

Apuntes sobre la formulación de las propuestas estructurales

Notes on the formulation of structural proposals

DIEGO FERNANDO GÓMEZ ETAYO

Arquitecto – Ingeniero civil. Profesor tiempo completo, Facultad de Arquitectura, Arte y Diseño, Programa de Arquitectura. Universidad de San Buenaventura, seccional Cali.
dfgomez@usbcali.edu.co

Resumen

El presente artículo presenta una síntesis de los principales aspectos que deberían ser tenidos en cuenta en la concepción estructural del proyecto arquitectónico, de manera paralela a como se va resolviendo la espacialidad deseada en el mismo y atendiendo a las actuales recomendaciones de diseño sismo resistente, que en nuestro país encontramos formuladas en el *Reglamento colombiano de construcción sismo-resistente (NSR-10)*. Elaborado en principio como guía académica en la enseñanza tecnológica para arquitectura, se desarrolla metodológicamente a manera de preguntas que el diseñador arquitectónico debería considerar en el proceso de la formulación de su propuesta, de tal manera que le hagan reflexionar acerca de si ha tomado las decisiones adecuadas, o por el contrario aún puede explorar otras alternativas que lo lleven a un mejor desarrollo de su propuesta.

Palabras clave: Estructura, sismo resistencia, configuración estructural, pórticos, muros.

Abstract

This article presents a summary of the main aspects that should be taken into account in the structural concept of the architectural

project, in parallel to the way its desired spatiality is being resolved in it and addressing the latest earthquake-resistant design recommendations that can be found in our country in the Colombian Regulation of Earthquake-Resistant Constructions (NSR-10). Designed initially as an academic guide to technological teaching in architecture, it is developed in questions that the architectural designer should consider while stating his proposal, so that he can reflect on whether he has made the right decisions. Otherwise he can still explore other alternatives that can lead him to improve his proposal.

Keywords: Structure, earthquake-resistance, structural configuration, porches, walls.

Fecha de presentación: Junio 4 de 2010

Fecha de aceptación: Junio 11 de 2010

Introducción

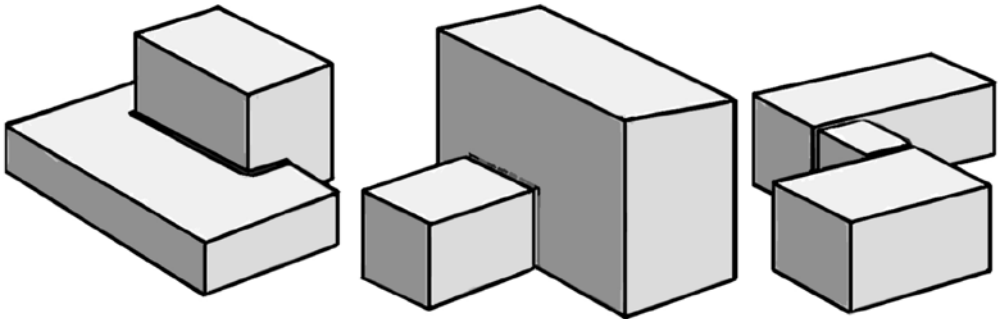
La estructura es la parte de la edificación encargada de transmitir todas las cargas que ésta recibe hasta el terreno. La propuesta estructural de un proyecto debe hacer parte inseparable del planteamiento arquitectónico del mismo, por tanto la responsabilidad de su buena concepción es inherente al quehacer del arquitecto. Un buen planteamiento estructural debe generar, desde los mismos planos, confianza en la estabilidad de una edificación y el arquitecto debe, como diseñador del proyecto, saber cómo se sostiene su edificio y de qué manera las cargas que éste recibe serán transmitidas hasta el terreno que lo soporta. El perfeccionamiento hecho por el ingeniero calculista sobre secciones, calidad y ubicación de los refuerzos simplemente debería corroborar una propuesta coherente y equilibrada, dentro de los principios básicos estructurales y sismoresistentes que la sensatez y nuestra región exigen. Las siguientes preguntas resumen las principales problemáticas sobre las que un arquitecto debería reflexionar al respecto de los aspectos estructurales de su propuesta de diseño.

