

# "El papel del arquitecto y del ingeniero en el diseño y construcción de edificaciones y obras en zonas sísmicas" (\*)

José A. Peña U. (\*\*)

(\*) Trabajo presentado en el taller "El terremoto de Caracas del 29 de julio de 1967, veinte años después...", organizado por el Colegio de Ingenieros de Venezuela (CIV).

(\*\*) Director del Equipo de Diseño OTIP, C.A. - LARPRE C.A.

El proceso de diseño de edificaciones es una actividad en la cual participan varias disciplinas que intervienen en diferentes maneras, para cumplir con un plan que se ajusta a determinantes preestablecidas, con el fin de satisfacer los requerimientos de uso de las mismas. Los resultados obtenidos de este proceso deben cumplir con los objetivos de: EFICIENCIA en los espacios, SEGURIDAD en las edificaciones, ECONOMÍA en los resultados de la construcción de la edificación, y que éstas sean aceptables tomando en consideración los cánones de BELLEZA del medio en el cual nos desempeñamos.

Estamos todos de acuerdo en que las edificaciones deben ser eficientes (funcionales), seguras, económicas y bellas, pero indudablemente diferimos en cuanto a los criterios que rigen estos aspectos. Pero dentro de la diversidad de criterios debe y tiene necesariamente que existir uno que es factor común, cual es el factor de la SEGURIDAD de las edificaciones y obras. Este factor tiene el máximo de probabilidades de lograrse con éxito cuando en el proceso del diseño participan, en equipo, los diseñadores de las diferentes disciplinas, desde la concepción inicial de la edificación hasta su ejecución y puesta en servicio.

Cuando nos referimos al diseñador, estamos pensando en el individuo capaz de resolver un problema haciendo uso de los conocimientos y herramientas a su alcance con una carga de "creatividad", que es el elemento fundamental en el logro de la solución adecuada.

No entendemos como actividad de diseño aquella que se desempeña bajo el patrón de repetición de esquemas preestablecidos, solución de cálculos numéricos, bien por

métodos manuales o con el uso de computadoras para determinar cantidades de cabillas, espesores de planchas de acero, tamaños de perfiles o secciones necesarias de concreto, entre otros. La labor de diseño tiene que ir acompañada de una creatividad responsable evitando aquellas soluciones audaces y complejas que anticipan en manera notoria un comportamiento no deseable ante la ocurrencia de un terremoto. El diseñador estructural tiene que volcar su esfuerzo para comprender en manera intuitiva el comportamiento de una edificación, con la finalidad de anticiparse a la solución arrojada por los folios interminables del cálculo numérico realizado por computadoras y que éstos sean la verificación de la solución que garantice la seguridad de la estructura. La seguridad de una edificación no se obtiene con cálculos múltiples super-elaborados y de una precisión innecesaria, que en muchos de los casos no se corresponde con las hipótesis que rigen, en la realidad, el comportamiento de la edificación sometida a fuerzas derivadas de un movimiento sísmico. Los especialistas en instalaciones tienen que esforzarse en diseñar las mismas comprendiendo los espacios que van a servir y permitiendo que ellas se incorporen dentro de la edificación sin variar las hipótesis en las cuales se basa el diseño. El diseñador, en este caso, tiene que plantear las hipótesis que deben ser tomadas en cuenta por las otras especialidades. En fin, cada especialista tiene que ser un buen diseñador dentro de su rama, pero ello de nada sirve si no se trabaja en manera conjunta en el proceso del diseño, con un enfoque único y coherente entre sí. ¿De qué vale una óptima solución de diseño dentro de una especialidad, si para el logro de ello no se ha tomado en consideración su influencia o su consecuencia sobre las otras especialidades? Se hace necesario, de ello no cabe duda, que el proceso de diseño sea el producto de la participación sistemática de un equipo de profesionales, entre los cuales estén involucradas las diferentes disciplinas que sean necesarias, y que esta participación se materialice en la toma de decisiones acerca de problemas de diseño, abarcando desde la generación de la idea inicial hasta su ejecución total. Esta manera de actuar no se corresponde en la mayoría de los casos con la forma tradicional de ejercer la profesión de la Arquitectura, la Ingeniería y Afines. Se impone un cambio, especialmente en la actitud de los profesionales, que haga posible su real participación interdisciplinaria en el proceso del diseño, y se impone también un cambio en los criterios de diseño sísmico, como veremos más adelante.

