

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS COMPUESTAS: EDIFICIOS PARA VIVIENDAS¹

José Adolfo Peña U. / Carmen Yanes M.

INTRODUCCIÓN

El déficit de viviendas en América Latina alcanza, en las postrimerías del siglo XX, la cifra de los 50 millones de unidades, lo que representa una carencia avasalladora que engloba no sólo la vivienda, sino también la infraestructura y el equipamiento social, creando un profundo deterioro del hábitat del hombre latinoamericano.

No es posible seguir actuando con la sola alternativa de la construcción tradicional, en la cual no se ha realizado siquiera un proceso de racionalización que nos plantee la posibilidad de obtener una mayor productividad de los recursos de que disponemos, en cuanto a mano de obra, equipos y materiales. Continuamos trabajando con un margen de desperdicio y subutilización de los recursos, que no permite avizorar a corto plazo la satisfacción del «hambre de vivienda» a la cual están sometidos nuestros pueblos. Por los procesos tradicionales que conocemos en la construcción civil, difícilmente llegaremos a una solución que cumpla con planes emergentes y reales.

No hay duda de que la vivienda es un problema complejo: político, cultural, social, económico y técnico. Este trabajo pretende enfocar el problema sólo desde el punto de vista de los recursos de insumos que intervienen en su solución.

En cuanto a la mano de obra, no podemos ignorar el gran contingente humano que no cuenta con empleo en nuestros países y que, en muchos casos, no está preparado para incorporarse a los medios de producción. De ahí que no le es posible a América Latina, exportar como «ganado humano» su población a los mercados mundiales, en los cuales se mantiene una lucha por restringir la incorporación de mano de obra barata externa. En esa lucha han llegado a plantearse casos de racismo, por el temor de la

ABSTRACT
COMPOUND
STRUCTURES DESIGN AND
CONSTRUCTION: HOUSING
BUILDINGS

The fundamental objective of designing composite structures is to integrate various materials in a structural complex which has the required rigidity and resistance, each one participating with the inherent features characterizing their form of functioning.

The constructive process for the erection of the structure has relevant importance; said process has influence on the conception of the structural form so that it may respond satisfactorily to the force flow present at the set of components integrating it during execution. Other considerations of importance are the distortions obtained during the production stage. It is desirable to obtain a structure that, being integrated by a set of components and various materials, satisfies both the requirements during the constructive process intermediate stages and the requirements during the service stage, without needing to increase any expense in materials.

Steel producer countries that also have materials for concrete elaboration, with a tradition of usage of both materials, may find in composite structure (steel-concrete) an extraordinary potential for the construction sector. Concepts such as force flows, resistance and rigidity, among others, analyzed as a whole of new structure proposal which combined with the constructive duty can lead to a solution of lots of problems in this area; particularly in Latin America where the foreign influence technology has been applied without intellectual and technical knowledge, creating more problems than solutions. A Venezuelan experience based on this principles is presented in this paper.

RESUMEN

El diseño de estructuras compuestas tiene como objetivo fundamental la integración de diferentes materiales, en un conjunto estructural en el cual cada uno participa con las bondades intrínsecas que caracterizan su forma de trabajo.

El proceso constructivo para la elaboración de la estructura es de primordial importancia; influye en la concepción de la forma estructural para que ésta responda satisfactoriamente al flujo de las fuerzas que se presentan en el conjunto de componentes que la integran, durante su ejecución; de igual importancia es la consideración de las deformaciones que se tendrán en las fases de producción de la misma. Lo deseable es obtener una estructura, que estando integrada por un conjunto de componentes y materiales diferentes, cuente con la rigidez y la resistencia necesarias, y satisfaga los requerimientos tanto en las fases intermedias del proceso constructivo, como en su etapa de servicio, sin que para ello sea necesario incrementar el gasto de los materiales.