¿La forma y tamaño de los volúmenes que constituyen su edificación son regulares?

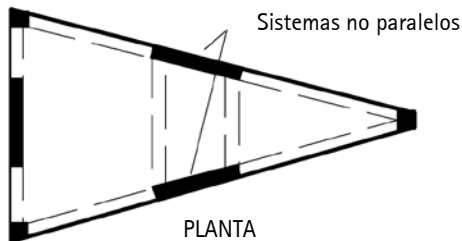
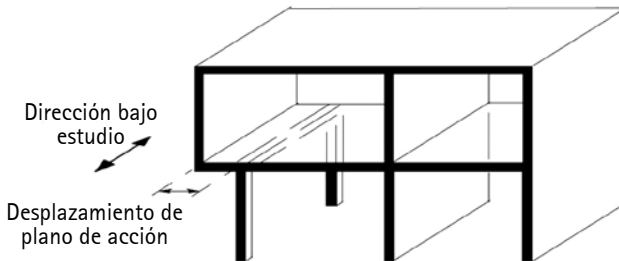
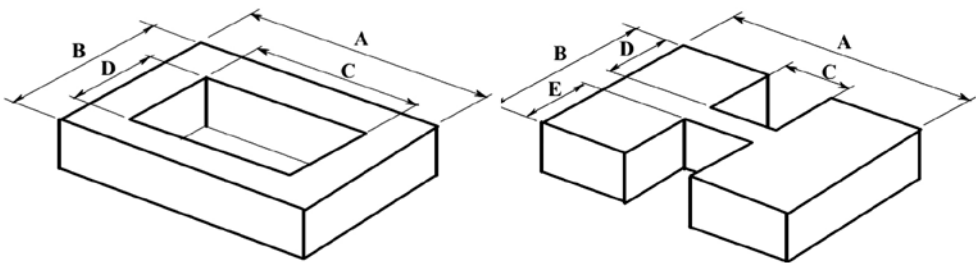
Las volumetrías con demasiadas irregularidades tanto en planta como en altura (grandes voladizos, plantas en H, en L o con salientes excesivos, combinaciones de plataforma y torre, diversas alturas en bloques individuales, etc.) no ofrecen en general un buen comportamiento sísmo-resistente y deben ser evitadas. Si las condiciones del proyecto no permiten otra manera de generar la edificación, deberá recurrirse entonces a dilataciones estructurales que permitan que sus volúmenes parciales sean regulares en sí mismos, conformando en conjunto la volumetría general irregular requerida. Las posibles excepciones a esta recomendación aplican solamente a edificaciones pequeñas, donde las cargas bajas no son tan complejas de ser controladas; sin embargo, debe ser claro que un mayor tamaño de las construcciones acarrea desde luego mayores cargas y por tanto mayores implicaciones estructurales. Recuerde que el mejor proyecto no es necesariamente aquel que muestre más extravagancias formales, y de hecho hoy día existen muchas críticas sobre algún tipo de arquitectura espectáculo

que pretende una mayor aceptación a partir de exploraciones estéticas de dudosa reflexión. La sensatez estructural será siempre un valor a destacar, especialmente en una zona de alta sismicidad como la nuestra, y la creatividad no puede ser sinónimo de una excentricidad tal

