

Diseño y Análisis de Edificaciones con Sistemas Constructivos Industrializados en Zonas Sísmicas

Sistemas prefabricados y Sistemas Mixtos.

José Adolfo Peña U. (*)

RESUMEN

Se plantea la razón de ser de los sistemas constructivos industrializados y se describen las nuevas tecnologías en el campo de la construcción de edificaciones. Se exponen los aspectos conceptuales que rigen el diseño y el análisis de los sistemas constructivos en zonas sísmicas, haciendo énfasis en la participación interdisciplinaria en la creación, desarrollo y puesta en marcha de los sistemas. Se presentan experiencias realizadas en Venezuela.

1. Razón de ser los Sistemas Constructivos Industrializados.

La necesidad cada vez mayor se suplir de viviendas, escuelas, hospitales, centros de servicios, etc., al hombre, nos ha hecho reflexionar, a los que participamos en la solución de este problema, sobre la urgencia de obtener un mayor rendimiento de los recursos de que disponemos, con la finalidad de aliviar las presiones sociales a las que están sometidos nuestros pueblos.

Como técnicos nos hemos percatado de que es necesario un cambio tecnológico dentro de la estructura productiva, cambio que no tendría sentido si lo planteamos solamente dentro de los requerimientos técnicos, sino que tiene que ser realizado además tomando en cuenta las implicaciones culturales y políticas que significan un cambio en la estructura productiva.

Podemos asegurar que un cambio tecnológico no se produce en el vacío sino en el seno mismo de la estructura productiva, y que es desde allí de donde se derivan las consecuencias socio-políticas.

En las nuevas tecnologías que hemos desarrollado se han tomado en consideración muy especialmente

los factores y circunstancias que imperan en la construcción tradicional en Venezuela. Es así como nos hemos abocado al desarrollo de tecnologías que nos permitan manejar sistemas constructivos, con lo cual hemos logrado aumentar la productividad de los recursos de que disponemos: maquinaria, equipo, insumos (materiales y componentes) y mano de obra.

2. Las Nuevas Tecnologías en el campo de la Construcción de Edificaciones.

Por tecnología entendemos un paquete organizado de conocimientos de distintas clases (científicos, técnicos, empíricos, etc.), provenientes de diversas fuentes (descubrimientos científicos, otras tecnologías, libros, manuales, patentes, etc.), a través de métodos diferentes (investigación, desarrollo, adaptación, experimentación, observación, etc.).

Entendemos por sistema constructivo el manejo de la tecnología que hace posible obtener un resultado a través de un proceso permanente, identificado y planificado, en el cual se hace uso de la producción en serie; es la sustitución de la artesanía por el uso de herramientas.

Como artesanía definimos aquel proceso que cada vez que se realiza requiere de la participación de un personal especializado que debe repetir la operación con una dirección y un esfuerzo tanto físico como mental.

A través de los sistemas constructivos se intenta disminuir la participación del artesano, diseñando herramientas que puedan ser manejadas por personas sin experiencia y sin participación de quien las produjo.

En el desarrollo de nuevas tecnologías y de sistemas constructivos hemos establecido como condición la participación mayoritaria de los recursos de equipo, insumos y mano de obra con que se cuenta en Venezuela. En el diseño y producción de las herramientas y equipos requeridos hemos aprovechado los recursos de la industria metalmeccánica establecida en el país.

Para la producción de herramientas, que pueden ser más o menos complejas de acuerdo a las circunstancias

que priven en el país, se requiere de la participación en alto grado de la industria metal-mecánica, pero cuando las herramientas se ponen en línea de producción cualquier obrero con una pequeña instrucción puede hacer uso de ellas. En cuanto a la no continuidad de la demanda, así como la variabilidad de los volúmenes otorgados a las empresas constructoras, estas son dos circunstancias que se mantienen cualquiera que sea la tecnología aplicada.

Si tomamos como ejemplo la producción de un elemento de concreto prefabricado haciendo uso de un molde de metal especialmente diseñado (ubicado a pie de obra) vemos que no se necesita la especialización del carpintero, que el vaciado del concreto es muy sencillo, y que el alisado de la superficie superior se puede realizar con una alisadora mecánica o manual, es decir, la utilización de la herramienta sustituye la participación del artesano por mano de obra no especializada, este es uno de los factores de la industrialización y de lo que se llama la producción en serie.

No es la producción de herramientas, en este caso el molde, lo que hace posible la producción en serie sino la organización de los mismos dentro de la producción. En un proceso en el cual se utilizan varios moldes, se organiza que su uso se haga cada veinticuatro horas de manera lineal. Para el manejo de una pista, se organiza primero la participación de los que arman el molde, de los que limpian, de los que colocan el antiadherente, de los que colocan la armadura, los detalles de anclaje y los de electricidad, etc., luego de los vaciadores de concreto y por último de los que realizan el acabado final. Este proceso repetitivo califica la producción en serie del sistema constructivo.

El uso de los recursos de la industria metal-mecánica, puede ser aprovechado para la producción de elementos constructivos prefabricados de acero, las cuales pueden ser incorporados dentro de la edificación como elementos simples de acero o como parte de la armadura rígida de un elemento mixto concreto-acero.

En estos casos la producción de los elementos de acero se hace en el taller, lo cual permite elaborar piezas

(*) Profesor, IDEC; Facultad de Arquitectura, U.C.V., Caracas. Ingeniero; Equipo de Diseño OTIP. C.A. Y LARPRE C.A.

de utillaje (patrones) por parte del personal especializado. Esto asegura el control de calidad en la producción de todos los elementos y permite la participación, en el ensamblaje, de mano de obra no especializada. Las piezas de utillaje (patrones) en los sistemas constructivos de acero, son equivalentes a los moldes en los sistemas constructivos de concreto.

Es un tema a discutir, se trata de sustituir al artesano, dado que en Venezuela no se cuenta con abundancia de obreros especializados (albañiles, carpinteros, soldadores, plomeros, electricistas, etc.) y en cambio si hay que incorporar el gran caudal existente de mano de obra no especializada a los medios de producción con herramientas muy sencillas y que estén a nuestro alcance. Por la forma en que se organiza la producción con el uso de sistemas constructivos, es posible adiestrar la mano de obra no especializada, la cual puede alcanzar con ello un mejor medio de vida (instrucción y salario). La experiencia que hemos realizado se mantiene dentro de estas ideas sobre el grado de industrialización.

En nuestro caso, en Venezuela los sistemas constructivos industrializados están basados en las siguientes tecnologías: la prefabricación, el vaciado de concreto con encofrados metálicos y en la incorporación de las dos tecnologías anteriores en lo que llamamos sistemas mixtos.

En lo que se refiere al uso de materiales, hemos utilizado mayoritariamente el concreto armado, en algunos casos el concreto pretensado y en otros casos hemos combinado el acero como armadura rígida (perfiles) con el concreto armado.

En cuanto a tipos de estructuras, los sistemas constructivos que hemos aplicado se basan en estructuras conformadas por paredes portantes en dos o más direcciones conectadas.

3. Diseño de Sistemas Constructivos Industrializados en Zonas Sísmicas.

Cuando se trata de diseñar una edificación a ser cons-

truida con un sistema industrializado, la cual se ubicará en una región con riesgo sísmico, es necesario conjugar criterios de funcionalidad, de economía y de seguridad, con la expectativa de lograr una productividad mayor que la obtenida con los sistemas tradicionales. Esta productividad está íntimamente relacionada con el máximo aprovechamiento de los insumos de que se dispone. Esta productividad se entiende que no alterará en manera negativa la seguridad de las edificaciones; por el contrario, con los sistemas industrializados es posible establecer mecanismos de control, gracias a la repetición de las operaciones, que garantizan el cumplimiento de las hipótesis que se establecieron en la etapa de diseño. Indudablemente que las hipótesis desde el punto de vista de la seguridad de las estructuras construidas con sistemas industrializados, serán particulares de cada sistema en sí, y además dependerán de la tecnología que sea utilizada. En el caso de la prefabricación, por ejemplo, basada en grandes paneles, hay que estar conciente por una parte, de la importancia que tienen las hipótesis que se establezcan para el manejo de los elementos prefabricados y por otra, de las hipótesis que se establezcan para realizar las uniones de los mismos. Esto último ha sido el "Tabú" de los sistemas prefabricados.

Indudablemente que las uniones en un sistema prefabricado constituyen zonas de ablandamiento del sistema estructural. Pero queremos recalcar que este hecho no hace imposible la solución del problema de garantizar la integridad del conjunto estructural compuesto de elementos prefabricados, dotándolo de la seguridad exigida a las edificaciones construidas en zonas sísmicas.

Cabe preguntar ¿Acaso en la construcción tradicional no hay problemas de uniones cuando de solape de armaduras o cuando de cortes de vaciado se trata?. Son problemas que existen, para los cuales se han establecido las respectivas hipótesis y se cuenta hoy en día con un estado del arte ampliamente conocido y difundido. No podríamos en cambio, decir lo mismo para la construcción basada en la tecnología de la prefa-

bricación, en la cual hay poco conocimiento y muy escasa difusión por las razones que señalaremos más adelante.

