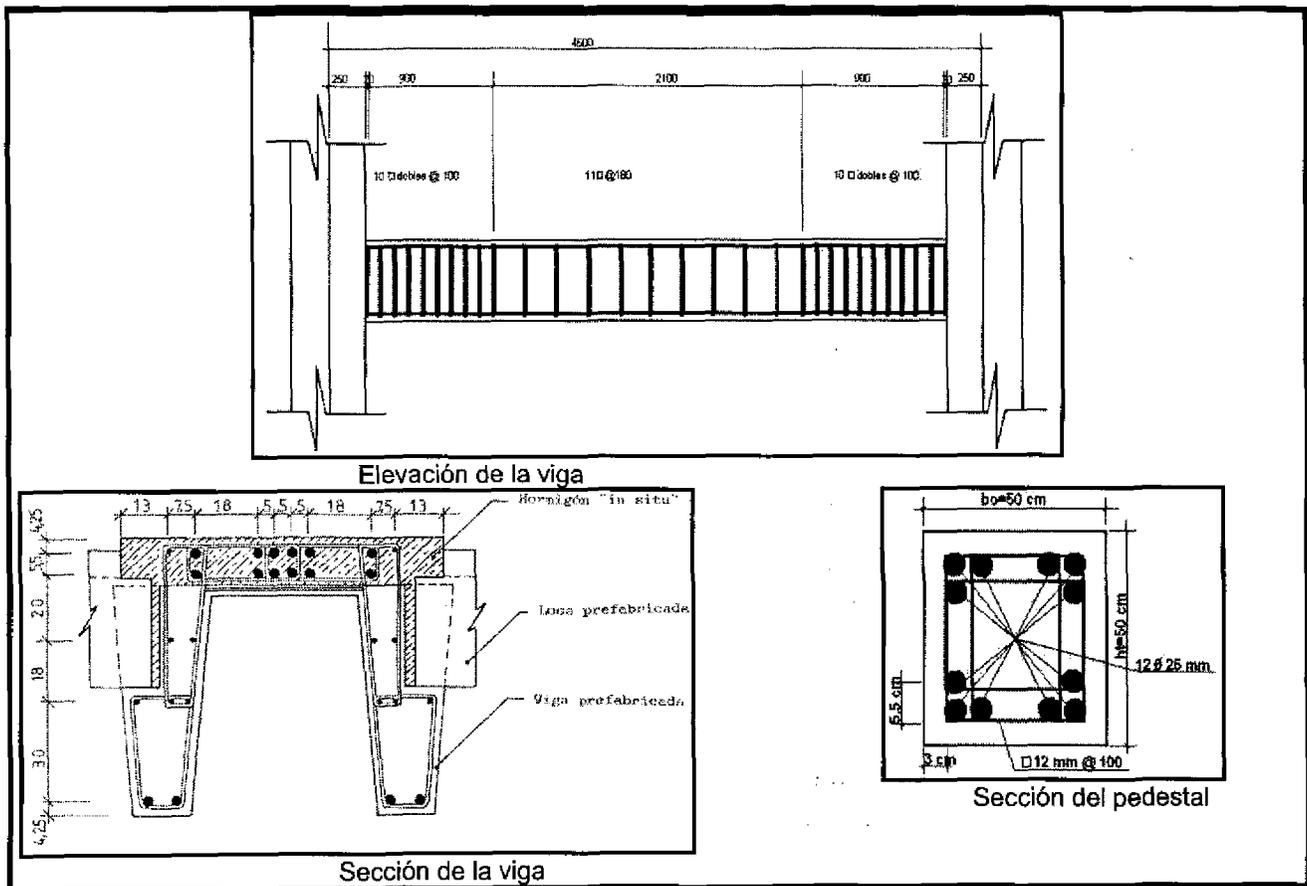


Figura 4.6. Detallado correcto de elementos estructurales.

- Reserva de hiperestaticidad de la estructura portante.

El Sistema Constructivo Girón utiliza un sistema estático para la transmisión de las acciones, tanto verticales como horizontales, con un muy bajo grado de hiperestaticidad, lo que significa que las edificaciones no tienen la capacidad para el desarrollo de un mecanismo da fallo adecuado, es decir, el colapso se presentará de una manera abrupta (ver Figura 4.7).