Los países productores de acero, con disponibilidad de insumos para la elaboración de concreto, y con tradición en el uso del acero y del concreto, tienen en las estructuras compuestas de acero-concreto, un potencial extraordinario para el desarrollo del sector construcción. Conceptos tales como flujo de fuerzas, resistencia y rigidez, entre otras, analizados en conjunto, en nuevas proposiciones estructurales, aunados al planteamiento del quehacer constructivo, pueden conducir a la solución de muchos de los problemas que el sector construcción presenta, y muy particularmente en América Latina, donde la influencia de tecnologías foráneas, aplicadas sin el dominio intelectual y técnico de las mismas, han creado más problemas que soluciones. En el presente trabajo se presenta una experiencia venezolana en la cual se aplican estos principios.

DESCRIPTORES:

Acero, Concreto, Estructuras compuestas, Prefabricación, Tecnología no convencional, Vivienda.

¹ Versión en español del artículo «Diseño y construcción de estructuras compuestas: edificios para viviendas» publicado por: Council on Tall Building, ed. 1997, International Conference on High Technology (Proceedings of the 2nd. International Conference held in São Paulo, oct. 30-31, 1997).

gente aglomerada en los países receptores, donde cuentan con una buena manera de vivir, de aceptar un contingente humano que en los primeros tiempos es mano de obra oprimida, pero que más adelante pueden reclamar derechos y sublevarse en la exigencia de los mismos.

Si tenemos un problema de desempleo aunado a un déficit dramático de viviendas, lo que nos queda es establecer planes que conlleven a acciones reales, para incorporar esa mano de obra a los medios de producción de viviendas, con la conciencia de que gran parte de esa mano de obra no está capacitada para el desempeño de funciones específicas. De ahí que los medios de producción tienen que permitir su incorporación, mediante el adiestramiento a través de la repetición de operaciones en manera rutinaria, en una primera etapa. Posteriormente estos trabajadores serán capaces de realizar operaciones de otra índole, donde su actividad se vea reconocida por la coparticipación en la producción y por la mejora de salario.

La «industrialización apropiada», que envuelve indudablemente tecnologías apropiables, es útil en la medida en que siendo gestadas a partir de nuestras capacidades, hagan posible su materialización con los medios de que disponemos en nuestros países, y uno de esos medios es el hombre.

La industrialización que requieren los países de América Latina en el sector construcción y en general, es aquella que le permita a todos tener un empleo, que le permita a todos comer todos los días, que le permita al trabajador enviar sus hijos a buenas escuelas donde reciba la enseñanza que él no pudo alcanzar. Los calificativos de moderno, avanzado, neoliberal, o cualquier otro epíteto en estado de fragua, no nos pueden distraer en una discusión inocua. Debemos ser socialmente responsables, servir con lo mejor de nuestros conocimientos, y obrar con sensibilidad para disminuir la injusticia social en la cual están sumidos nuestros pueblos; ello nos exige cada día de mayores y mejores actitudes y aptitudes, para disfrutar la libertad de vivir con dignidad y en paz social.

Una de las tareas más arduas y persistentes es la de racionalizar, o utilizar en forma no convencional, los materiales de que disponemos en una región. Hay una resistencia latente en el medio profesional, que obedece en algunos casos a falsos teoricismos, al amparo en códigos y normas para disfrazar la pereza mental que produce el uso continuo y repetido de un proceso o de una forma específica de actuación.

En Venezuela, los materiales más conocidos y utilizados en la industria de la construcción son el cemento y sus derivados; el acero en forma de cabillas, laminados planos, perfiles en series limitadas y mallas electrosoldadas; la arcilla en forma de bloques para tabiques y losas; y, por último, la cerámica.

El cemento es usado fundamentalmente para el concreto armado: el acero, para estructuras de acero en forma de esqueleto (vigas y columnas), como láminas dobladas planas para el uso de cubiertas de techos o como parte de la armadura en entresijos.