Sin embargo, la solución de diseño dependerá de la capacidad y la destreza del diseñador estructural, para establecer las hipótesis y deducir los parámetros en los cuales se basará el conjunto estructural compuesto de elementos prefabricados, apoyándose en la experiencia adquirida, bien sea a través de la investigación experimental, o de la realización de estudios teóricos y la aplicación de los conocimientos obtenidos en la puesta en marcha de sistemas constructivos similares. No ponemos en duda que una gestación de ideas realizada en manera creativa e intuitiva podrá dar como resultado un cuerpo de decisiones que en su conjunto sea "la solución" del problema planteado, pero será necesario corroborarla por medio de ensayos de laboratorios o ejecutando prototipos experimentales que permitan hacer la evaluación final.

En conclusión la creatividad y la intuición, aunada al conocimiento y a la destreza del diseñador, es lo que constituye el "cocktail" ideal para lograr las soluciones más apropiadas en el campo de la Ingeniería. Cuando nos referimos a Ingeniería estamos pensando en el ingenio para resolver los problemas que nos son encomendados haciendo el mejor uso y obteniendo la mayor productividad de los recursos de que disponemos en una región.

En cuanto a la influencia de la tecnología en el diseño de un sistema constructivo industrializado, teniendo la expectativa de un comportamiento adecuado ante la acción de un sismo determinado, podemos señalar que las hipótesis establecidas para la construcción tradicional en base a paredes portantes es totalmente aplicable a las estructuras producidas con la tecnología del vaciado en sitio mediante encofrados metálicos, tanto para las paredes como para las losas.

Estas hipótesis también son aplicables cuando se combina la tecnología para el vaciado de las paredes solamente, con la tecnología de la prefabricación para la producción de las losas de entrepiso. En este caso,

surgen hipótesis adicionales que definen el comportamiento del conjunto de elementos que componen la losa de entrepiso, como un diafragma rígido en su plano.

En el caso de la tecnología de la prefabricación, tanto para las paredes portantes como para las losas de entrepiso, las hipótesis en las cuales se basa su comportamiento estructural, varían.

Los sistemas prefabricados, desde el punto de vista de su integridad estructural, plantean conjuntos estructurales compuestos de elementos unidos de una determinada forma. Siendo que los elementos componentes son prefabricados, ellos se ven sometidos a solicitaciones diferentes a las exigencias dentro del conjunto estructural, en las diferentes etapas de producción, transporte y montaje. Estas solicitaciones pueden ser de características y magnitudes que no se asemejan con las previstas en su lugar definitivo de servicio dentro del conjunto estructural. La mayoría de estas solicitaciones pueden ser previstas y cuantificadas de acuerdo a la tecnología que se esté utilizando; por ejemplo, los efectos de flexión de una pared que se vacía horizontalmente en el momento del desencofrado o de su puesta en posición vertical. En cambio, otras solicitaciones se originan por los sacudimientos inevitables a los cuales se ven sometidos los elementos prefabricados durante su manejo, transporte y montaje. El diseñador del sistema constructivo tiene que estar conciente de estas circunstancias y contar con suficiente experiencia y habilidad para resolver estas situaciones que, como se aprecia, no es lo común en el diseño de estructuras previstas para ser construidas en la manera tradicional.

Las uniones de los elementos prefabricados se podría decir que son "zonas de ablandamiento" del conjunto estructural, que causan discontinuidad temporal o permanente en la transmisión de las fuerzas. El grado de discontinuidad dependerá del diseño y características que se le impongan a los bordes a unir de los elementos prefabricados, de la posibilidad de agregar refuerzos adicionales dentro de los espacios de unión,

así como de la facilidad para vaciar concreto en ellas, si se trata de uniones húmedas, o la de realizar la soldadura o unir pernos, en el caso de uniones secas.

En el caso de estructuras en base a paredes prefabricadas de concreto armado, la discontinuidad que plantea la unión entre elementos prefabricados se debe a la dificultad de dar a las armaduras el solape adecuado y a las características del concreto o mortero vaciado en el espacio de la unión, que en la mayoría de los casos, resulta muy limitado. La restitución de la continuidad estructural, tanto en las uniones horizontales como en las verticales por efecto de las armaduras que en ellas es posible incluir, no logra ser en la mayoría de los sistemas, equivalente a la continuidad inherente a las estructuras vaciadas en sitio. Sin embargo, es posible asegurar, en un edificio compuesto de paredes prefabricadas de concreto armado, la integridad estructural suficiente por medio de uniones verticales y horizontales adecuadamente diseñadas.

El trabajo conjunto de un sistema estructural compuesto de elementos prefabricados depende, indudablemente, de la eficiencia de sus uniones tanto horizontales como verticales, especialmente en lo concerniente a la resistencia de ellas a fuerzas tangenciales. El grado de interacción entre los elementos prefabricados dependerá de la capacidad de la unión para permitir el flujo de fuerzas tangenciales desde el borde de un panel al otro. La resistencia de un elemento componente prefabricado se ve disminuida dentro del conjunto en la medida que la resistencia al corte de las uniones horizontales y verticales se ve influida por el agrietamiento progresivo del relleno de las uniones, de tal manera que el deterioro continuo de las uniones trae como consecuencia un comportamiento no-elástico del conjunto estructural compuesto de elementos prefabricados.

Es por estas razones señaladas, entre otras, que las uniones deben cumplir con ciertos requisitos, entre los cuales cabe mencionar:

- Seguridad
- Ductilidad

- Rígidez y monolitismo

- Estabilidad durante la etapa del montaje

- Resistencia a la intemperie y al fuego

- Precisión geométrica

- Sencillez en su ejecución

- Economía

- Apariencia aceptable

De los requisitos mencionados, tal vez el de la ductilidad es el más importante cuando se trata de conjuntos estructurales que pudieran estar sometidos eventualmente a la acción de sismos.

En un conjunto estructural compuesto de elementos prefabricados, sometidos a la acción de un sismo, la integridad estructural o la resistencia del mismo al colapso progresivo, dependerá fundamentalmente de la ductilidad de sus uniones.

Sobre estos aspectos hay muy poca investigación como se evidencia en los reportes derivados de múltiples reuniones internacionales, entre las cuales cabe mencionar:

- Research Workshop on Earthquake-Resistant Reinforced Concrete Building Construction, July 1977, University of California, Berkeley.

- Sofia Conference: Industrialization, Bulgaria, October 1983.

El progreso que se ha obtenido en la aplicación de nuevas tecnologías y en especial la de los sistemas prefabricados, ha sido fruto de la necesidad que han tenido las comunidades de suplir sus déficit de viviendas, escuelas, hospitales y obras de servicios, para lo cual se han organizado equipos de profesionales de diferentes disciplinas que con buena intuición y experiencia han obtenido, en algunos casos, resultados positivos. En los procesos de desarrollo de esas tecnologías se han realizado experimentos y se han ejecutado prototipos para comprobar las hipótesis de diseño. Algunos de estos resultados han sido publicados o presentados en conferencias nacionales e internacionales. En nuestro criterio la poca difusión de estos aspectos radica en el hecho de que muchos de esos procesos tecnológicos han dado como resultado, desde el

punto de vista económico, patentes que amparan esa manera de resolver los procesos constructivos. Se ha confundido la comprobación de hipótesis y el planteamiento de nuevos conocimientos con la comercialización de procesos o maneras de organizarse, ello con la finalidad de vender a terceros paquetes que incluyen equipos, herramientas y enseres, muchas veces no necesarios, junto con el "know how" que rara vez es aplicable, ya que sus determinantes de uso obedecen a patrones culturales y de recursos nada parecidos a los del comprador.

Por otra parte, cabe señalar que la mayor difusión de los sistemas prefabricados ha surgido en regiones donde el sismo no es imperativo. Los casos de experiencias como las desarrolladas en países socialistas, caso de Rumanía y Yugoslavia entre otros, han tenido cierta difusión, en especial el caso del Rumanía, después del terremoto de Bucarest en 1977; con ello ha sido posible corroborar una vez más que las hipótesis en las cuales se han basado algunos de los sistemas prefabricados en Venezuela, son válidas y adecuadas a las condiciones de la prefabricación en zonas sísmicas.

4. La Participación de las Diferentes Profesiones en el Proceso de Creación, Desarrollo y Puesta en Marcha de los Sistemas Constructivos Industrializados.

Retomando la idea inicial, esbozada en el punto 3), acerca de la necesidad durante el proceso de diseño, de conjugar criterios de funcionamiento, de economía y de seguridad, con la expectativa de lograr una mayor productividad, cabe señalar que la actuación de un equipo interdisciplinario que tenga un enfoque único y coherencia entre sus participantes, hará que la toma de decisiones abarque los diferentes aspectos que deben ser considerados, satisfaciendo las exigencias que la edificación imponga "per se". Dicho de otra manera, en el momento de planificar y de diseñar una edificación es necesario resolver aspectos de funcionamiento, que es una labor inherente al arquitecto, de seguridad estructural, labor inherente al ingenie-

ro y de instalaciones y servicios, que competen a los ingenieros eléctricos y mecánicos. El resolver cualquiera de estos aspectos en forma diligente pero aisladamente no asegura que la solución adoptada para la edificación sea la más apropiada, pues basta que se establezca un conflicto del aspecto parcial "bien resuelto", con otro de una especialidad diferente para que se originen consecuencias no deseables en la edificación.