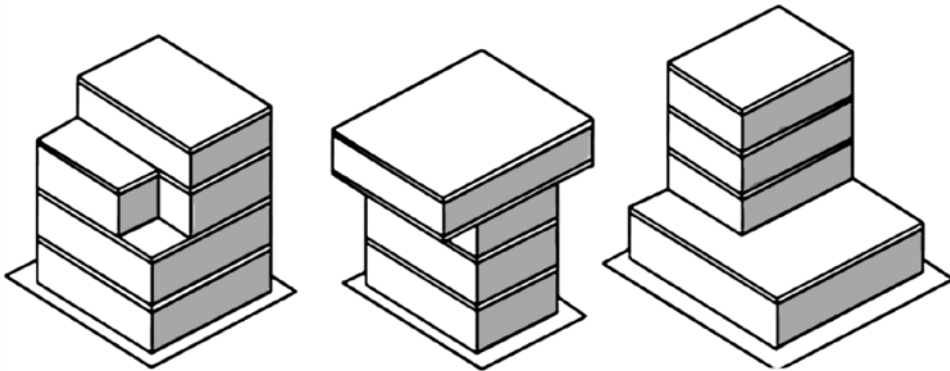
que vuelva altamente vulnerable su proyecto. Recuerde que él albergará personas, las que seguramente preferirán el buen comportamiento de una construcción discreta y segura que la posibilidad de falla inherente a las estructuras excesivamente irregulares.



Las formas irregulares deben ser separadas en otras menores de mayor regularidad.



Definición de irregularidades en planta de acuerdo con las NSR-10



Irregularidades en altura que deben evitarse

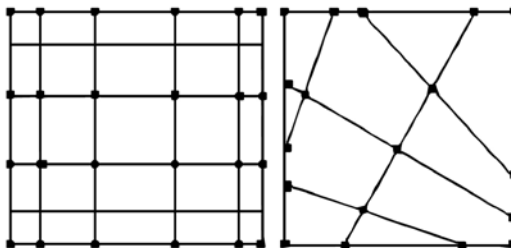
¿La estructura propuesta guarda regularidad en la disposición de sus elementos constitutivos?

Decisiones como luces estructurales de dimensiones similares, continuidad de los elementos estructurales verticales (muros y columnas), regularidad en la malla horizontal de vigas principales, entre otras, son garantía de un buen comportamiento estructural. Cada excepción que se conceda a esta regla es una debilidad que se suma, y aunque un reforzamiento extra usualmente puede ser implementado, no deja de ser una disminución de la seguridad estructural de la edificación. Piense que siempre habrá una mejor propuesta que no requiera tomar riesgos innecesarios. Verifique que las luces propuestas de la estructura del proyecto estén acorde con las necesidades espaciales y el material escogido no se exceda innecesariamente en sus dimensiones, y tenga

en cuenta que en cualquier caso un mayor número de elementos verticales (columnas o muros) brindará respuestas sismo-resistentes de mayor confiabilidad.

Lo ideal en la disposición estructural de una edificación, por facilidad en la composición arquitectónica, confiabilidad del cálculo y diseño estructural, y practicidad durante la construcción, son las retículas ortogonales. Sin embargo, excepciones justificadas desde una mejor propuesta estética del proyecto o debido a las frecuentes irregularidades de los lotes, pueden ser estudiadas y resueltas de buena manera. La modulación espacial en dimensiones más o menos repetitivas frecuentemente permite una resolución más coherente y proporcionada de los recintos, a la vez que determina soluciones estructurales más racionales y confiables.

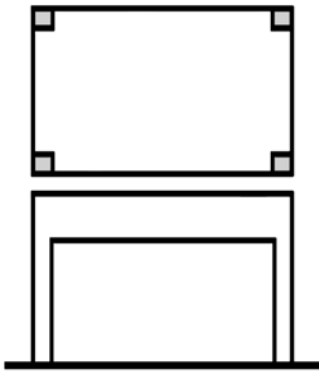
Planta regular



Planta irregular

Aunque novedosas y llamativas en algunas ocasiones, la modulación irregular trae dificultades en el comportamiento estructural. A mayor tamaño los edificios deberán ser más normalizados.