En la tarea de crear nuevas tecnologías de producción de componentes para la construcción de edificaciones, en los últimos treinta años, hemos hecho uso del concreto armado que, vaciado en formaletas metálicas en su posición definitiva de trabajo, y prefabricado en planta fija o a pie de obra, nos ha permitido acrisolar conocimientos tanto sobre el uso del concreto armado en el trópico –nuestro concreto caribeño– como en el manejo de la ingeniería del detalle, indispensable para el diseño de herramientas y encofrados metálicos de acero (figura 1). Esta experiencia nos ha brindado la oportunidad de desarrollar, en forma ecléctica, sistemas mixtos para la producción de componentes utilizando el acero como armadura rígida y el concreto como diafragma.

Aplicando estos conceptos hemos obtenido una economía sustancial en el uso de los materiales, que conjuntamente con el diseño de procesos repetitivos y fáciles de controlar, nos han conducido a lograr edificaciones livianas, económicas y resistentes a las solicitaciones.

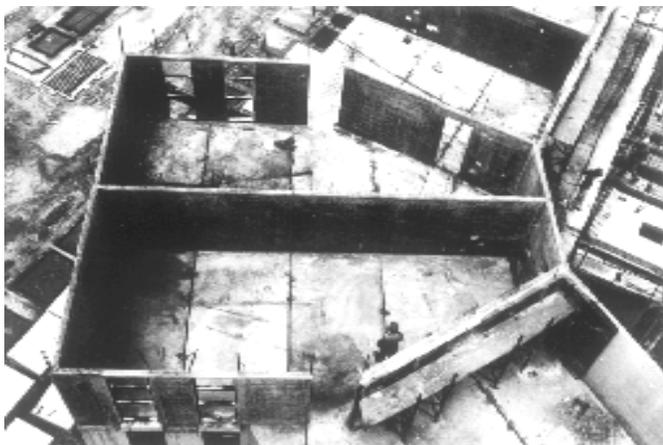
El habernos liberado desde nuestros inicios, de preceptos teóricos o de teorías no claramente fundamentadas en el desarrollo y puesta en marcha de nuevas tecnologías, y el apego al conocimiento adquirido y demostrado en sus fundamentos a través de las aplicaciones, nos permite hoy afirmar que lo importante y fundamental en la tarea emprendida es lo constante, lo consecuente y lo tenaz que se pueda ser ante el aprendizaje de los aciertos y desaciertos obtenidos. Constancia en la labor cotidiana, consecuencia con las premisas establecidas y tenacidad frente a los principios éticos y morales, es nuestro compromiso con la sociedad.

DISEÑO ESTRUCTURAL

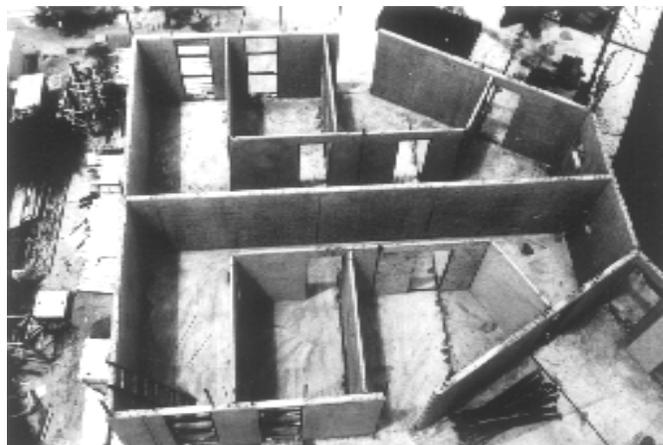
El diseño estructural, concebido con creatividad y ejecutado con destreza en el manejo de los conocimientos, hace posible el estudio del comportamiento de las edificaciones sometidas a un determinado estado de cargas desde una óptica no convencional, lo que implica analizar en el espacio un complejo esquema de fuerzas que actúan en tres dimensiones y que tienen un flujo tanto en dirección horizontal como en vertical. Este flujo de fuerzas está condicionado, por supuesto, a la ubicación y tamaño de los elementos componentes de la edificación, sean o no estructurales, y puede verse obstaculizado al interrumpirse un elemento constructivo o al establecerse un cambio brusco de sección.