La manera tradicional de pensar y actuar el profesional, ha respondido, por lo general, a los requerimientos y circunstancias de la obra unitaria o singular, en tanto que el cambio sustancial de las exigencias requiere de nuevos métodos de trabajo y de producción del diseño, por lo tanto, una formación sustancialmente distinta.

Es necesario para abordar el problema una acción planificada en la cual sean tomados en cuenta los factores y fuerzas de: economía, análisis y producción.

Ante este difícil problema, es imposible seguir pensando en que sea solucionado por una sola persona, que utiliza posteriormente los servicios de otros profesionales para darle forma a su idea. Es necesario, por el contrario, la creación de equipos interdisciplinarios durante todas las etapas de diseño y producción, que intervengan sistemáticamente en la toma de decisiones durante el transcurso de la proposición de ideas y su posterior desarrollo. No se trata simplemente de una asesoría circunstancial, sino más bien de un equipo integral en el cual estén responsabilizados cada uno de sus miembros, en el resultado final. Esto trae como consecuencia el que las diferentes especialidades concurrentes, deban trabajar con una metodología y enfoque únicos, coherentes entre sí.

No es posible seguir dejando a la imaginación y capacidad de un solo profesional la responsabilidad de tomar decisiones que afecten directamente otras especialidades y cuya magnitud, importancia y complejidad sobrepasan la capacidad de un solo individuo sea cual fuere su profesión o talento, pues siempre incurrirá en el error de ver un aspecto parcial del gran problema total (económico, urbano, arquitectónico, estructural,

de producción, etc.).

Nos encontramos ante la imperiosa necesidad de formar los equipos de diseño, donde cada profesional que interviene es un especialista, pero la toma de decisión se efectúa en equipo.

¿Quién debe regir o coordinar el equipo de diseño y qué herramientas dentro del campo del conocimiento se deben manejar?

Esto no es inherente a ninguna profesión sino que se relaciona con la capacidad de los individuos para organizarse y producir algo en función de una necesidad, y aunque es delicado decirlo aquí, esta capacidad no la provee la Universidad, la cual en cambio, si contribuye a crear una base en el individuo para organizar su pensamiento y obtener un conocimiento. Pero desgraciadamente nuestras Universidades están planteadas dentro de un falso nivel académico que esconde cierta ignorancia para poder analizar las circunstancias del país y sus necesidades. Esto es válido aún estando dentro y defendiendo a la Universidad. Es importante desarrollar un nivel de conciencia que permita analizar las circunstancias, y si muchas veces no se tienen los conocimientos para dárselos a quien se está enseñando, por lo menos se debe crear conciencia de estas limitaciones.

Hace dos décadas en Venezuela, no nos era posible hacer un resumen de lo que era una experiencia en el desarrollo y puesta en marcha de sistemas constructivos industrializados, pero por lo menos teníamos la inquietud para crearlos; y como señalábamos al comienzo, teníamos un objetivo que seguimos manteniendo: tratar de alcanzar mejores instrumentos para obtener cosas mejores que las que tradicionalmente se hacen en el país.

En cuanto a la participación de las diferentes disciplinas es necesaria una comunidad sólida y coherente que, en la búsqueda de estos objetivos a través del tiempo, sepa analizar y controlar ansiedades por llegar al término de las realizaciones y a obtener la experiencia.

El nivel de participación de un profesional debe obe-

decer a las ideas que él pueda aportar y a su colaboración en el trabajo colectivo, que le permita al equipo ir alcanzando las metas planteadas; es necesario un coordinador del equipo interdisciplinario, pero no una persona que por el manejo de los instrumentos sea quien lleve la batuta. Una cosa es la coordinación del equipo y otra el resultado que se obtenga del mismo. En la medida en que este resultado pertenezca al equipo, el sistema constructivo será mucho más eficiente. Si estamos planteando la sustitución del artesano por un obrero no especializado, debemos también, dentro de los equipos interdisciplinarios que desarrollan sistemas constructivos, eliminar esa artesanía del quehacer diario de la profesión y elaborar los manuales que faciliten el trabajo rutinario de diseño y que nos permitan abocarnos a la búsqueda de otros resultados. Por otra parte, los sistemas entrarán en vigencia durante algunos años y luego se harán obsoletos y estos equipos de profesionales deben estar en capacidad de perfeccionar y mantener actualizados los sistemas constructivos o de diseñar nuevos sistemas en base a la experiencia obtenida. En el cuadro siguiente se exponen en forma esquemática las responsabilidades que se derivan de la actuación profesional en el campo de la construcción tradicional e industrializada.

| Actividad | Ente responsable en la Construcción Tradicional | Ente responsable en la Construcción Industrializada | |
|--------------|--|---|--|
| | | | |
| Proyecto | Arquitecto/Ingeniero Estructural | Diseño del Sistema y Análisis Estructural | (Arquitecto/Ingeniero Estructural)* |
| | | Aplicación del Sistema en una edificación | Arquitecto |
| Construcción | <p>CONTRATISTA GENERAL.</p> <p>LA RESPONSABILIDAD PROFESIONAL LA ASUME EL INGENIERO RESIDENTE.</p> <p>EVENTUALMENTE EXISTE UNA SUPERVISION POR PARTE DEL PROYECTISTA, MAS BIEN SOBRE ASPECTOS DE ARQUITECTURA.</p> | Producción de los elementos Prefabricados | Fabricante, Supervisión del (Arquitecto/I.E.)* |
| | | Diseño de las Uniones | (Arquitecto/I.E.)* El fabricante asume responsabilidades en cuanto a tolerancias y acatamiento de las especificaciones. |
| | | Diseño de los elementos prefabricados en cuanto a previsiones especiales para la producción, manejo y almacenaje. | (Arquitecto/I.E.)* El fabricante se responsabiliza de acatar las especificaciones particulares. |
| | | Montaje y Secuencia de Montaje | El contratista del montaje asume la responsabilidad de su realización, el (Arquitecto/I.E.)* emanan las especificaciones particulares necesarias, ellos deben realizar la supervisión. |
| | | Acabado Final | El Arquitecto especifica el propio, el fabricante y el contratista del montaje se responsabilizan de su ejecución. |

(*) Es el mismo equipo interdisciplinario

5. Análisis de los Sistemas Constructivos Industrializados en Zonas Sísmicas.

Los sistemas constructivos varían, por supuesto, según el tipo de estructura a emplearse. En nuestro caso hemos dado gran importancia al sistema estructural de paredes portantes, ya que éste ofrece múltiples ventajas en lo que a soporte de cargas verticales y eventuales sismos se refiere, además de suministrar gran porcentaje de los cerramientos y particiones de los ambientes de la edificación.

Desde el punto de vista del comportamiento estructural ante la acción de eventuales sismos, es más ventajoso contar con sistemas estructurales que ofrezcan rigideces similares por lo menos en dos direcciones. Este último es el caso de las estructuras con paredes cruzadas. Si además de contar con un sistema de paredes cruzadas, estas se encuentran conectadas, la magnitud de los esfuerzos en ellas será menor que en el caso de paredes sueltas. Menores esfuerzos indican menor gasto de material.

Por las razones expuestas, hemos insistido siempre en la necesidad de plantear estructuras de paredes cruzadas conectadas, como veremos más adelante, en algunos ejemplos de edificaciones realizadas con sistemas constructivos haciendo uso de paredes portantes.

La diferencia entre las tecnologías del vaciado en sitio mediante el uso de encofrados metálicos y la prefabricación, radica en la necesidad de desarrollar la integridad estructural en los sistemas prefabricados, estableciendo la continuidad en las zonas de las uniones de las paredes. Esta hipótesis fue puesta en evidencia en forma alarmante por la falla ocurrida en el Ronan Point en el año 1968; este hecho y estudios posteriores hicieron revisar la hipótesis que se venían manejando en ese momento. En lo que al caso Venezuela se refiere, es en este año donde nos encontramos dando comienzo a las primeras experiencias en el uso de sistemas constructivos industrializados, como fue la experiencia del sistema mixto "SEL" en el Desarrollo Ca-

ricua-UD 7 y 8 en Caracas, así como el caso del sistema prefabricado de "Vivienda Venezolana". La experiencia del "Ronan Point", se suma a la conciencia que se toma en Venezuela por la ocurrencia del terremoto de Caracas del 29 de julio de 1967, el cual dejó un saldo muy lamentable.

Como consecuencia de ello se realizaron varios estudios en Venezuela; en lo que a nosotros compete se elaboró un estudio que dio como resultado un "Método de Análisis de Sistemas de muros de Pared Delgada con Secciones Abiertas Sometidas a Flexión y Torsión por Flexión", realizado por José A. Delgado Ch., José A. Peña U. y Waclaw Zalewski en el año de 1970, el cual fue patrocinado por el Banco Nacional de Ahorro y Préstamo (BANAP) y auspiciado por la Asociación Venezolana de Ingeniería Estructural (AVIE).