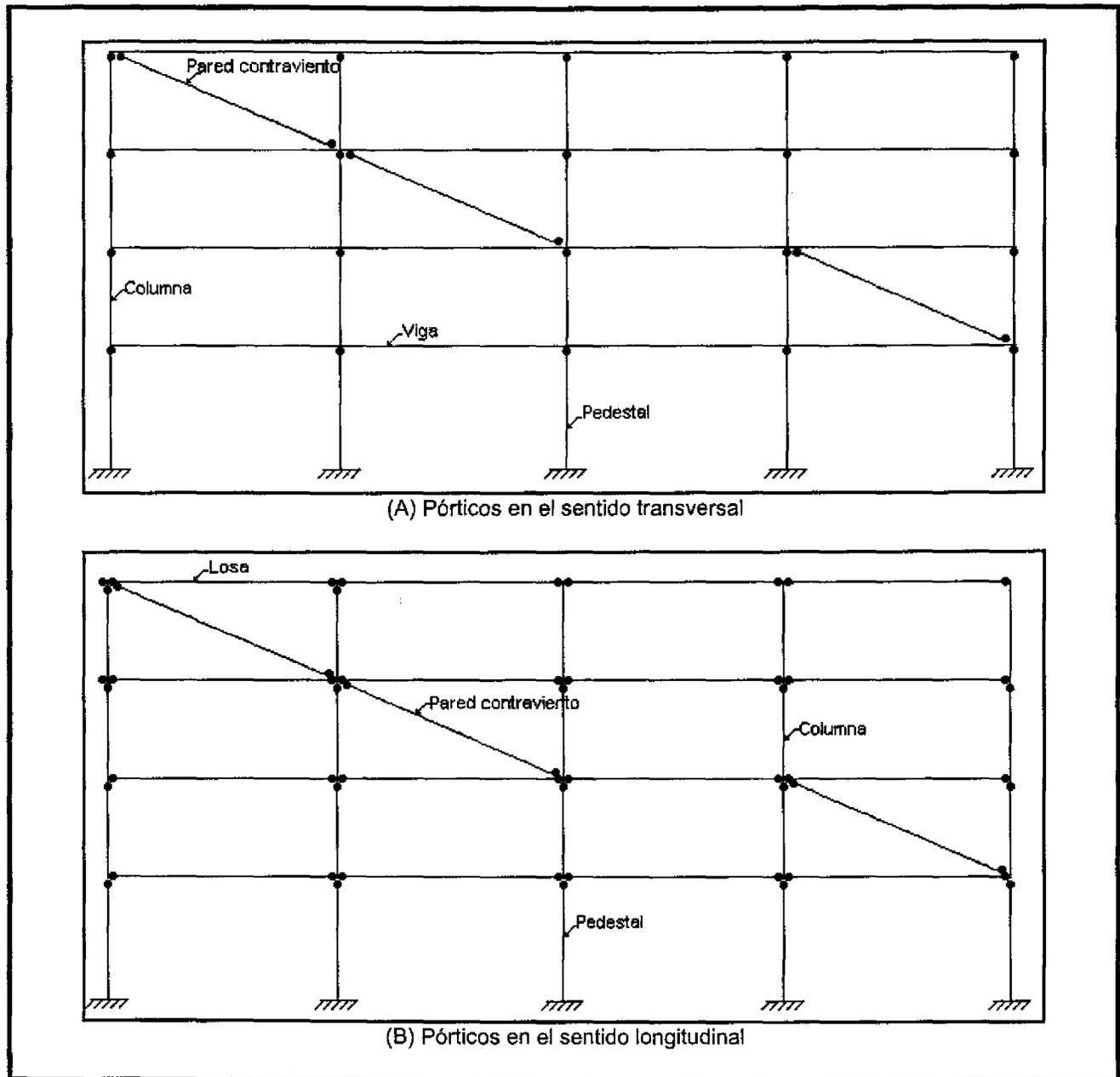


Figura 4.7. Esquema representativo de la hiperestaticidad de la estructura.

- Regularidad en planta.

Este sistema presenta una gran diferencia en las formas de respuesta de las líneas de resistencia principales, es decir; un pórtico con vigas continuas, columnas biarticuladas (con su mayor rigidez en este plano) y paredes de contraviento en la dirección perpendicular a las losas doble T de piso y columnas biarticuladas (con su menor rigidez en este plano) y paredes de contraviento en la dirección paralela a las losas doble T de piso, característica ésta que enrarece el trabajo espacial de conjunto de la estructura portante (ver Figura 4.8) .