FIGURA 1

SISTEMA CONSTRUCTIVO "SEL". (a) Paredes portantes en tres direcciones vaciadas en sitio con formaletas metálicas; (b) Tabiquería no estructural, prefabricada a pie de obra; (c) Proceso de construcción; (d) Conjunto de edificios de vivienda de 20 pisos en Maracaibo, estado Zulia, Venezuela; (e) Distribución estructural de las paredes portantes; doce apartamentos por piso.



A



FOTOGRAFÍAS: OTIP

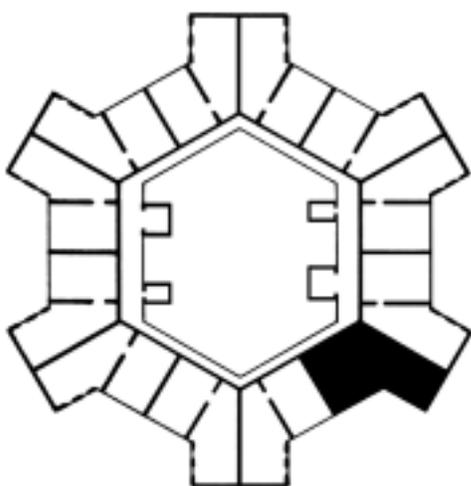
B



C



D



E

El transporte de ese flujo de fuerzas a las fundaciones sólo podrá ser solucionado satisfactoriamente si el diseñador tiene, desde el inicio del proceso de diseño, una visión clara del conjunto de la edificación y busca que en la transmisión de fuerzas, el conjunto estructural se comporte satisfactoriamente en cuanto a rigidez y resistencia se refiere, manteniendo a su vez homogeneidad con los elementos no estructurales que conforman la edificación.

La distribución de los elementos estructurales en líneas resistentes nítidas, la continuidad entre ellos, basada en una clara interacción de los mismos a través de uniones bien detalladas, obviará dificultades para comprobar de manera fehaciente, mediante el análisis estructural, su comportamiento bajo un estado de cargas. Lograda una estructura según estos principios, se simplificará su construcción, y al tener la continuidad descrita, podrá la edificación como un todo, soportar los efectos consecuentes del estado de cargas en forma armónica; las cargas se distribuirán a través de sus partes en la forma prevista y cada elemento compo-

nente realizará la fracción de trabajo que le corresponde. En cambio, si la trabazón mecánica de las partes o elementos estructurales es deficiente, o no integran líneas de resistencia, la acción de las cargas se manifestará separadamente sobre cada uno de ellos, en forma proporcional a sus masas, lo que se traduce en un peligro evidente.

Un edificio bien concebido, aunado a la correcta aplicación de lo prescrito en las normas, tendrá una "resistencia adicional" que le permitirá soportar la acción de las cargas con un factor de seguridad mayor que el contemplado en dichas normas. Pero, si en cambio, el edificio se configura con geometrías irregulares, tanto verticales como horizontales, se establecen cambios bruscos de rigidez de un piso a otro, o se diseñan detalles o conexiones de manera inadecuada, la "resistencia adicional" se verá anulada por el efecto de torsiones excesivas, que además demandarán niveles elevados de ductilidad y de resistencia.

Hay que insistir en que la estimación de la respuesta estructural de los edificios, no sólo es fruto de la aplicación de lo pautado en los códigos o normas y su posterior análisis, haciendo uso de un programa predeterminado en una computadora; se trata de algo más complejo, de saber intuir y deducir el comportamiento de la edificación, conociendo cómo se deben repartir las sollicitaciones entre los diferentes elementos que la componen, cómo es su interacción, y qué ductilidad se espera en su comportamiento, cómo actúan los elementos no estructurales, tales como las paredes divisorias de mampostería que se encuentran unidas a la estructura.