Previo al inicio de la puesta en marcha del sistema prefabricado de la empresa "Vivienda Venezolana", se realizan ensayos a fuerza cortante de las uniones entre elementos prefabricados que estaban planteadas. Dichos ensayos fueron realizados en el "Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, IMME" U.C.V., Caracas en el año de 1968. Posteriormente esta empresa planifica realizar un "Estudio Sísmico Básico de Edificios Prefabricados", el cual contempló la ejecución de un modelo a escala natural y cuyo ensayo fue realizado por el "Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil de Lisboa, Portugal, LNEC" en el año de 1970. Asimismo, se realizaron ensayos sobre modelos a escala natural, para investigar el comportamiento de las paredes acopladas mediante dinteles.

Los estudios analíticos realizados, así como la interpretación de los resultados de los ensayos nos llevaron a establecer las hipótesis y los parámetros para analizar los edificios prefabricados en base a paredes portantes. Una hipótesis fundamental que hemos establecido en el diseño, análisis y construcción de este tipo de edificios en zonas sísmicas, es la necesidad imprescindible de saber unir bien los elementos componentes de la estructura.

Desde el punto de vista del análisis estructural de este

tipo de edificios, a diferencia del procedimiento de tratar los esfuerzos normales en la sección del elemento prismático como la suma de los esfuerzos debidos a las influencias de la fuerza longitudinal N_z y de los momentos M_x y M_y , se plantea la hipótesis de considerar el estado final de esfuerzos como la suma de los estados característicos a las tres traslaciones de la sección en dirección de los tres ejes X, Y, Z. Todo esto, asumiendo la repartición lineal de dichos esfuerzos longitudinales en todas las secciones y considerándolas, en esta oportunidad, como la única causa de las deformaciones. A la luz de estudios analíticos más recientes y del trabajo experimental se han establecido otras hipótesis, como es la consideración del comportamiento no lineal de las zonas que conectan los paneles prefabricados.

No es el caso desarrollar y demostrar en esta oportunidad las hipótesis de análisis de las edificaciones construidas con sistemas industrializados, especialmente las prefabricadas, sino más bien transmitir los aspectos conceptuales fundamentales que hemos manejado en el diseño, análisis y puesta en marcha de los mismos.

6. Experiencias Realizadas en Venezuela.

Los conceptos generales expuestos en el presente trabajo han tenido aplicación en el desarrollo de tecnologías constructivas para estructuras en base a paredes portantes cruzadas y conectadas, que se describen a continuación.

La tecnología del vaciado repetitivo de concreto con formaletas metálicas ha sido utilizada para la construcción del Desarrollo Habitacional "Augusto Malavé Villalba" en la región central de Venezuela. Para esta obra se diseñaron encofrados tipo túnel adaptados a las formas estructurales propuestas en el proyecto. El diseño estructural y arquitectónico de este conjunto se basa en el uso de una unidad espacial básica cuya forma en planta es la de un pentágono irregular en forma de cuña. La estructura se ajusta a la unidad espacial y se compone de paredes de concreto armado y losas

macizas de concreto armado de luz variable que trabajan en una sola dirección.

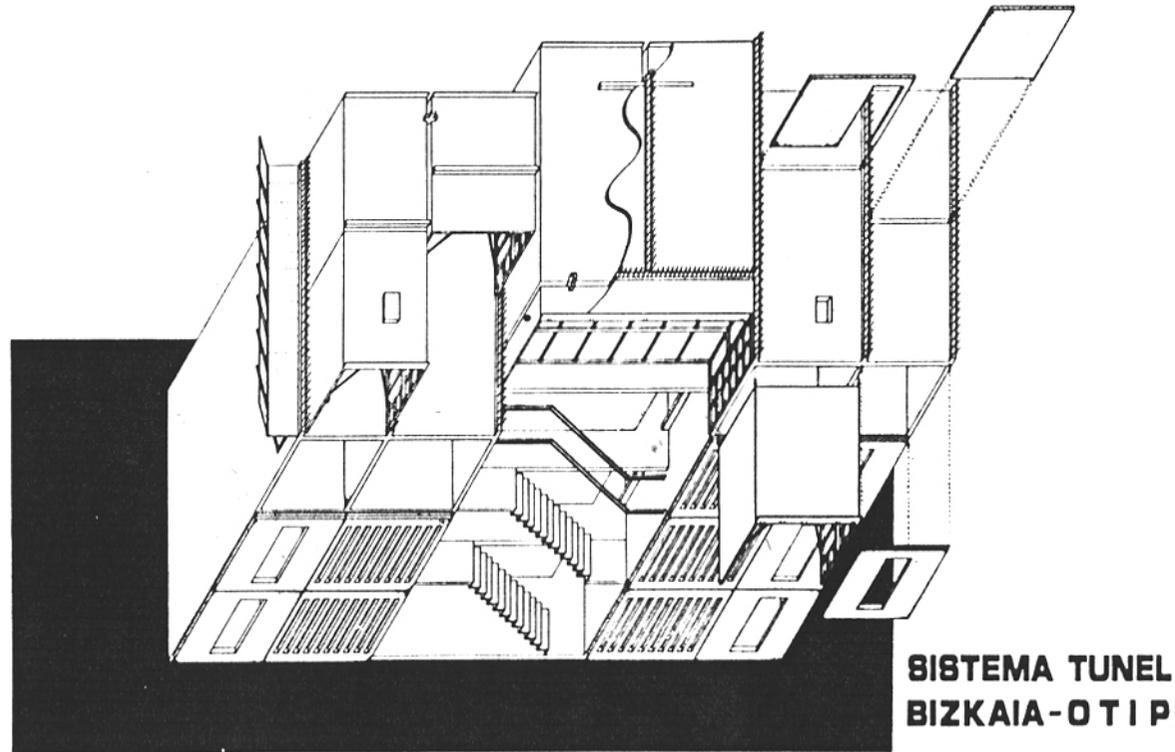
El desarrollo habitacional está formado de siete sub-conjuntos. Cada sub-conjunto combina edificios de ocho pisos con edificios de cuatro pisos. Para el análisis estructural de los conjuntos se plantearon bloques estructurales y de construcción compuestos básicamente por un edificio de ocho pisos y dos mitades de edificios de cuatro pisos, ubicados adyacentes al de ocho pisos. Aplicando este principio se definieron para los cuatro primeros niveles estructurales similares a una "S" o a una "E" y para los niveles superiores, estructuras similares a una "U", obteniéndose de esta manera, una estructura cruzada con elementos resistentes capaces de soportar las fuerzas horizontales debidas al sismo.

Lo novedoso de esta aplicación consistió en hacer uso de una tecnología ampliamente utilizada para producir estructuras de paredes portantes en una dirección, en una solución estructural más adecuada a las exigencias de seguridad de las edificaciones en zonas sísmicas. (Ver Fig. 1).

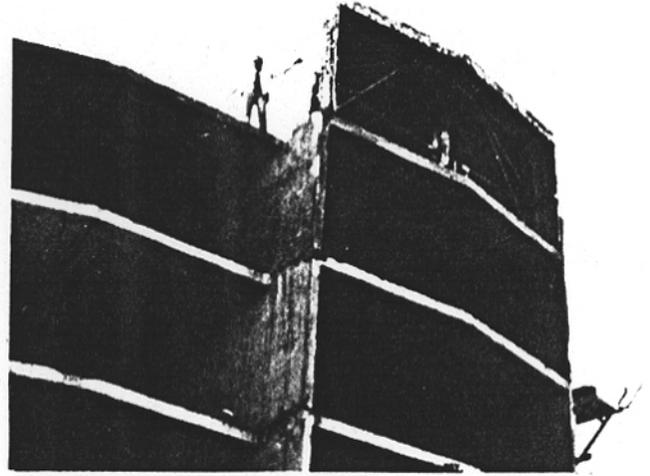
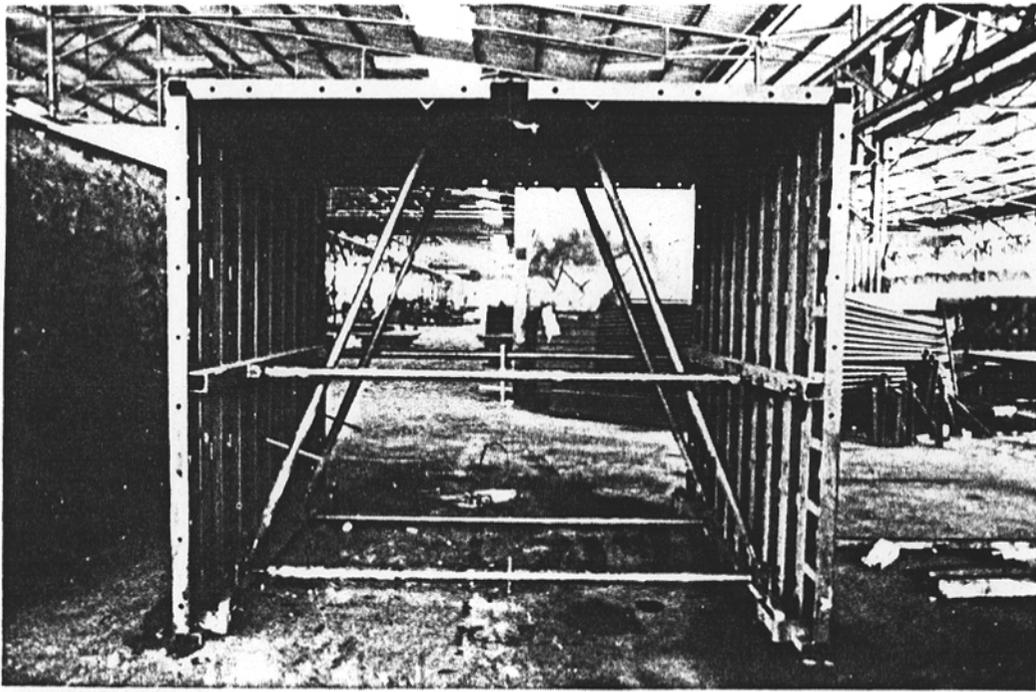
En el campo de la prefabricación mencionaremos tres experiencias: El sistema de Vivienda Venezolana para la construcción de edificios hasta de 17 pisos, el sistema PREGO, para la construcción de edificaciones de uno y dos pisos, y el sistema CONCACERO para edificaciones de servicios hasta de 5 pisos.