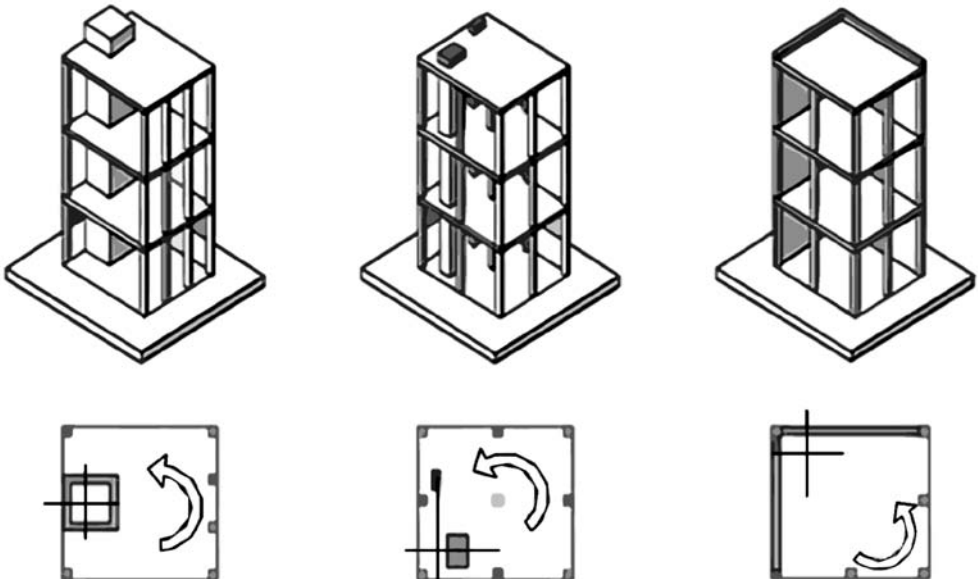
De otro lado, revise que las dimensiones estructurales de los elementos verticales (columnas y muros) provean igual o mayor rigidez que las utilizadas en los horizontales (vigas y losas). Es decir, que sus dimensiones resulten equilibradas y muy similares. Este es un principio tectónico que debe ser respetado. En especial no es conveniente que los elementos horizontales sean más rígidos que los verticales, pues de estos últimos depende mayoritariamente la estabilidad estructural del edificio.



Vigas de mayor dimensión que las columnas posibilitan que estas últimas fallen primero, lo que deberá ser evitado a toda costa.

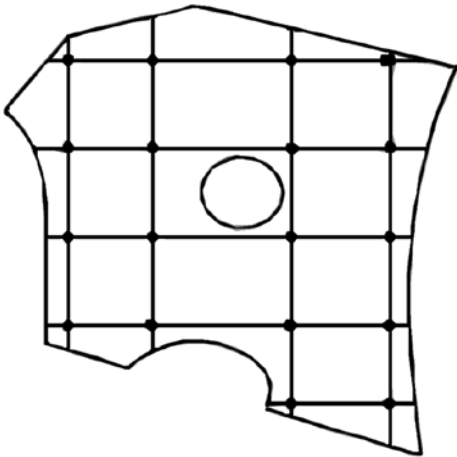
¿Los elementos que generan la rigidez se distribuyen de manera equilibrada en planta?

El arquitecto deberá verificar en la planta de su propuesta que la posición, tamaño y forma de los elementos estructurales tales como muros, columnas, pantallas y punto fijo (las escaleras son en general muy rígidas), le generan una sensación de equilibrio en los dos ejes principales del proyecto. Esta primera aproximación prácticamente intuitiva, "moviendo" mentalmente el proyecto en las dos direcciones principales ortogonales en planta como si fuera afectado por fuerzas horizontales para verificar que no haya torsiones y que la rigidez sea similar en ambos sentidos, es de vital importancia para la configuración estructural sismo resistente de la edificación.



Edificaciones propensas a torsiones ocasionadas por localización excéntrica de elementos rígidos.