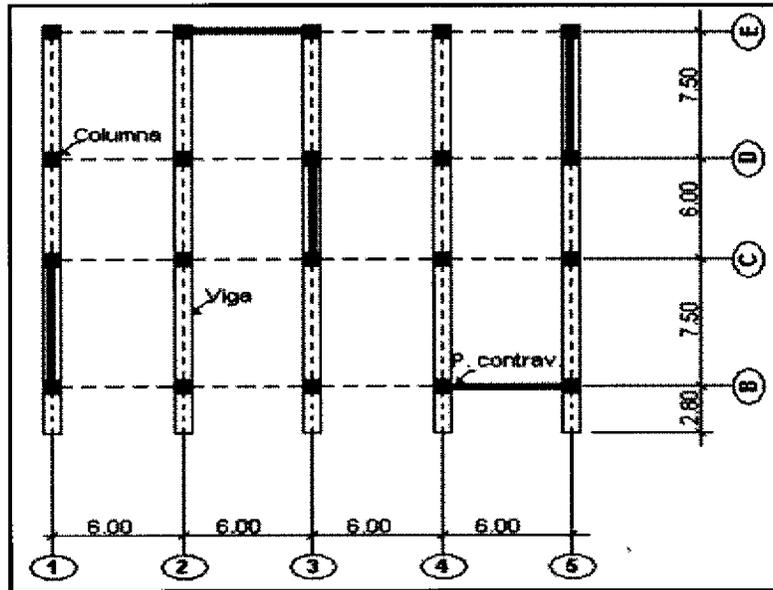


Figura 4.8. Planta de una edificación del Sistema Girón.

Según las instrucciones para el proyecto estructural, la distribución de los paneles de tímpano puede cambiar de un nivel a otro, lo que trae como consecuencia una forma de respuesta, ante cargas horizontales de naturaleza dinámica, muy difícil de predecir y en general una mala forma de transmisión de estas acciones (ver Figura 4.9).

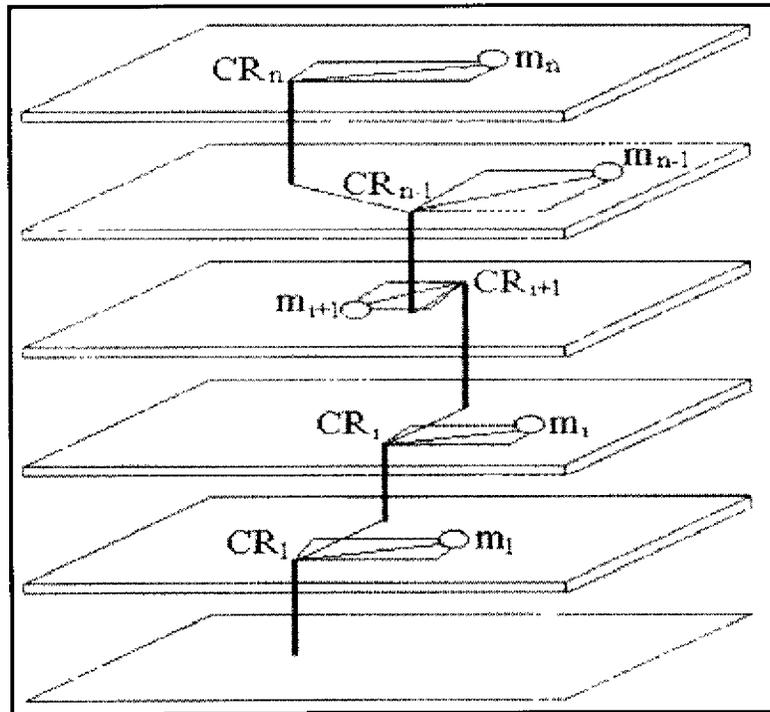


Figura 4.9. Estructuras no coaxiales.

- o Regularidad vertical.