El sistema de Vivienda Venezolana está basado esencialmente en la prefabricación de elementos de concreto de gran panel con los cuales se pueden conformar diferentes soluciones de edificaciones con estructuras cruzadas que pueden tener desde cuatro pisos hasta diecisiete pisos.

Las paredes portantes tienen una altura de un piso y una longitud de ocho metros; se utilizan tanto en las fachadas como en las partes internas de la edificación y son de concreto armado. Las losas cubren una luz de ocho metros, están armadas en una dirección y son de concreto pretensado. Las escaleras son prefabricadas de concreto armado. La tabiquería es también prefabri-



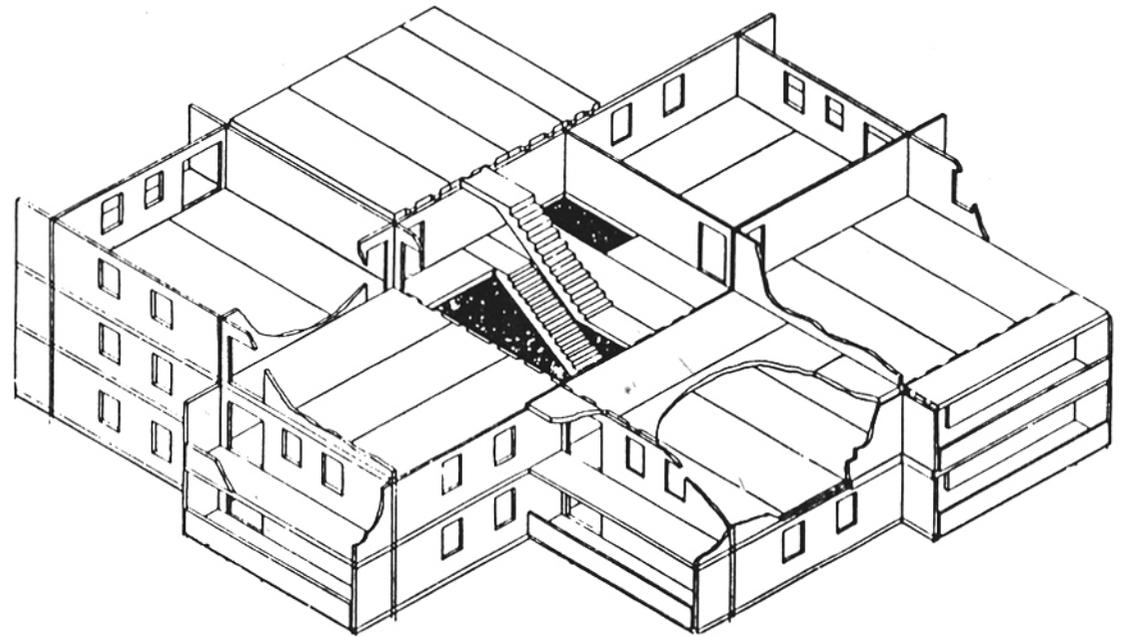
**SISTEMA TUNEL
BIZKAIA-O T I P**

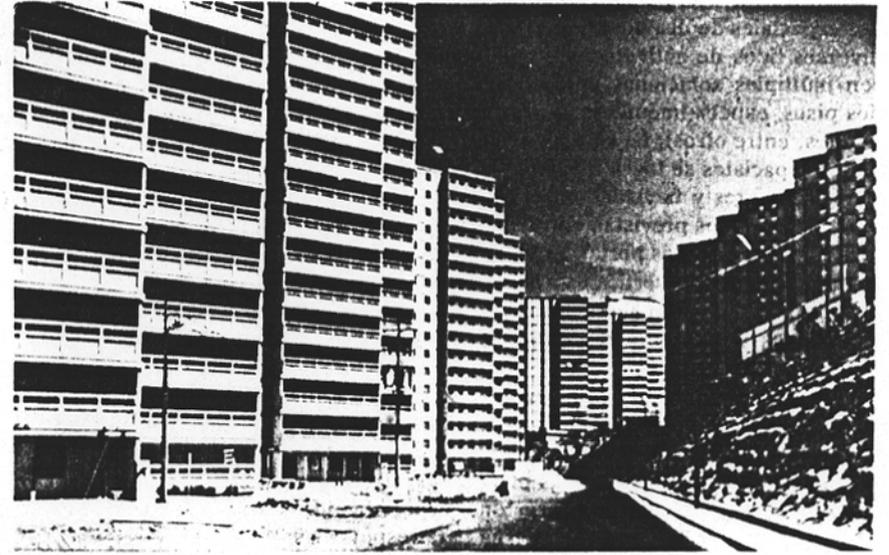
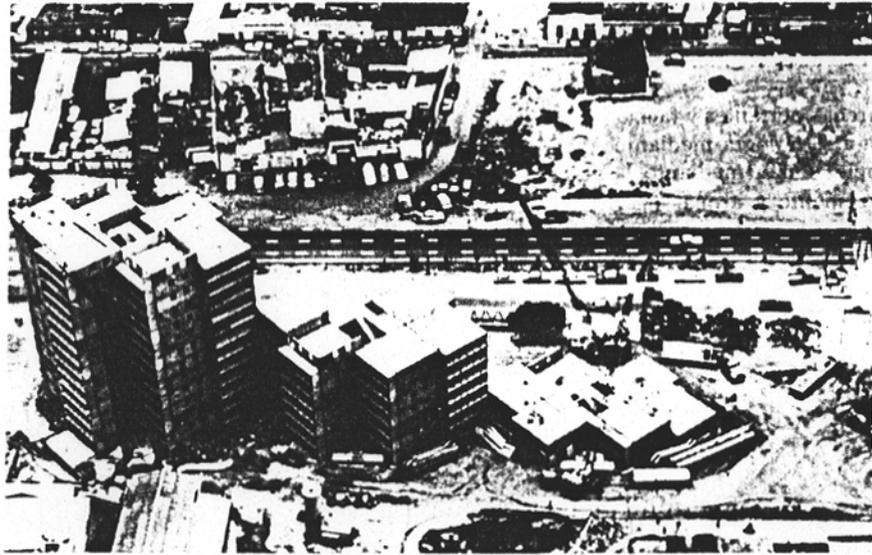


cada de concreto armado; su uso es posible por ser un sistema a "cielo abierto", condición que ha permitido incorporar la utilización de este tipo de tabiquería interna.

Las paredes portantes y las losas de entrepiso son vaciadas en encofrados metálicos horizontales. La escalera es el único elemento que se vacía verticalmente, siendo además el elemento más pesado de los utilizados en este sistema (siete toneladas y ocho metros de longitud). Estos elementos son despachados del sitio de curado al sitio de erección del edificio.

Todos los componentes se sueldan entre sí en la medida en que se van colocando y ajustando en su posición definitiva. Luego se colocan las armaduras adicionales en las conexiones y se vacía concreto en ellas. Este proceso se repite hasta completar la estructura del edificio. (Ver Fig. 2).





El sistema PREGO ha sido concebido en base a unidades espaciales de diseño que permiten la realización de diversos tipos de actividades y que combinadas, ofrecen múltiples soluciones para edificaciones de uno y dos pisos, especialmente de uso residencial (vivienda y hoteles, entre otros). La conformación física de las unidades espaciales se logra mediante la presencia de paredes portantes y fachadas en el contorno de los mismos y las uniones previstas entre ellas. El conjunto formado por las paredes portantes y las fachadas sirve de soporte a las cargas verticales y horizontales.

Las losas de techo son a dos aguas y tienen nervios longitudinales y transversales que conforman casetones internos.