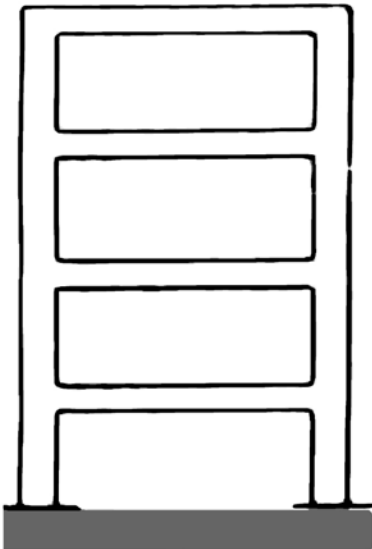
La simetría estructural siempre será la mejor propuesta, y de esta manera incluso la distribución y forma de los demás elementos no estructurales, tales como muros no portantes o en algunos casos el mismo perfil de la losa podría, si arquitectónicamente se requiere, ser relativamente irregulares.



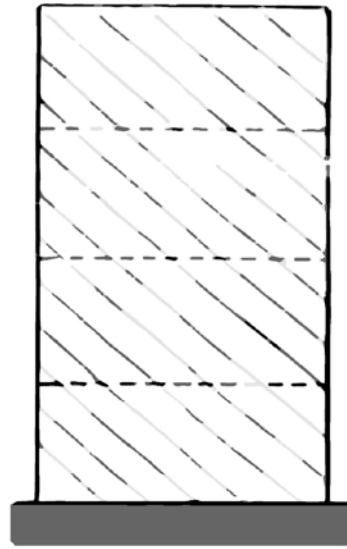
Planta irregular con estructura ortogonal. Buen comportamiento estructural.

¿La elección del sistema estructural general es adecuada a las exigencias espaciales y a sus diferentes intenciones arquitectónicas?

Los diferentes sistemas estructurales que existen a disposición del arquitecto, tiene por supuesto diversas ventajas y desventajas, posibilidades y limitaciones. Se debe tener suficientemente claro por qué el sistema escogido es la mejor opción, aunque no siempre resulte perfecto. Para tomar una buena decisión algunos de los aspectos a ser evaluados son: Necesidades espaciales, es decir, qué dimensiones de luces (distancias entre apoyos) requiere y por qué razón. ¿Conviene estas dimensiones a la percepción arquitectónica espacial del proyecto? ¿Están acordes con los requerimientos funcionales de espacialidad, iluminación, ventilación, necesidad o no de vanos amplios? De acuerdo con las respuestas seguramente las opciones se basarán en los dos tipos de sistema estructural principal, que son muros o pórticos (columnas).



Pórticos



Muros

La elección del sistema estructural usualmente oscila entre la opción de pórticos o de muros.

¿Cuándo es conveniente el sistema estructural de muros portantes?

En general, si el proyecto tiene luces cortas y vanos pequeños (al menos en su gran mayoría), así como en aquellas edificaciones cuyas plantas en altura pueden ser repetitivas en sus muros en un alto porcentaje. Estas características coinciden especialmente en proyectos de vivienda de bajo o medio costo. Cabe acordarse que los muros considerados estructurales deben ser continuos desde el terreno hasta la cubierta, y que no podrán ser alterados posteriormente. De otro lado, los sistemas de muros suelen ser los más económicos para la construcción de edificaciones, pues resuelven cerramiento y estructura a la vez.

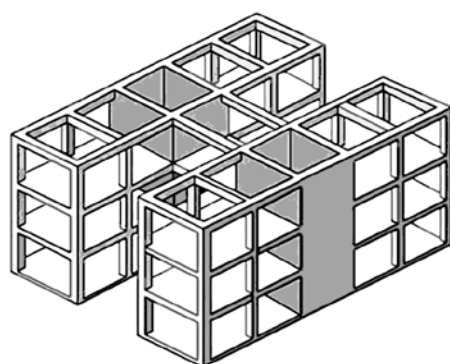
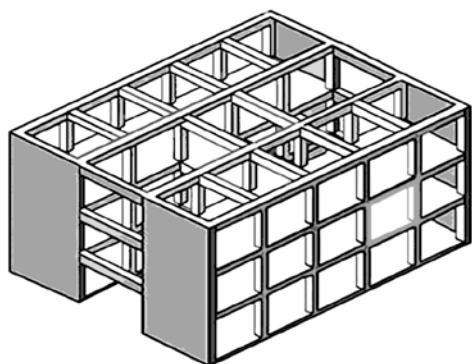
¿Cuándo es conveniente el sistema de pórticos?