El hecho de diseñar estructuras rígidas no debe lograrse aumentando el peso de las mismas. La rigidez puede lograrse, por ejemplo, haciendo uso de paredes portantes, alrededor de los núcleos de circulación vertical, o incorporando las fachadas como elementos portantes, o mediante la diagonalización de algunos de los pórticos que integran la estructura, unidos de manera coherente y armónica con otros elementos estructurales.

En cuanto a construir estructuras más livianas, una opción posible son las estructuras compuestas de perfiles de acero y concreto armado, que ofrecen un buen comportamiento ante cualquier estado de cargas.

Las "edificaciones honestas", entendiendo como tales, aquellas que no esconden defectos de la estructura con falsos plafones, recubrimientos o fachadas espectaculares, cuya patología puede ser controlada durante los procesos de diseño y construcción de las mismas, pueden lograrse teniendo como marco de referencia la responsabilidad compartida entre quienes hacen las normas y reglamentos, las autoridades que las aprueban y les dan carácter legal, los propietarios, arquitectos, ingenieros de suelos, ingenieros estructurales, geólogos, ingenieros inspectores y constructores. Estos, en definitiva, son los actores

fundamentales en la tarea de determinar en cada región, las características de las edificaciones, de lo cual dependerá su comportamiento futuro.

ESTRUCTURAS COMPUESTAS

El diseño de estructuras compuestas tiene como objetivo fundamental la integración de diferentes materiales, en un conjunto estructural en el cual cada uno participa con las bondades intrínsecas que caracterizan su forma de trabajo.

Las estructuras compuestas tienden a tener su expresión propia, y de acuerdo con la destreza y con el conocimiento del diseñador, se puede lograr la armonía necesaria entre los requerimientos de la edificación en la cual se aplican. Los requerimientos son de variada índole, destacando entre otros: los funcionales, los de rigidez y resistencia, los económicos, los estéticos y la eficiencia del proceso constructivo. El proceso constructivo para la elaboración de la estructura es de primordial importancia; influye en la concepción de la forma estructural para que ésta responda satisfactoriamente al flujo de las fuerzas que se presentan en el conjunto de componentes que la integran, durante su ejecución. De igual importancia es la consideración de las deformaciones que se tendrán en las fases de producción de la misma. Lo deseable es obtener una estructura, que estando integrada por un conjunto de componentes y materiales diferentes, cuente con la rigidez y la resistencia necesarias, y satisfaga los requerimientos tanto en las fases intermedias del proceso constructivo, como en su etapa de servicio, sin que para ello sea necesario incrementar el gasto de los materiales.

Un planteamiento ecléctico como éste, permite obtener ventajas en lo económico, en los tiempos de construcción y en la expresión plástica de los espacios exigidos para el funcionamiento de la edificación; es lo equivalente a decir, que hace posible la máxima productividad de los recursos a nuestro alcance: calidad total.

TECNOLOGÍA NO CONVENCIONAL BASADA EN ESTRUCTURAS COMPUESTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE VIVIENDA

La vivienda, por su carácter de producto de consumo masivo, a diferencia de otras edificaciones de carácter particular, permite plantear procesos de construcción susceptibles de ser industrializados sin que ello signifique que se trata de series repetidas de edificaciones, sino de la producción industrializada de componentes con los cuales se pueden obtener diferentes soluciones.

La tecnología que aquí se presenta se aplica a la construcción de edificaciones de vivienda multifamiliar hasta de ocho pisos, utilizando elementos prefabricados, compuestos de acero y concreto armado.

Los elementos compuestos son de dos tipos:

a) Elementos planos cuyos bordes son de acero, conformando un bastidor que se rigidiza mediante un diafragma de concreto armado; entre ellos podemos distinguir las paredes portantes, los elementos que conforman la tabiquería interna, las losas de entrepiso y las losas de techo; b) Elementos lineales, como son las vigas, producidas en forma similar a los elementos planos, y las columnas que son tubulares de acero rellenos de concreto.