El Sistema Constructivo Girón se caracteriza por poseer una planta baja, es decir, en el primer nivel abierta, donde sólo existen como elementos de rigidez a cargas horizontales los pedestales o columnas largas y en los restantes niveles se asegura la rigidez lateral, como se ha dicho, sobre la base de la disposición de los paneles considerados como tímpanos formando marcos contraventados de gran rigidez en comparación con la existente en la planta baja (ver figuras 4.4 y 4.7). Lo anterior trae como consecuencia una mala distribución de rigidez en la altura y la formación de piso blando o débil, esto está asociado a la formación de un mecanismo de disipación de la energía no deseado (mecanismo de columna) basado en la formación de articulaciones plásticas en la base de las columnas, a expensas de grandes rotaciones plásticas y, por consiguiente, grandes desplazamientos laterales que pueden incrementar considerablemente los efectos P-Delta y con ello la pérdida de estabilidad general del edificio.

- o Solución de cimentación.

La cimentación del sistema está constituida por platos de cimentación aislados hormigonados "in situ" y vasos prefabricados (Figura 4.1), que no permiten la ejecución de vigas continuas sísmicas y que en la actualidad están prescritas por los reglamentos internacionales de construcciones sismorresistentes. Esto trae como consecuencia un mal trabajo de conjunto del sistema de transmisión de las acciones a la base del suelo portante, una inadecuada interacción suelo estructura y la aparición de los no deseados asentamientos diferenciales. En la Figura 4.10 se muestran los detalles de una cimentación adecuada para zonas sísmicas, en este caso una solución de cimentación con vigas continuas sísmicas.

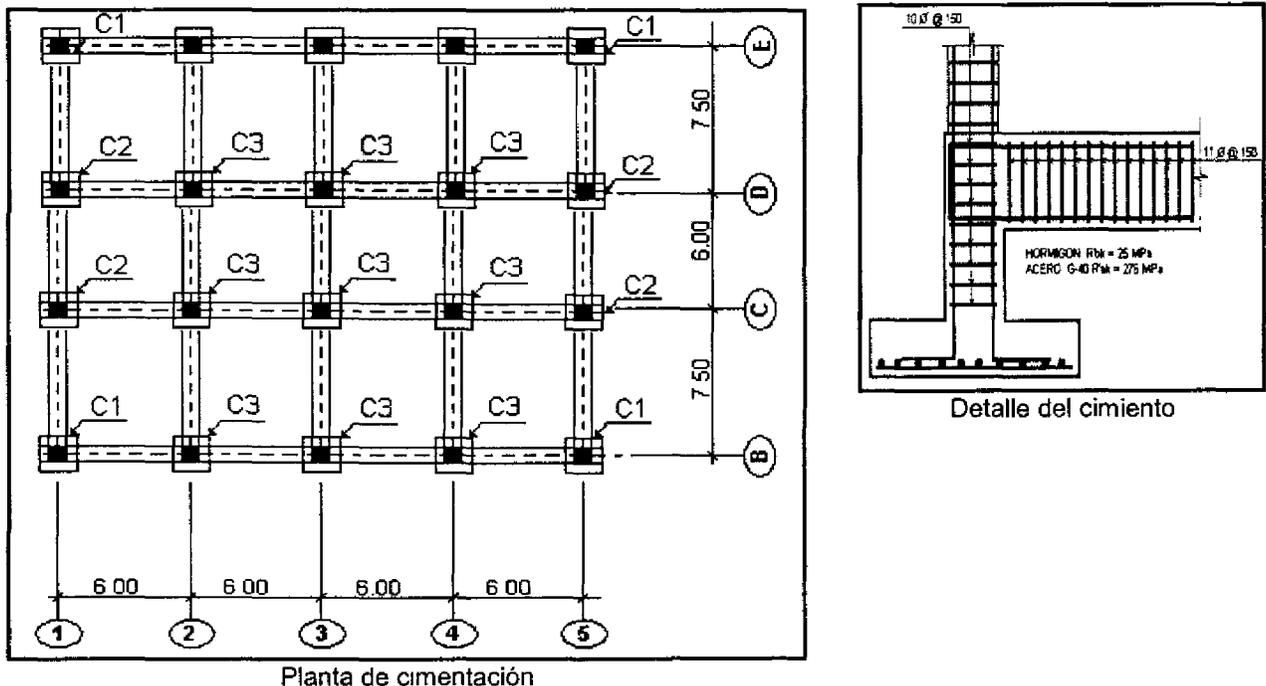


Figura 4.10. Solución de cimentación con vigas continuas sísmicas.

- Detallado del refuerzo de los elementos estructurales.