En las edificaciones de dos pisos, las losas de entrepisos actúan como elementos de arriostre de los elementos verticales de la planta baja. Las diferencias de usos que se puedan presentar en las plantas de las edificaciones de dos pisos hace necesario tener especial cuidado en la organización especial interna para respetar las líneas de cargas verticales que permitirán la continuidad estructural de los elementos verticales portantes en ambos pisos.

Para lograr el trabajo conjunto en dos direcciones, de paredes portantes y fachadas, se ha previsto lo siguiente:

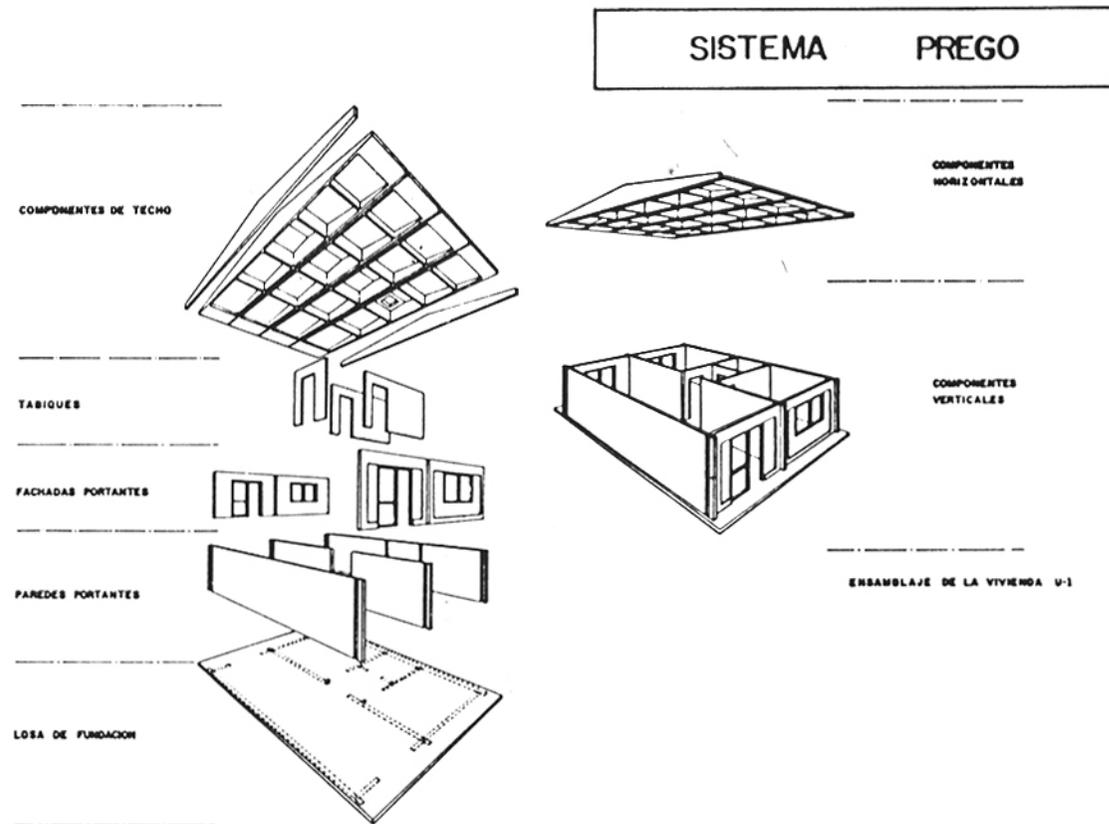
—Uniones secas que se logran colocando una pletina en la parte superior de los elementos verticales y que permite soldarlos entre sí. Estas uniones además se complementan encastrando las fachadas en cajuelas previstas a tal fin en las paredes portantes, que se rematan con un acabado de mortero de cemento y arena.

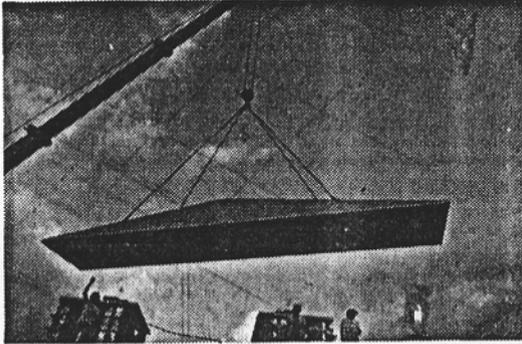
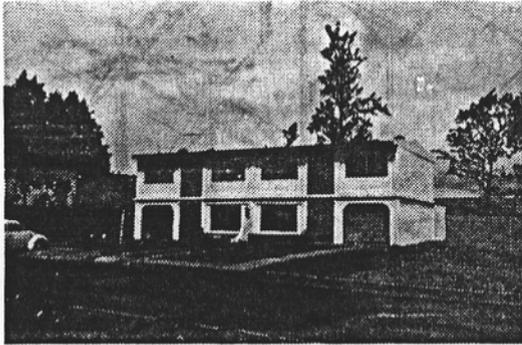
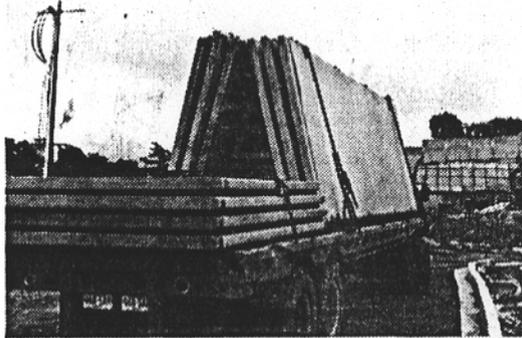
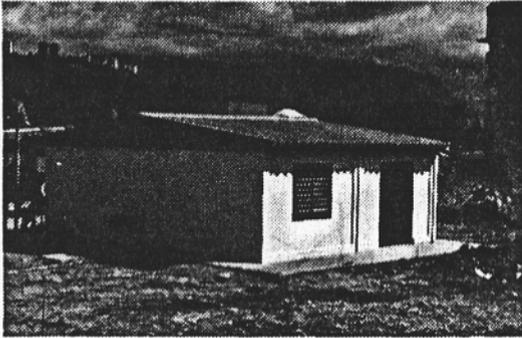
—En el caso de edificaciones de dos pisos el arriostre de los elementos verticales portantes de la planta baja, se logra mediante el apoyo de las losas de entrepisos en los bordes superiores de las paredes internas y mediante uniones mecánicas previstas a tal fin en los extremos que montan sobre las paredes exteriores y las fachadas, de planta alta y planta baja.

—Las losas de techo arriostran los elementos verticales portantes, esto se logra mediante el apoyo de las losas

de techo en los bordes superiores de paredes y fachadas que conforman la unidad espacial y mediante el vaciado de concreto (unión húmeda) entre los elementos que conforman el techo.

La continuidad vertical entre paredes portantes y fachadas de la planta baja y la planta alta se logra mediante uniones soldadas, que se complementan mediante la colocación de un mortero de cemento y arena. (Ver Fig. 3).