La manera tradicional en que actúan los profesionales que participan en el proceso del diseño se corresponde a la del desarrollo de un proyecto para una obra única. Generalmente es de esta manera: El Arquitecto crea su propio diseño, desarrollando el proyecto ajustado únicamente a su idea; así determina el tamaño de los espacios, desarrolla las fachadas, en fin, determina el volumen y la forma de la edificación. En algunas oportunidades decide la ubicación de los elementos que deben integrar la estructura, por ejemplo, la distribución de las columnas en planta, disposición de vigas y, a veces, pretende imponer dimensiones

de los elementos estructurales. Por otra parte, decide los tamaños y ubicación de ductos para las instalaciones y al definir los espacios y funciones ha ubicado intrínsecamente el resto de servicios, sin importarle, en algunos casos, la funcionalidad de ellos en relación a la estructura. Por ejemplo, se tiende a "racionalizar" las instalaciones imponiendo una concentración excesiva de los servicios y creando interferencia de los mismos con los elementos estructurales, cuando la idea fundamental es lograr una agrupación conveniente de los servicios para una mayor eficiencia en el comportamiento total de la edificación.

Posteriormente, hace uso de los servicios profesionales de otras especialidades para resolver los problemas específicos de ellas, sin que éstos tengan la oportunidad de plantear alternativas a la solución impuesta, ya que ésta es defendida por el Arquitecto como "la solución". En caso del Ingeniero Estructural, su participación se limita a prestar sus servicios como calculista, negociando con el Arquitecto las dimensiones de los elementos estructurales, pero en ningún caso se cuestionan su forma y disposición, ya que ello es fruto de la "creatividad y libertad para diseñar del Arquitecto". Cumplida esta etapa, el Ingeniero procede a establecer un esquema de los elementos componentes de la estructura en planta y en alzado (comúnmente llamados los "monitos") y se procede a procesar la estructura en una computadora. Esta etapa corrientemente se llama "el análisis estructural" y de ella se puede esperar hasta los dibujos de los diferentes elementos componentes de la estructura. Si durante el procesamiento de datos se comprueba que las deformaciones de la estructura sobrepasan los máximos permitidos por las Normas, o que un elemento arroja porcentajes de acero superiores a los permitidos, se establece una nueva conversación con el Arquitecto, para proponerle aumentar las dimensiones de los elementos a fin de que, al procesar de nuevo los datos mencionados, se cumpla con las exigencias normativas. Otro tanto se hace con los otros especialistas (de instalaciones eléctricas, sanitarias, de aire acondicionado, montaje de equipos, etc.). De este proceso surge un cúmulo de información que el Arquitecto cuida de ensamblar de manera ordenada y que se llama "el proyecto". Una variante de este proceso puede ser aquella en que el Arquitecto realiza consultas esporádicas con los especialistas, durante un proceso de diseño, pero donde las decisiones finales las tomará el Arquitecto. Otro ejemplo de este proceso lo puede ilustrar el diseño de un distribuidor vial: el Ingeniero Vial decide sobre la forma e implementaciones del distribuidor, luego hace uso de los servicios del Ingeniero Estructural para realizar los cálculos de los elementos estructurales componentes del distribuidor y del especialista de instalaciones eléctricas, para el proyecto del alumbrado. En la mayoría de los casos no se consulta con el Arquitecto sobre la influencia de "la solución" propuesta dentro del entorno urbano en el cual va a funcionar el distribuidor. En fin, hay variantes de este proceso, llegándose al caso de Oficinas o Empresas de Proyectos de cierta magnitud que llegan a dividir su Departamento Técnico de

acuerdo a las especialidades que participan, pero donde la manera de actuar de los profesionales no difiere fundamentalmente de los ejemplos descritos.

En esta variante se hace énfasis en la coordinación de las etapas de trabajo, mas no del proceso del diseño. Dicho de otra forma, en términos musicales, es como disponer de intérpretes de diferentes instrumentos musicales, donde el Director de Orquesta limita su papel a controlar la presencia de los músicos y que cada quien ejecute de manera eficiente su partitura, sin ocuparse él, en el momento de la ejecución de la obra musical, de unificar los acordes de los diferentes sonidos de los instrumentos de manera sólida, ordenada y armoniosa, formando ellos parte de un todo.