Es adecuado utilizarlo si el proyecto requiere soluciones espaciales amplias, de cuatro o más metros de luz, si sus diferentes plantas arquitectónicas no pueden coincidir en sus muros o si es factible que dichos muros puedan ser removidos a futuro. Los pórticos permiten vanos de gran dimensión y mayor libertad arquitectónica, pero a cambio de ello su costo es generalmente mayor que los sistemas de muros portantes, pues en los sistemas aporricados los cerramientos espaciales deben ser generados con muros no estructurales, que de todas

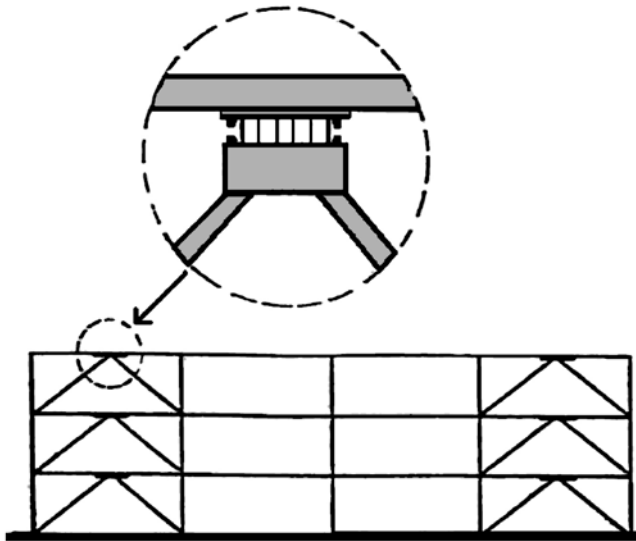
maneras deberán incorporar una estructura propia para evitar su colapso ante cargas horizontales. La integridad de la malla estructural generada por las columnas y las vigas debe ser respetada al máximo, desde la retícula de la cimentación hasta el nivel de cubierta, por tanto, no es conveniente la suspensión de vigas o columnas, y la propuesta arquitectónica deberá coincidir con la modulación estructural escogida. El tema de parqueaderos, que por lo regular se resuelve en los primeros pisos o sótanos, condiciona las dimensiones en las luces de los pórticos, pues las normas al respecto de circulación y aparcamiento son usualmente muy restrictivas. Antes de resolver en detalle las plantas superiores, deberá tenerse plena seguridad sobre el buen funcionamiento de la planta de parqueaderos.

¿Cuándo se requiere un sistema combinado de pórticos y muros?

En general un sistema combinado (o dual) nace de la necesidad de rigidizar una propuesta en principio aporricada, pero cuya flexibilidad, expresada a través de la deriva (desplazamiento horizontal de cada piso con respecto al anterior durante un evento sísmico) sobrepasa los límites impuestos por la normativa de nuestro país. (1% de la altura entre losas, en este tipo de estructuras).



Pórticos rigidizados con pantallas periféricas y pantallas al interior.



Rigidización de un edificio en estructura metálica con la utilización de riostras.

Concluir la necesidad de este requerimiento sólo se puede hacer con certeza con los cálculos efectuados con un software apropiado. Sin embargo, la experiencia nos indica que, dependiendo también de la dimensión general de las luces, requieren ser rigidizadas con pantallas las edificaciones aporricadas en concreto a partir más o menos cinco o seis pisos de altura, y usualmente rigidizadas con diagonales las edificaciones en acero estructural desde los dos pisos de altura. Hay que agregar, sin embargo, que es posible alcanzar mayor altura en pórticos de acero sin diagonales, empleando para ello perfiles metálicos más robustos, como por ejemplo las columnas tubulares rellenas de concreto, aunque esta opción generalmente resulta más costosa que la rigidización mediante riostras metálicas mencionada.