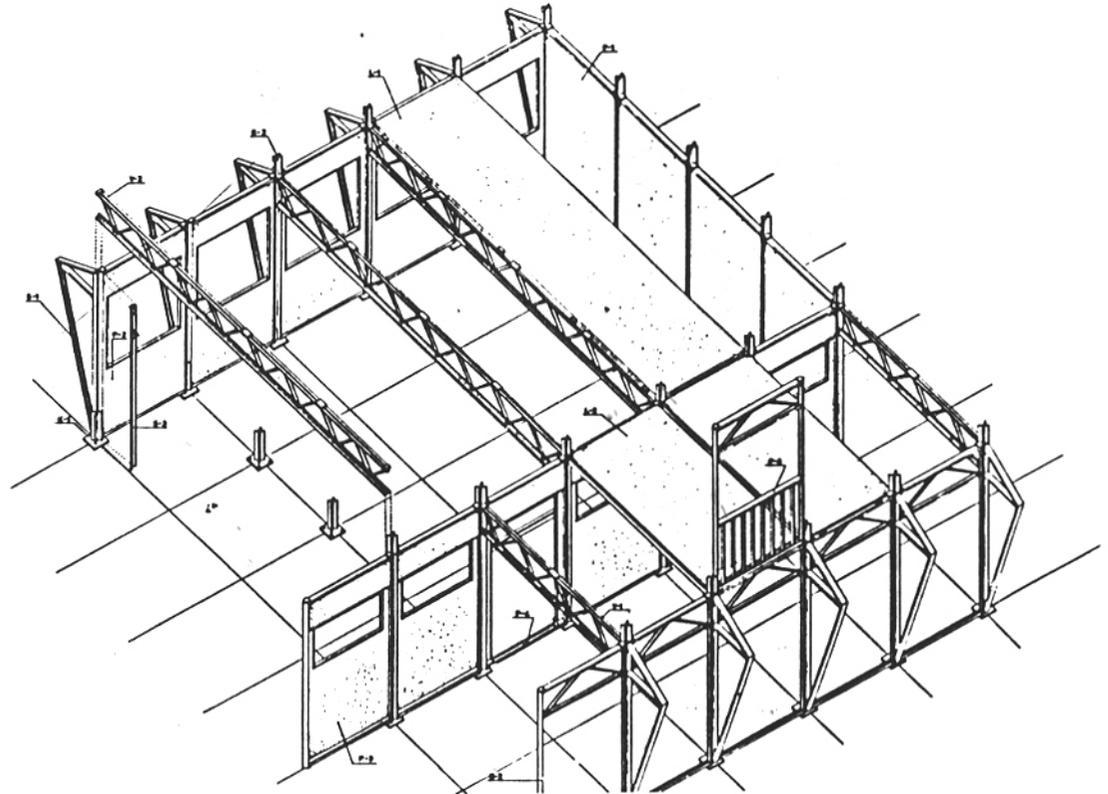




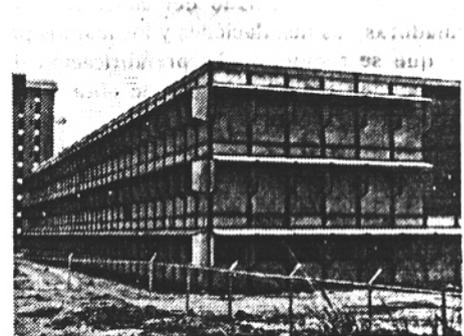
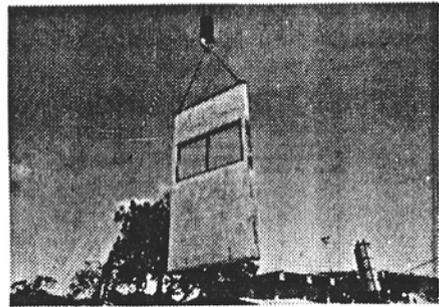
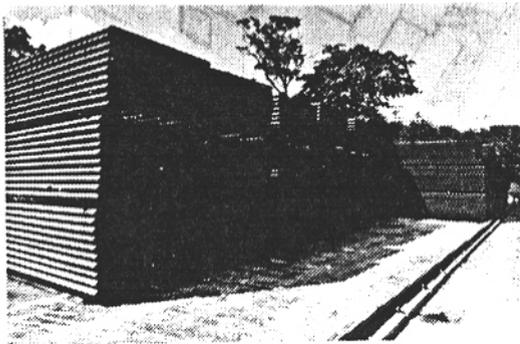
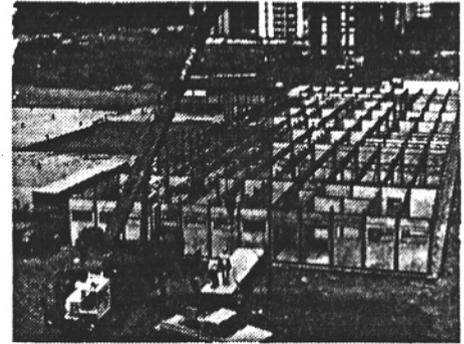
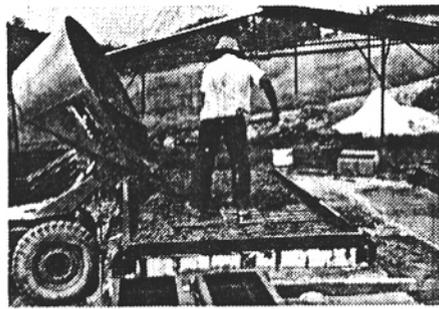
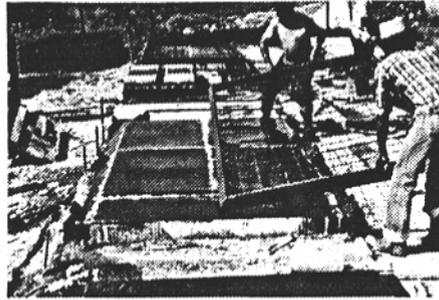
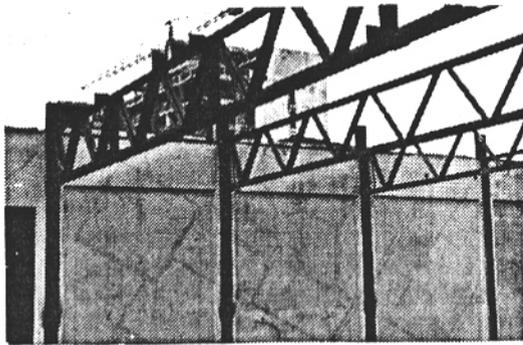
El sistema CONCACERO es un sistema en el cual se combinan el uso del acero como armadura rígida con el concreto armado para producir elementos prefabricados de paredes portantes y losas, en los cuales se dispone la armadura rígida en todo su contorno. El conjunto estructural se complementa con cerchas metálicas que sirven de apoyo a las losas cuando éstas no apoyan sobre las paredes portantes, y otros elementos metálicos de conexión entre los elementos prefabricados.

Para la estructuración de los edificios se parte de una retícula ortogonal de 1,8 m. x 1,8 m. en proyección horizontal que permite la ubicación de las paredes portantes en dos direcciones, atendiendo a las exigencias funcionales de la edificación. Es posible definir espacios hasta de 10,8 m. de luz libre en alturas de un piso (3,2 m). Cuando se requieren luces mayores es posible utilizar los mismos elementos de paredes y losas para obtener dobles o triples alturas variándose solamente la sección de las cerchas metálicas. En estos casos debe tenerse especial cuidado en garantizar que las paredes portantes que conforman las alturas libres de más de un piso, estén debidamente arriostradas en su contorno.

Las uniones verticales se realizan con soldadura a través de conectores especialmente diseñados que se colocan en las intersecciones de paredes. La unión de las losas con los elementos verticales o con las cerchas, se logra por soldadura a través de pletinas de apoyo previstas en las losas. (Ver Fig. 4).



SISTEMA CONCACERO



La combinación de las tecnologías del vaciado en sitio con encofrados metálicos y la prefabricación tiene su aplicación en el Sistema SEL, diseñado para la construcción de edificios desde cuatro hasta cuarenta pisos de altura, para diferentes usos, tales como: viviendas, hoteles, centro de servicios, oficinas, etc.

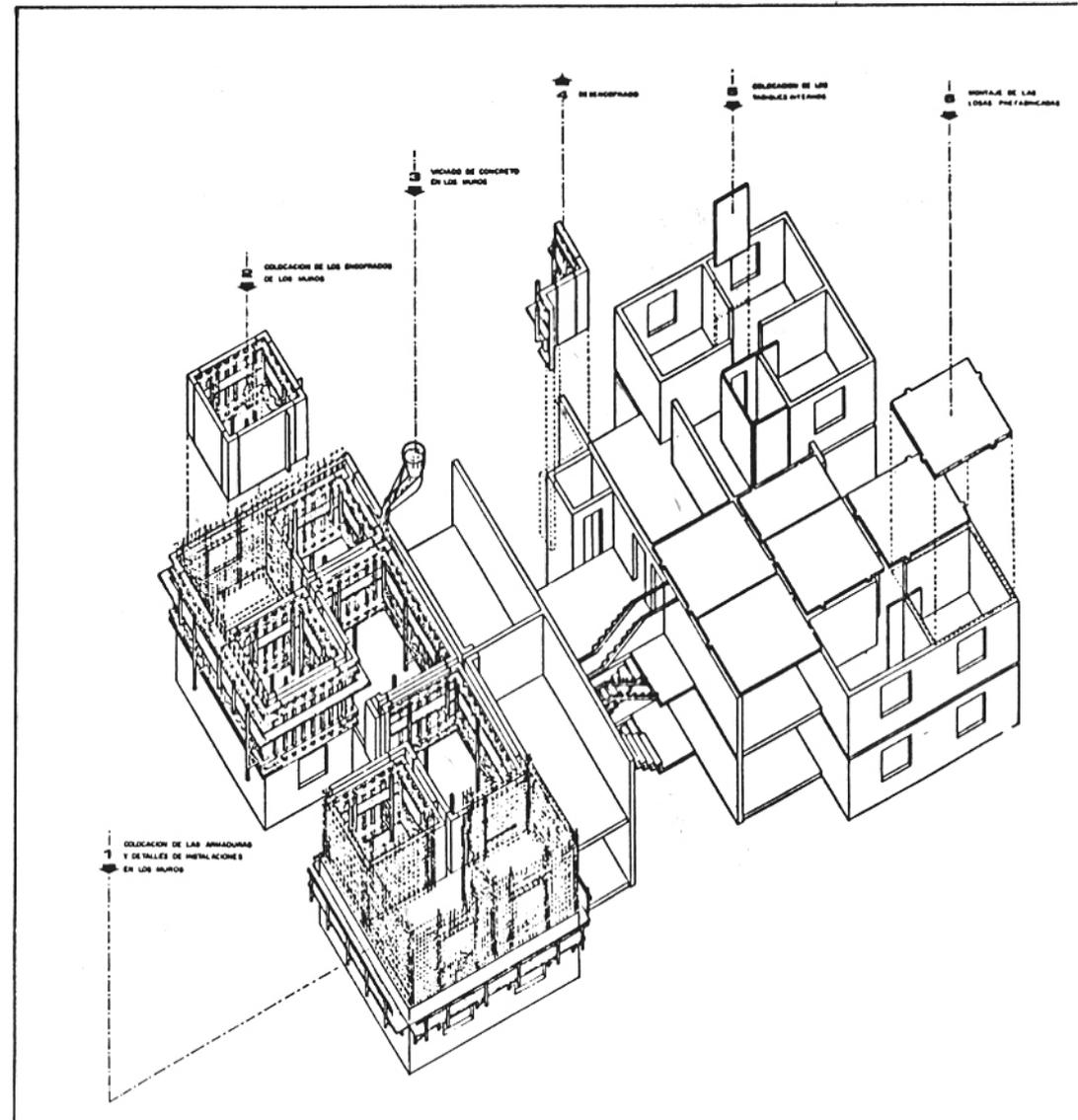
El sistema ha sido concebido para edificios estructurados en base a paredes portantes vaciadas en sitio en dos o más direcciones mediante el uso de encofrados metálicos modulares y losas de concreto armado, prefabricadas, que apoyan en las paredes. La estructura así constituida es completamente monolítica, efectivamente resistente a las acciones sísmicas en cualquiera de sus direcciones.