En el campo del diseño y construcción de edificaciones y obras en zonas sísmicas, la solidez y la armonía de las mismas dependerá de la participación de los diferentes especialistas en la toma de decisiones durante todas las etapas del proceso, donde cada profesional se hace responsable de su parte integrada al todo. De esta manera, el director del proceso de diseño coordinará en forma ordenada y coherente la participación de las diferentes especialidades, teniendo la posibilidad de tomar decisiones de forma ecléctica y no en maenra individualista, exclusivista, arbitraria y absoluta. Así como la obra musical se ejecuta para deleitar al público oyente, la construcción de obras se realiza para conformar un habitat en donde se desempeñen las actividades del hombre en un armónico diálogo con la naturaleza.

En el proceso de diseño arquitectónico de una edificación, no sólo deben atenderse los aspectos funcionales y de comportamiento de la estructura, sino también los de estética de cada una de sus partes y del total, considerando también el entorno urbano inmediato.

Las dimensiones, formas y colores de las edificaciones están siempre presentes en el campo de percepción de sus usuarios. Es incalculable la importancia que tiene este aspecto en el desarrollo de la mentalidad de las personas y, muy en especial, en la formación psicológica de los niños. Por razones de higiene ambiental, si es el caso de un conjunto de viviendas agrupadas en un parque residencial, urbanización o barrio, es muy improbable que se forme una mente sana en un medio físico inarmónico en que prevalecen el desequilibrio, la estridencia, la deformación, la falsedad y el descuido.

Por su naturaleza, una edificación o grupo de ellas tiene siempre un carácter bien definido, pero con frecuencia el diseñador no soluciona el problema de expresar su carácter en la arquitectura. Si en un conjunto de viviendas económicas, por ejemplo, este aspecto es bien estudiado, el resultado final reflejará en su aspecto general la simplicidad de las estructuras, la sencillez del programa, la armonía de las proporciones, el mayor provecho y agrado del uso del terreno y el empleo racional y sincero de los materiales.

Estas características de una obra, expresadas por medio de formas, proporciones y colores que emanan de una realidad vital y no del capricho o tendencia transitoria de moda, producen entre el hombre y su medio una relación armónica e inmediata.

Por lo tanto, resultan innecesarios los adornos superfluos y las decoraciones postizas (arquitectura de quincalla), que suelen constituir peligro en caso de producirse movimientos sísmicos. Estos agregados sirven para disimular las proporciones desagradables de una obra o para suplir la pobreza de expresión arquitectónica producida por la desidia que acompaña al estudio del problema.

Las decoraciones sobrepuestas representan, en potencia, posibilidades de grietas y desprendimientos que pueden atentar contra la vida de los usuarios de la edificación o causar inútiles gastos en reparaciones. Otras veces, por un mal entendido prestigio o por el deseo de buscar efectos llamativos, se hace uso de materiales inapropiados para ser usados en zonas sísmicas y que además son importados, como es el caso de las fachadas cortina de vidrio, "courtain-wall". Estos ocasionan, además, otro tipo de problemas como es el consumo mayor de energía por una demanda excesiva de aire acondicionado. Tales elementos se encuentran expuestos a dañarse y desprenderse ante los efectos de un terremoto, debido a que están adosados y no formando parte de la estructura.

Sin embargo, es necesario destacar que siempre será posible, por medio de refuerzos adicionales, obtener que estas fachadas o cualquier otro elemento decorativo de una edificación quede suficientemente asegurado contra los peligros que representa un terremoto. Pero si esos elementos son sustituibles, en el caso de las fachadas cortinas, o superfluos e innecesarios recubrimientos, las precauciones constructivas que se puedan tomar para hacerlos antisísmicos redundarán en recargos directos de los costos de la edificación. Es difícil justificar y aún explicar la existencia de ellos en los proyectos, salvo suponiendo una imperdonable pereza mental en los proyectistas, su incomprensión social o el desco de satisfacer algún vano capricho del Arquitecto o del Propietario.

Hagamos el siguiente planteamiento: sea el caso de una edificación tapizada de vidrio en todas las fachadas; la probabilidad más cierta es que ante la ocurrencia de un terremoto ellas pasarán a constituir una alfombra de vidrio roto de varios centímetros de espesor alrededor del edificio. ¿Qué pasará en el supuesto de que la estructura no haya sufrido daños? Ya que no suele consultársele al Ingeniero Estructural sobre el tipo y forma de adosar la fachada, cabe preguntarse, ¿quién asume la responsabilidad en este caso?

La expresión formal de una edificación debe ser consecuencia natural de la concepción arquitectónica y estructural, así como de los materiales escogidos, y debe estar contenida en la obra y no adosada a ella artificialmente.