Los elementos del Sistema Constructivo Girón, en general, no cumplen con las exigencias de cuantías y disposición del refuerzo, tanto longitudinal como transversal establecidos por los reglamentos internacionales para las construcciones erigidas en zonas de alta peligrosidad sísmica. Por ejemplo la utilización de grandes concentraciones de refuerzo en grupos de barras, bajas cuantías de refuerzo transversal y espaciamientos de este refuerzo, que no garantizan el confinamiento del núcleo de hormigón y la estabilidad de las barras longitudinales (ver Figura 4.5). Esto trae como consecuencia la ya mencionada baja capacidad de los elementos estructurales para desarrollar zonas de disipación de energía baja resistencia a acciones dinámicas y, por tanto, un bajo nivel de ductilidad del conjunto estructural y un inadecuado mecanismo de fallo.

- Uniones.

Viga-losa: esta unión es adecuada para garantizar el trabajo del sistema de piso como diafragma de rigidez en su plano y la transmisión de solicitaciones a los elementos verticales del sistema portante producidas por las cargas gravitatorias o cargas horizontales de viento, solicitaciones estas para las cuales tanto el acero como el hormigón trabajan en el rango elástico. Sin embargo para las acciones sísmicas, donde el acero dispuesto en las zonas próximas a los nudos puede trabajar a tensiones por encima a sus valores de fluencia, la transmisión de solicitaciones a los elementos verticales del sistema portante a través del nudo no es suficientemente efectiva, ya que el refuerzo superior dispuesto antes de la fundición "in situ" de la unión prácticamente no atraviesa el nudo (ver Figura 4.5). Esto se penaliza en los reglamentos sísmicos internacionales recomendándose preferentemente vigas de anchos iguales o menores a las columnas y en caso de que esto sea inevitable el código europeo CEB, por ejemplo, recomendaba ya desde el 1985 que al menos el 75% del acero de refuerzo atravesara el nudo.

Columna-columna: la unión está concebida de manera que la transmisión tanto de momentos flectores como de fuerzas cortantes de un nivel a otro sea baja, es decir, con el objetivo de transmitir preferentemente fuerzas axiales (Figura 4.11). La transmisión de las fuerzas cortantes producidas por acciones sísmicas se realiza de forma no satisfactoria ya que al no existir estribos en el nudo, no existe capacidad para el desarrollo de los mecanismos de puntal y armadura necesarios para el correcto desempeño de la unión que asegure el trabajo de la estructura (ver Figura 4.12). En la Figura 4.13 se muestra un detallado de un nudo adecuado para zonas sísmicas.

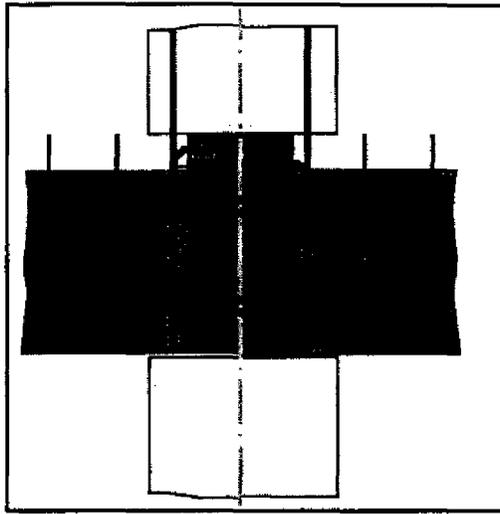


Figura 4.11. Unión columna-columna del Sistema Girón.

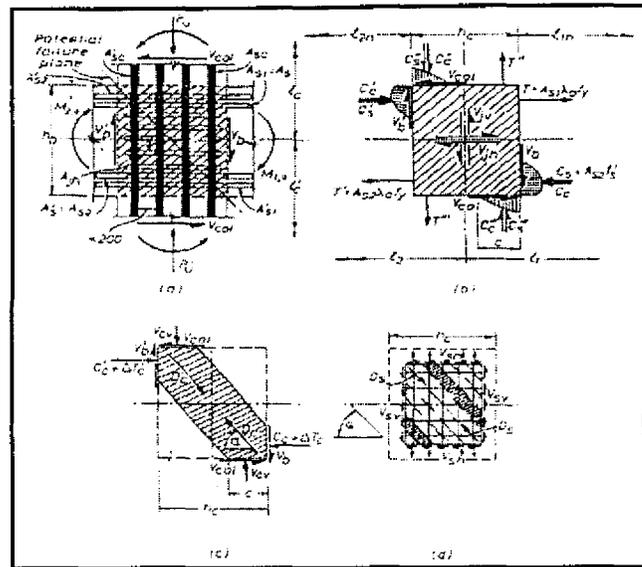


Figura 4.12. Acciones externas y fuerzas internas resultante en el nudo.