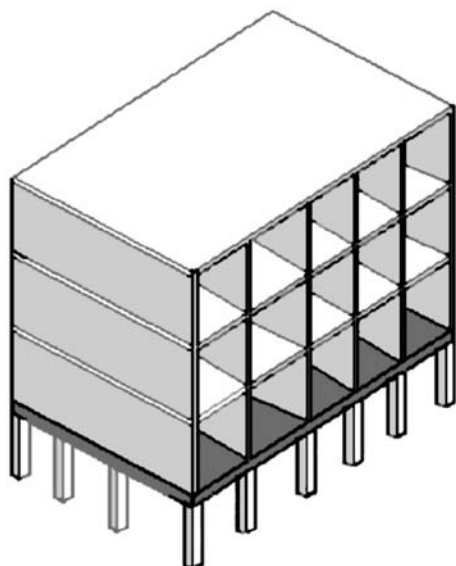
¿Se puede cambiar de sistema estructural en altura mediante una losa de transición?

La búsqueda ante exigencias económicas que beneficien la rentabilidad de un proyecto de vivienda hace concluir que el sistema de muros

es el más favorable y comercial para el mercado en estratos bajos y medio. Dicho planteamiento, unido por otra parte a la necesidad de luces libres para la circulación vehicular en los parqueaderos de los pisos bajos, ha concluido finalmente en soluciones de primeros pisos aporricados sobre los cuales se desarrollan edificaciones en muros portantes.

Estructuralmente esto significa apoyar un sistema estructural rígido sobre otro más flexible, lo cual a todas luces no es ideal para una zona de amenaza sísmica alta. Evidentemente es una solución adecuada desde el punto de vista comercial, pero no tanto desde la estabilidad estructural de la edificación cuando sea sometida a eventos sísmicos de importancia. ("Este tipo de combinación de sistemas estructurales en altura presenta inconvenientes en su comportamiento sísmico. En aquellos casos en que se tenga que recurrir a este tipo de combinación, la estructura se considera como irregular". NSR-10. Tabla A.3.5). De manera que la respuesta a este interrogante es que la losa de transición sí puede ser empleada, con las consideraciones mencionadas, pero en

todo caso no es conveniente. Si se toma esta decisión deberá existir coincidencia entre la retícula de los muros estructurales y la de los pórticos, intentando incluso que buena parte de los muros lleguen hasta el terreno, lo cual usualmente puede suceder con aquellos muros que separan las plazas de parqueo, para lo cual es necesario que la dimensión de los mismos coincida con la espacialidad de los recintos superiores.



Losa de transición entre muros y columnas.

Conclusiones

Escoger una buena propuesta estructural que sustente la arquitectónica no sólo es una obligación del arquitecto sino que debe ser

visto como algo inherente al mismo diseño de la edificación. Para lograrlo con solvencia, el arquitecto debe conocer las opciones que están a su alcance, así como sus ventajas, posibilidades, desventajas y limitaciones. La observación de proyectos bien resueltos, a manera de referentes, es una buena herramienta para poder posteriormente desarrollar la intuición requerida que permitirá una respuesta estructural de manera natural en la concepción del proyecto. El juicioso estudio de los avances técnicos en búsqueda de edificaciones más livianas, más eficientes, y de un mejor comportamiento sísmo-resistente deberá ser una constante en la exploración que un arquitecto realiza para formular sus diseños, y aunque la presencia de los ingenieros calculistas en teoría garantizaría un buen diseño estructural de las edificaciones, no existe nada mejor que un proyecto bien concebido desde sus primeros trazos, labor que como queda dicho corresponde al arquitecto.

Bibliografía

Asociación de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10. Decreto 926 de 2010. Diario Oficial. Marzo 26 de 2010.

CRISTOPHER, Arnold y REITHERMAN, Robert (1993). *Configuración y diseño sísmico de edificios*. Editorial Limusa.

FULLER, Moore (2001). *Comprensión de las estructuras en arquitectura*. Editorial Mc Graw Hill.