Desde el punto de vista de su comportamiento estructural en una edificación, se plantea un complejo esquema de fuerzas que actúa en tres dimensiones y que tiene un flujo horizontal y 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 establecer un cambio brusco de sección. El transporte de este flujo de fuerzas a las fundaciones sólo podrá ser solucionado satisfactoriamente, si el diseñador tiene, desde el comienzo, una visión clara del conjunto de la edificación y busca que en la transmisión de fuerzas, la estructura se comporte satisfactoriamente de acuerdo a los patrones de rigidez y resistencia, manteniendo a su vez homogeneidad con el conjunto de 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 y una unión detallada, obviarán dificultades para comprobar en manera fehaciente, mediante el análisis estructural, su comportamiento bajo un estado de cargas. Una estructura resuelta de esta manera simplificará su construcción.

Lograda una estructura con estos principios, con la continuidad descrita, podrá la edificación, como un todo, soportar los efectos consecuentes de un terremoto, en forma armónica; las cargas se distribuirán a través de sus partes en la forma prevista y cada elemento componente realizará la fracción de trabajo que le corresponda. En cambio, si la trabazón mecánica de las partes o elementos estructurales es deficiente, o no integran líneas de resistencia, la acción del terremoto se manifestará "separadamente" sobre cada uno de ellos en forma proporcional a sus masas, lo que se traduce en un peligro evidente.

En la homogeneidad de la edificación influirá también y de manera determinante tanto el adecuado empleo como la calidad de los materiales especificados para cada uno de los elementos componentes de ella, tanto estructurales como los de cerramientos, divisiones, incorporaciones e instalaciones. La falla de un material puede producir en el elemento respectivo una zona de resistencia más baja que la admisible, exponiendo al colapso parcial o total al conjunto completo. Si realmente se quiere lograr un buen resultado del diseño estructural, el cuidado puesto en el proceso de desarrollo del mismo debe completarse con un estricto control de calidad durante la etapa de construcción.

En una región sísmica tenemos que estar conscientes de suplir a las edificaciones y obras que nos son encomendadas de las exigencias impuestas por la "cuota sísmica", en forma que asegure la preservación de las vidas humanas y la conservación, en lo posible, de los bienes materiales que ellas alojan.

En el Terremoto de Caracas del 29 de Julio de 1967, así como en otros terremotos ocurridos en las dos últimas décadas, han quedado hartamente demostrados ciertos criterios que son inconvenientes para lograr la seguridad adecuada de las edificaciones. El criterio generalizado, racional y económico para el diseño de edificaciones seguras en zonas sísmicas, exige que las estructuras se comporten de la siguiente manera:

- a) En temblores de poca intensidad las estructuras deben comportarse en forma elástica, sin sufrir ni ocasionar daños.
- b) En temblores moderados se prevé la posibilidad de que se presente algún daño sólo en elementos no estructurales (recubrimientos y tabiquería).
- c) En sismos intensos las estructuras podrán sufrir daño estructural pero sin llegar al colapso.

Todo ello con la finalidad fundamental de preservar las vidas humanas y hacer posible la reparación de la edificación con mayor o menor costo.

Entre los criterios de diseño inconvenientes podemos señalar, entre otros, como los más importantes, los siguientes:

- a) El uso de vigas planas en cualquier dirección para conformar pórticos o losas de tipo reticular celular sin capiteles o ensanchamientos de las columnas.
- b) Cambios bruscos de rigidez.
- c) Columnas, no previstas como tales, debido a la presencia de cerramientos no estructurales a su alrededor.
- d) Plantas bajas flexibles.
- e) Columnas de doble y triple altura sin elementos de arriostre.

Esto en cuanto al comportamiento de las edificaciones. Pero hay aspectos no cubiertos en las Normas y Reglamentos de Construcción existentes que ameritan ser revisados. Entre ellos cabe mencionar lo referente a estudios urbanísticos basados en la microzonificación y riesgo sísmico, que incluyan recomendaciones en cuanto a la densidad máxima de las construcciones y distribuciones de espacios urbanos, que tomen en consideración la necesidad de guarecer a las personas damnificadas en el momento de un terremoto, y la planificación de la vialidad y transporte para que sea funcional una vez ocurrido el desastre, dando facilidades de acceso a los lugares donde se encuentran ubicados los Centros Hospitalarios y de Servicios.

Merece atención en la actualidad el auge que ha tomado el reciclaje de las edificaciones para usos distintos a los previstos originalmente, para los cuales no hay reglamentación específica y que en muchos casos, por atender a una "moda arquitectónica", pueden convertirse en trampas humanas.