La circunstancia del riesgo sísmico existente en el 80 por ciento de las poblaciones de Venezuela, y el análisis sistemático del comportamiento de las edificaciones ante estos eventos, nos han inducido a identificar el sistema de paredes portantes en dos o más direcciones, como uno de los esquemas estructurales que ofrece mayores ventajas desde el punto de vista de la rigidez y la resistencia necesarias para soportar la acción de las fuerzas horizontales.

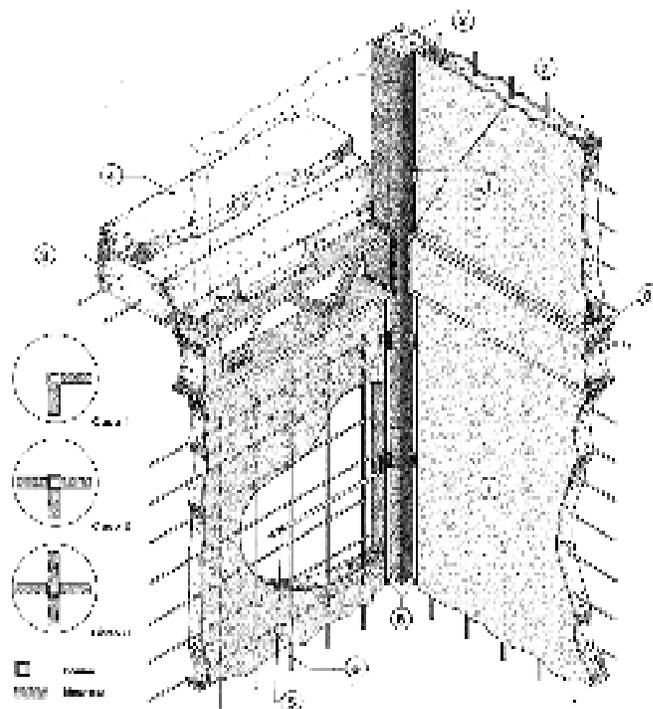
Por otra parte, en el proceso de diseño de viviendas, es factible determinar cuáles partes de la edificación son susceptibles de modificaciones en el tiempo y cuáles son permanentes, de manera tal que estas últimas pueden ser incorporadas a la estructura. En ese sentido, en la fase inicial del proceso de diseño, la tendencia es a conformar los edificios como un conjunto de paredes portantes que se ubican en el perímetro del edificio y que interactúan con pórticos internos. En función del esquema funcional de la edificación y de sus posibilidades de evolución se sustituyen pórticos internos por paredes portantes, conformando "cajas" o núcleos rígidos, todos interconectados entre sí. La estructura, así configurada, constituye un todo que se integra en un conjunto monolítico mediante uniones por soldadura, y con el vaciado adicional de un *topping* sobre las losas de entrepiso (figura 2).

Mediante este proceso es posible obtener múltiples soluciones de diseño adaptadas a las circunstancias particulares de cada obra (figuras 3, 4 y 5).

En cuanto a los procesos constructivos, éstos se ejecutan en dos fases fundamentales: la fabricación de los componentes, lo cual se realiza en una planta fija de producción, y el ensamblaje o montaje de los mismos, que se realiza en el sitio donde se ubica la obra.