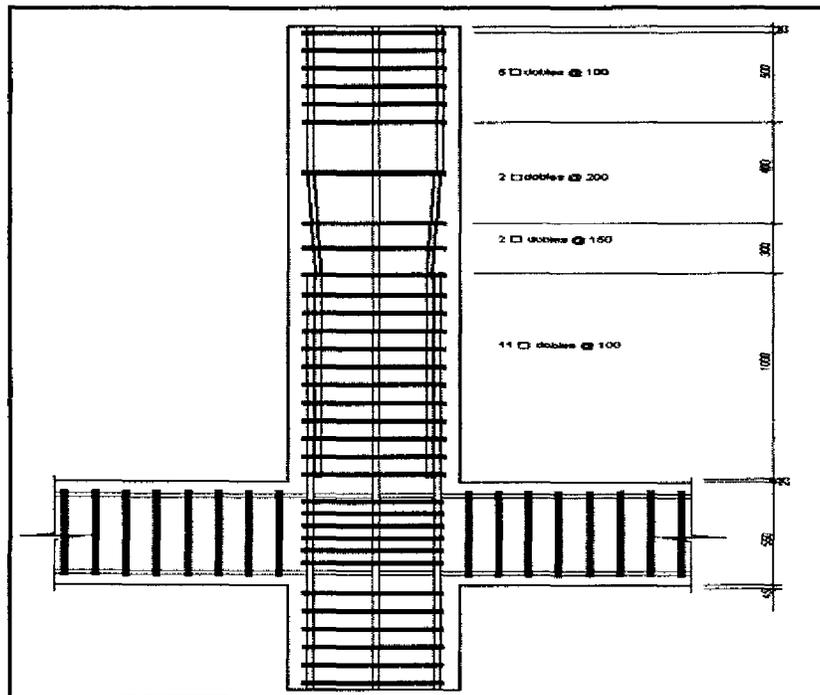


Figura 4.13. Detallado adecuado de un nudo para zonas sísmicas.

Panel de tímpano-marco: esta unión garantiza la estabilidad del panel en la dirección perpendicular a su plano y solo el desarrollo del puntal de compresión en el marco. Al no poder asumirse el modelo de puntal y armadura para el tímpano trae como consecuencia que ante grandes ciclos histeréticos de cargas, la respuesta alterada postelástica del puntal de compresión hace prácticamente impredecible la forma del tipo de respuesta del sistema estructural, originando respuestas diferentes en los distintos sentidos de acción de las cargas

sísmicas (ver Figura 4.14 (a) y (b)). Una solución como aparece en la Fig. No. 4.14 (c) con barras de refuerzo diagonales, convenientemente ancladas en las vigas o losas de piso, puede asegurar la transmisión de esfuerzos de tracción por el tímpano y con ello un mecanismo de fallo a cortante adecuado.