En cuanto a las etapas del proceso de construcción de edificaciones y obras en zonas sísmicas, es necesario resaltar la participación del Profesional o Profesionales Inspectores como vigilantes y garantes de que la obra se ejecuta respetando las directrices emanadas de los proyectos y especificaciones resultantes del proceso del diseño. El profesional, en este caso, tiene que entender y comprender que en sus manos está la posibilidad de ejecutar la obra de manera tal que cumpla con todas las hipótesis establecidas en el proceso del diseño. No es lo tradicional, pero se impone, la necesidad de la participación del equipo del diseño en esta etapa, en calidad de supervisores y asesores del equipo de inspección. Indudablemente que de acuerdo a la magnitud de la obra, esta participación tendrá mayor o menor intensidad. De esta manera se asegura, además, la corrección de cualquier aspecto imprevisto o resuelto en forma inconveniente para cumplir con las hipótesis establecidas en el proceso de diseño o se da cabida a la formulación de alternativas que mejoren los resultados previstos, cuando al ejecutar una construcción se presentan situaciones que, por inesperadas, no fueron contempladas en el proceso del diseño.

## CONCLUSIONES

Las experiencias recopiladas en el terremoto de Caracas ocurrido hace veinte años, así como los terremotos acaecidos en este lapso en Perú, Nicaragua, Colombia, Guatemala, Chile, México y El Salvador, nos han puesto en evidencia que la manera tradicional de asumir las responsabilidades profesionales en el proceso de diseño y construcción de edificaciones y obras en zonas sísmicas no es la más adecuada. Los resultados están a la vista de manera notoria. Se impone la necesidad de un cambio de actitud. Una alternativa válida es la creación de equipos interdisciplinarios de diseño, donde los profesionales actúen con un enfoque único y coherente entre sí y donde sus aportes son parte de un todo: la edificación u obra encomendada, logrando con ello que las mismas sean funcionales, seguras, económicas y al mismo tiempo un elemento integrado armónicamente al entorno urbano.

Los profesionales que participamos en el proceso de diseño y construcción de edificaciones y obras en zonas sísmicas debemos estar conscientes de lo siguiente:

a) EL ARQUITECTO: debe enriquecer su creatividad con conocimientos técnicos y científicos que le permitan suplir la cuota sísmica, logrando edificaciones armónicas y seguras.

b) EL INGENIERO ESTRUCTURAL: debe ser más creativo en la concepción de estructuras sismorresistentes, siendo más cuidadoso en la interpretación y aplicación de las Normas así como de los resultados obtenidos durante el proceso del análisis estructural.

c) EL INGENIERO CONSTRUCTOR: debe anteponer, ante cualquier economía de la obra o facilidad del proceso de construcción, los intereses propios de la edificación u obra a realizar.

d) EL INGENIERO INSPECTOR: tiene que hacer valer su posición como vigilante y garante de que la obra se ejecute según el proyecto, especificaciones y normativa vigente, en beneficio del usuario.

e) EL PROFESIONAL INVESTIGADOR: tiene que ocuparse de que sus conocimientos se difundan a los profesionales proyectistas, constructores o inspectores, para que éstos los pongan al servicio de las edificaciones y obras que les son encomendadas.

f) EL PROFESIONAL DOCENTE: tiene que ocuparse no sólo de transmitir el conocimiento global que permita a sus educandos participar en el proceso del diseño y construcción en forma eficiente, sino también de inculcarle la responsabilidad que le corresponderá asumir en tal proceso.

En fin, la expectativa de nuestras profesiones es servir con lo mejor de nuestros conocimientos a la comunidad, que espera de nosotros que seamos garantes de la seguridad de las edificaciones y obras que conforman nuestro habitat. Nuestra responsabilidad está en ser los autores de edificaciones "honestas", que no escondan con falsos plafones, recubrimientos y fachadas espectaculares aquellos defectos de la estructura cuya patología pudo ser controlada en el proceso de diseño o construcción de la misma.

Dado que la manera tradicional de ejercer la profesión para el diseño y construcción de edificaciones y obras en zonas sísmicas ha producido más problemas que éxitos, se nos impone la necesidad de crear un lenguaje común entre los profesionales, que nos lleve a comprender los "por qué" de las decisiones que se toman en cada una de las especialidades. No cabe duda: de cara al futuro, debemos cambiar de actitud.