La fabricación de componentes se realiza en dos etapas: 1) la elaboración de los bastidores de acero, en un taller metalmeccánico; 2) el vaciado de concreto sobre mesas metálicas de producción, que se realiza en una pista de prefabricación. Los bastidores de acero actúan como encofrado lateral, reduciéndose así la complejidad de las formaletas usualmente utilizadas para el vaciado de com-

FIGURA 2
ESTRUCTURAS COMPUESTAS: Isometría de la unión entre elementos prefabricados del Sistema CONCAPREGO. (1) Pared portante; (2) Columna tubular rellena de concreto, (3) Losa de entrepiso; (4) *Topping* estructural; (5) Conector entre el bastidor de la pared y el concreto de la misma; (6) Armadura de refuerzo del concreto de la pared; (7) Soldadura de unión entre elementos prefabricados; (8) Pletinas de acero que conforman el bastidor de la pared.



ponentes de concreto armado, debiendo centrarse el diseño de herramientas en los elementos de fijación, que constituyen un mínimo porcentaje del total de los medios de producción.

La independencia de las formaletas le imprime a los medios de producción una flexibilidad tal que permite al diseñador de la edificación una gran libertad de expresión desde el punto de vista formal, toda vez que el diseño del componente no está determinado por las características de la herramienta.

El ensamblaje de los componentes constructivos plantea dos alternativas: el manejo manual de elementos o el uso de equipos de izamiento. En función de características de la obra, tales como la localización, la disponibilidad de equipos y mano de obra se establecen algunos parámetros que rigen el diseño de los componentes, a saber: formas, dimensiones y pesos, entre otras.

En el plan de ejecución de cada obra se detalla la secuencia de operaciones a realizar, la organización y participación de los equipos y de la mano de obra en cada actividad, y los tiempos de ejecución de cada etapa. Ello permite hacer el seguimiento de la obra, el control de calidad y el control de costos de la misma, tareas necesarias para la evaluación sistemática de los procesos, lo que conduce a la retroalimentación de la tecnología.

FIGURA 3
SISTEMA CONCAPREGO: Parque Residencial "La Quinta", Los Teques, Venezuela. (a, b, y c) Proceso constructivo de un edificio de cinco pisos; (d) Detalle del montaje de elementos prefabricados de acero-concreto; (e y f) Vista exterior del conjunto de edificios.

FOTOGRAFÍAS: OTIP



A (28/11/96)



D



B (07/12/96)



E



C (20/12/96)



F

FIGURA 4

SISTEMA CONCAPREGO: Edificio de viviendas "Portillo I", Caracas, Venezuela. (a) Inicio del proceso de montaje de la planta baja de un edificio de viviendas de sustitución para los moradores de viviendas precarias ubicadas sobre el lecho de una quebrada; (b) Estructura terminada de un edificio de seis pisos. El montaje se realiza con grúa y el peso máximo de los elementos es de 1.500 kg.



A



B

FOTOGRAFÍAS: OTIP

FIGURA 5

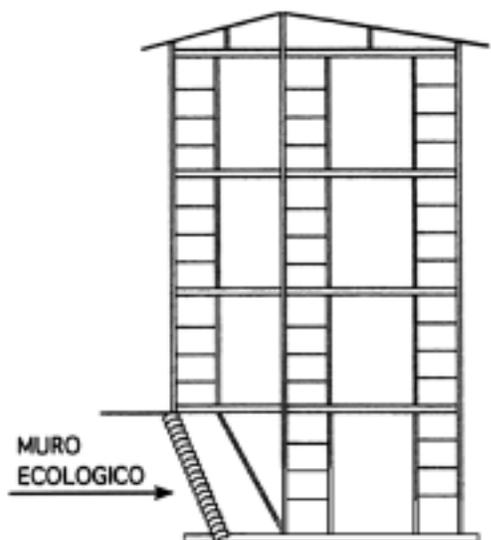
SISTEMA SANCOCHO: Edificio de viviendas "Aguachina". Caracas, Venezuela. (a) Edificio de cuatro plantas, que usa elementos de acero-concreto de manejo manual; (b) Sección transversal del edificio. (c) El muro de contención de la vía se integra a la estructura; (d) Detalle de la estructura terminada. Los componentes tienen un peso máximo de 70 kg.