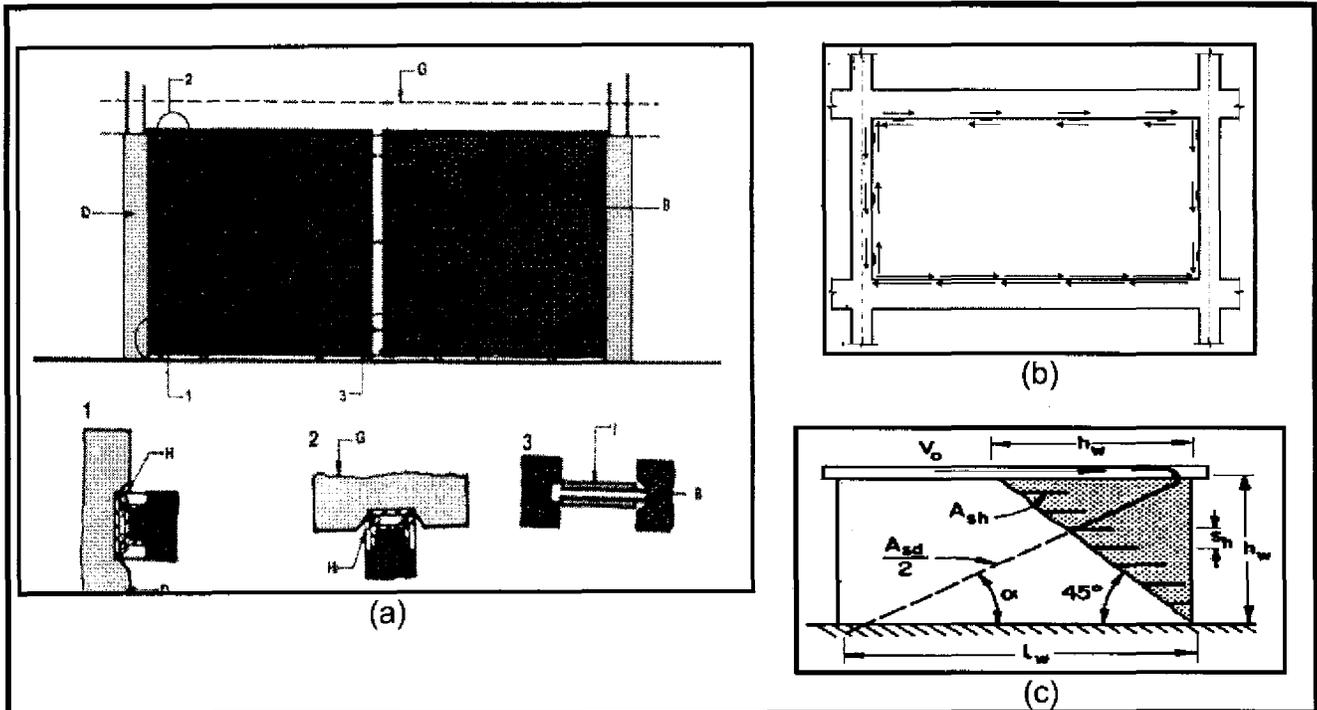


Figura 4.14. Tímpanos del Sistema Girón y forma de trabajo.

Elementos no estructurales-estructura: en general, las soluciones de elementos no estructurales que el sistema ofrece son adecuadas, no modifican el comportamiento de la estructura y aseguran la estabilidad y la autoportabilidad de estos elementos (ver Figura 4.15).

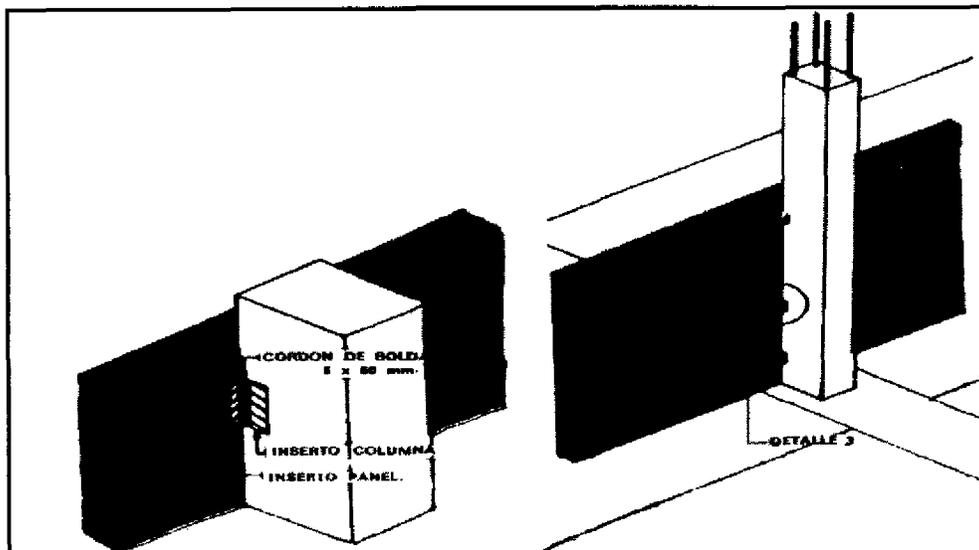


Figura 4.15. Detalle de unión de elementos no estructurales y estructurales.

Pedestal-vaso de cimentación: este tipo de solución, basada únicamente en el embebimiento del pedestal o columna en el vaso, es inadecuada para la transmisión de acciones de naturaleza dinámica (ver Figura 4.16).