El hecho de ser un sistema de encofrados metálicos a base de piezas modulares, permite resolver en forma integral los aspectos estructurales y los cerramientos de las edificaciones, incorporando las instalaciones y los marcos necesarios en puertas y ventanas. Presentan la posibilidad de ser ensamblados en diferentes combinaciones con el objeto de obtener gran variedad de soluciones de diseño.

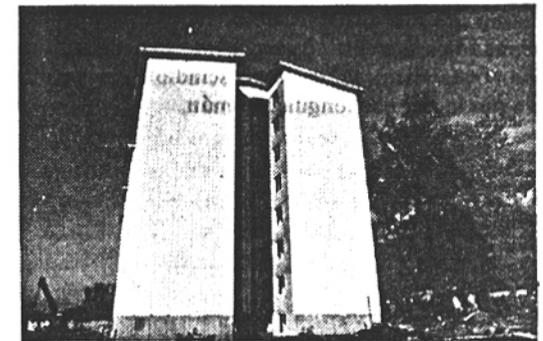
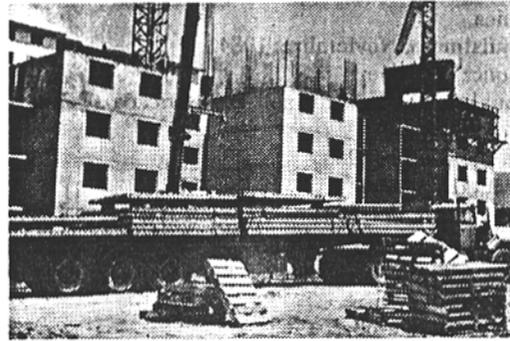
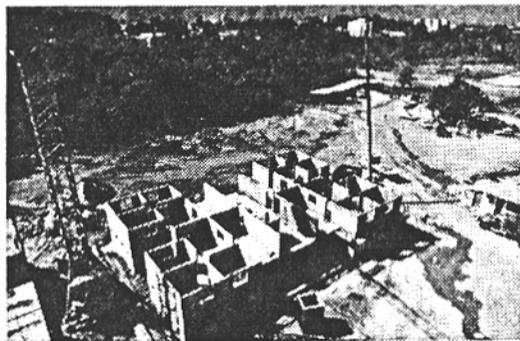
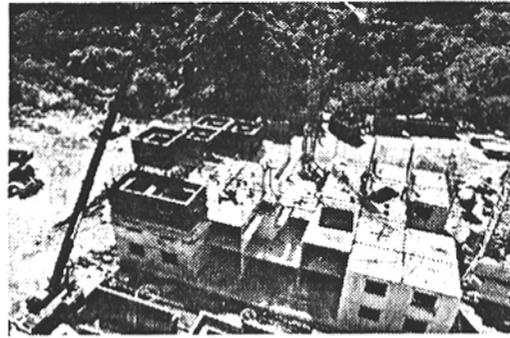
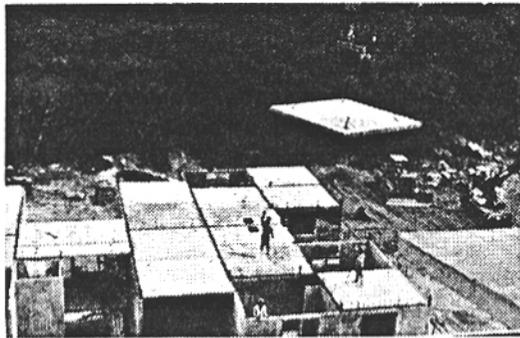
Los elementos prefabricados, losas y tabiques, se producen haciendo uso de formaletas metálicas, incorporando previamente al vaciado del concreto, además de las armaduras, las instalaciones y los marcos para la aberturas que se requieran. La prefabricación de los elementos pueden realizarse a pie de obra o en una planta fija de producción.

Las uniones entre los elementos prefabricados de las losas de entrepiso se hace mediante el vaciado de un mortero, en este caso los bordes de los elementos prefabricados tienen cajuelas que permiten establecer una unión mecánica entre ellos.

Las uniones entre los elementos prefabricados ó la losa y las paredes se hace mediante la armadura saliente de los bordes de la losa, la armadura pasante en ambas caras de las paredes y el vaciado del concreto en las paredes del piso superior (Ver Fig. 5).



SISTEMA SEL



Estas experiencias, producto de la participación sistemática de un equipo de profesionales en la toma de decisiones acerca de problemas de diseño, han tenido como resultado soluciones en las cuales todos los aspectos son compatibles pues cada situación particular es analizada en función de su influencia o de su consecuencia sobre la edificación en su totalidad.

En opinión de muchos, la práctica profesional, ejercida de esta manera, sólo es posible cuando se diseña con sistemas constructivos no tradicionales, y en general, se le considera limitante para el diseño.

En nuestro criterio, no son las determinantes tecnológicas las que permiten o no la participación interdisciplinaria en un equipo de diseño, sino la actitud de los profesionales.

Los ingenieros estructurales, tradicionalmente, han tenido la responsabilidad de la seguridad de las edificaciones las cuales han sido diseñadas por arquitectos en los cuales no recae responsabilidad profesional alguna en relación a la seguridad; y los intentos por establecer una relación arquitecto-ingeniero en el cual exista un lenguaje común que permita comprender los "por qué" de las decisiones tomadas, y en consecuencia, compartir dicha responsabilidad, han sido pocos.

Pensamos que en el caso específico de edificaciones en zonas sísmicas, es imprescindible, hacer el esfuerzo por lograr ese lenguaje común.

Bibliografía:

1. Becker James
Seismic Resistance of Industrialized Construction. A case study Biggs Symposium on Structural Engineering: Research, Education and Practice, MIT, USA, 1984.
2. Burns Joseph
Earthquake Resistant Design of Precast Panel Buildings. A case study MIT, USA, January, 1981.
3. Delgado, J. A., Peña, J. A., Zalewski, Waclaw.
Método de Análisis de Sistemas de Muros de Pared Delgada con Secciones Abiertas Sometidas a Flexión y Torsión por Flexión.
BANAP, Caracas, 1975.
4. Dembo, Nancy, Peña U. José A.
Sistemas Constructivos Industrializados para Edificios de Vivienda. Revista N° 129, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, México, Enero 1982.
5. Díaz Porta, Carlos., Yáñez Carmen.
El Arquitecto y el Diseño de Edificaciones en Zonas Sísmicas. 4to. Congreso de Sismología e Ingeniería Sísmica.
Barquisimeto, Noviembre, 1984.
6. Koncz, Tihamer
Manual de la Construcción Prefabricada (Tomos 1, 2 y 3).
Editorial Blume, 1968.
7. Peña U., José A.
Colaboración del Arquitecto y del Ingeniero Estructural en el Proceso de Diseño y Construcción.
Boletín N° 8, Asociación Venezolana de Ingeniería Estructural.
Caracas, Septiembre, 1968.
8. Peña U., José A.
Influencia del Grado de Desarrollo Tecnológico en la Productividad. Sector Construcción.
Trabajo presentado en el Congreso Andino de la Productividad realizado en Medellín, Colombia, Septiembre, 1983.

9. Peña U., José A.
Creación, Desarrollo y Puesta en Marcha de Sistemas Constructivos. IDEC, FAU, UCV.
Caracas, Marzo, 1984.
10. Rojas Máximo, Issa David, Kostorz Walter. Sistema Prefabricado de Vivienda Venezolana, S.A.
Caracas, Marzo, 1973.
11. Report of the inquiry into the "Collapse of flats at Ronan Point, Canning town" London, 1968.
12. Developments in tall Buildings 1983.
Council on tall Buildings & Urban Habitat.
13. Sabato, Jorge A. MacKenzie Michael. La producción de tecnología autónoma o transnacional. Editorial Nueva Imagen S.A. 1982.