A



C



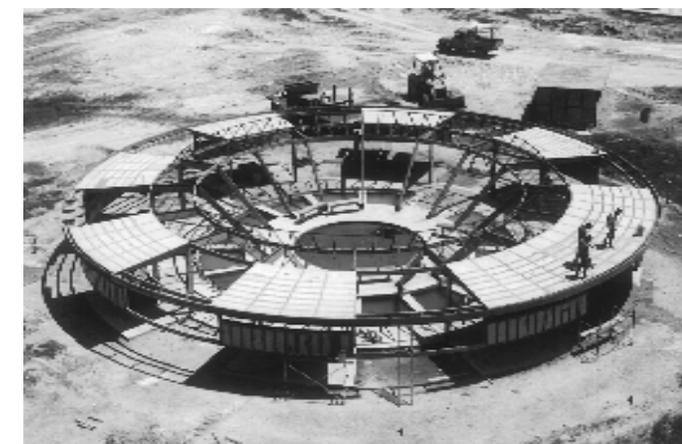
B



D

FIGURA 6

Centro de Estudios de la Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
 (a) Estructura mixta de acero-concreto, de 25 m de diámetro, de marcos rígidos colocados en forma radial con 3.7 m de volado; (b) Edificio completamente ensamblado.



FOTOGRAFÍAS: OTIP

A título de ejemplo, la figura 6 muestra una obra de servicios educacionales proyectada en forma convencional, en la cual, mediante la aplicación de los principios de las estructuras compuestas, se logró una reducción del 40 por ciento en el costo y del 10 por ciento en el tiempo de ejecución, sin afectar las características espaciales propuestas en el proyecto arquitectónico.

CONCLUSIÓN

Los países productores de acero, con disponibilidad de insumos para la elaboración de concreto, y con tradición en el uso del acero y del concreto, tienen en las estructuras compuestas de acero-concreto, un potencial extraordinario para el desarrollo del sector construcción. El aprovechamiento de ese potencial sólo puede ser obtenido mediante la investigación permanente de las posibilidades que estos materiales ofrecen, mediante el estudio de sus propiedades como material mancomunado, el planteamiento de propuestas estructurales integrales, no convencionales, en las cuales el comportamiento total sea el punto de partida y no el análisis separado de las partes. Conceptos tales como flujo de fuerzas, resistencia y rigidez, entre otras, analizados en conjunto, en nuevas proposiciones estructurales, aunados al planteamiento del quehacer constructivo, pueden conducir a la solución de muchos de los problemas que el sector construcción presenta, y muy particularmente en América Latina, donde la influencia de tecnologías foráneas, aplicadas sin el dominio intelectual y técnico de las mismas, han creado más problemas que soluciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PEÑA U., José A.; DEMBO, Nancy; DÍAZ P., Carlos; MAGGI, Luisa y YANES, Carmen. «CONCACERO I Sistem. A solution for education buildings». *Informes de la Construcción*, Vol. 38, No. 386, pp. 71- 83. Instituto Eduardo Torroja, España, diciembre 1986.

YANES M., Carmen. «El diseño de sistemas constructivos». *Revista Construcción y Tecnología* del IMCYC, Vol. IV, No. 46, pp. 6-16. México, marzo 1992.

BATONI, José A.; BATONI, Carmen V.; PEÑA U., José A. y YANES M., Carmen. «Sistema constructivo sancocho». Anales del *II Curso Iberoamericano de Técnicas Constructivas Industrializadas para Vivienda de Interés Social*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Montevideo, Uruguay, 1993.

PEÑA U., José Adolfo. «Arquitectura, ingeniería y sismorresistencia». Actas del *Seminario «La arquitectura en zonas sísmicas»*, pp. 139-140. Sept. 11 al 15, 1995, San Juan, Argentina.

PEÑA U., José Adolfo. «Technology for Simultaneously Buildings Upwards and Downwards». Proceedings of *International Conference, High Technology Buildings*, CTBUH. São Paulo, Brazil, oct 25-26, 1995.