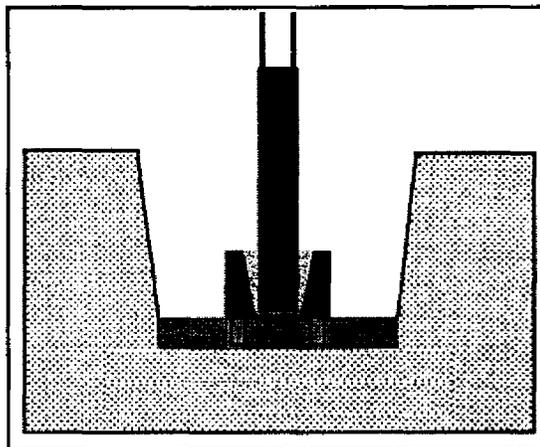


Figura 4.16. Unión del pedestal y vaso.

Plato-vaso: la solución de vaso para zonas sísmicas (Vaso VS-3) introducida después del terremoto de Pílon de 1976 es adecuada para transmitir el plato las acciones provenientes de la superestructura.

Conclusión:

"El Sistema Constructivo Girón, además de las desventajas en su desempeño sísmico que como sistema prefabricado posee, su concepción estructural en general no es adecuada para ofrecer una respuesta satisfactoria en caso que grandes movimientos del terreno hagan incursionar la estructura en el rango de comportamiento postelástico"

2. Vulnerabilidad asociada a violaciones de las instrucciones para el proyecto del Sistema Constructivo Girón.

En las instrucciones para el proyecto del Sistema Constructivo Girón, aparece de forma explícita un conjunto de reglas especiales a cumplir en las obras a ser erigidas en zonas de alta peligrosidad sísmica.

Entre las reglas que proceden y deben ser aplicadas en las obras objeto de estudio se tienen:

- 4.6.2.1- Los proyectos tendrán las plantas de forma rectangular, cumpliendo con los requisitos señalados en 4.6.2.2. Cuando las exigencias del proyecto requieran áreas que no cumplan esa limitación, se dividirán éstas mediante juntas antisísmicas y se analizará cada una como una estructura independiente. Sí se cumple en los cuatro bloques estructurales principales de la instalación.
- 4.6.2.2- Cada planta estará inscrita en un rectángulo base convenientemente adoptado de modo que tanto las áreas en defecto como en exceso no excedan el 10% del área del rectángulo base. Sí se cumple en los cuatro bloques estructurales principales de la instalación.

CAPITULO 4 EVALUACION DE LA TIPOLOGIA ESTRUCTURAL Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

- 4.6.2.3- Las áreas que proyectan de este rectángulo base deberán guardar una relación entre sus lados igual o mayor de 2. Sí se cumple en los cuatro bloques estructurales principales de la instalación.
- 4.6.2.4- Los huecos dentro de una planta no tendrán un ancho mayor que la cuarta parte del ancho del piso en esa zona y su longitud no excederá de 6.0 m. La resistencia del piso a las cargas en su plano deberá ser comprobada en ese lugar. No se permiten huecos ni escaleras en módulos de esquinas. No se cumple en el Bloque de Servicios.
- 4.6.2.5- Ninguna planta podrá tener un área menor que el 90% del área de cualquiera de las plantas superiores. Sí se cumple en los cuatro bloques estructurales principales de la instalación.
- 4.6.2.6- Ninguna columna tendrá una longitud mayor de un puntal. No se cumple en el Bloque de Servicios.
- 4.6.2.7- La distancia entre el centroide del rectángulo base de un piso y el centro de masa del conjunto formado por ese piso y los que están sobre él, no deberá exceder el 5% del lado paralelo a la dirección de la excentricidad. Sí se cumple en los cuatro bloques estructurales.
- 4.6.2.8- En cada piso, la distancia entre el centro de masa del conjunto formado por ese piso y los que están sobre él y el centro de rigidez de los elementos que sustentan a ese piso, no deberá exceder el 10% del lado paralelo a la dirección de la excentricidad. No se cumple en los cuatro bloques estructurales principales.
- 4.6.2.9- En los edificios que tengan dos o más niveles estructurales, se colocarán tímpanos para resistir las fuerzas horizontales. Sí se cumple en los cuatro bloques estructurales principales de la instalación.