

# EL DISEÑO SISMICO DE ACUERDO AL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL

Roberto Meli<sup>1</sup>

## 1. ALCANCE Y ORGANIZACION DEL TITULO DE DISEÑO ESTRUCTURAL

En su organización actual se incluyen en el cuerpo del Reglamento únicamente las disposiciones relativas a la responsabilidad de las distintas partes que intervienen en la construcción, a la clasificación de las edificaciones y a los criterios en que debe basarse la revisión de la seguridad de las mismas. Los aspectos más propiamente técnicos, relativos al diseño de las estructuras de distintos materiales y de sus cimentaciones, así como los que especifican la manera de tomar en cuenta los efectos de acciones como el sismo y el viento, se detallan en un conjunto de Normas Técnicas Complementarias cuya observancia es también obligatoria. Una ventaja de esta forma de proceder es que los procedimientos de diseño más especializados quedan incluidos en documentos cuya revisión y actualización pueden hacerse en forma independiente y cuya homologación requiere de menores trámites legales y administrativos; mientras que en el Reglamento mismo subsisten principios y reglas de carácter más general que es de esperarse permanezcan más tiempo sin necesidad de modificación.

Para lograr la seguridad estructural adecuada de una edificación deben cuidarse otros aspectos además de los propiamente relativos al diseño estructural. El Reglamento incluye, por tanto, disposiciones relativas a las características del proyecto arquitectónico que inciden en la seguridad, otras que conciernen a la organización del proceso de diseño y ejecución de las obras, otras que definen quienes deben ser responsables de los aspectos de seguridad estructural que aparecen en las distintas etapas, así como disposiciones relativas a la verificación de calidad de materiales y a la ejecución y a la documentación del proceso. Algunas de estas disposiciones quedaron incluidas Título de Seguridad Estructural; otras se incorporaron a otros títulos (ver Cuadro I).

Un aspecto al que este nuevo Reglamento asigna particular importancia es el de la responsabilidad. Una de las fuentes de problemas de seguridad estructural en el pasado, ha sido la falta de coordinación entre los encargados de los distintos aspectos de una obra: estudios de campo, proyecto arquitectónico y estructural, construcción, verificación de materiales y supervisión de la obra. Por ello, se requiere ahora que en obras de cierta importancia debe intervenir una personas con suficiente conocimiento de los distintos campos para que pueda asegurarse que en cada etapa se hayan tomado en cuenta adecuadamente los aspectos de seguridad estructural y que los requisitos reglamentarios se hayan interpretado adecuadamente. Con tal fin se exige para dichas obras, en el Artículo 44 del Título III de Directores Responsables de Obra y Corresponsables, que un Corresponsable Seguridad Estructural, cuya capacidad en estos temas haya sido propiamente certificada, sea el responsable de la observancia de los requisitos que al respecto fija el Reglamento.

Otros puntos en que este Reglamento hace más énfasis que el anterior son los procedimientos a seguir para revisar la seguridad de las estructuras dañadas y los cuidados en las modificaciones de uso y de forma de las construcciones.

En lo que sigue se harán observaciones y aclaraciones a los capítulos específicos de este Título.

---

<sup>1</sup>Centro Nacional de Prevención de Desastres

## Cuadro I. Documentación del proyecto estructural

*Artículo 172.- Este título contiene los requisitos que deben cumplirse en el proyecto, ejecución y mantenimiento de una edificación para lograr un nivel de seguridad adecuado contra fallas estructurales, así como un comportamiento estructural aceptable en condiciones normales de operación.*

*La documentación requerida del proyecto estructural deberá cumplir con lo previsto en el artículo 56 de este Reglamento.*

*En el libro de bitácora deberá anotarse, en lo relativo a los aspectos de seguridad estructural, la descripción de los procedimientos de edificación utilizados, las fechas de las distintas operaciones, la interpretación y la forma en que se han resuelto detalles estructurales no contemplados en el proyecto estructural, así como cualquier modificación o adecuación que resulte necesaria al contenido de los mismos. Toda modificación, adición o interpretación de los planos estructurales deberá ser aprobada por el Director Responsable de Obra o por el Corresponsable en Seguridad Estructural, en su caso. Deberán elaborarse planos que incluyan las modificaciones significativas del proyecto estructural que se hayan aprobado y realizado.*

## 2. DISPOSICIONES GENERALES

El Artículo 173 hace a las Normas Técnicas Complementarias parte del propio Reglamento, confiriéndole el mismo carácter de obligatoriedad.

La clasificación de las construcciones del artículo 174 tiene una doble función (ver Cuadro II).

### Cuadro II. Clasificación de las construcciones

*Artículo 174.- Para los efectos de este Título las construcciones se clasifican en los siguientes grupos:*

*I.-Grupo A. Edificaciones cuya falla estructural podría causar la pérdida de un número elevado de vidas o pérdidas económicas o culturales excepcionalmente altas, o que constituyan un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, así como edificaciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana, como: hospitales, escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, estadios, depósitos de sustancias inflamables o tóxicas; museos y edificios que alojen archivos y registros públicos de particular importancia, a juicio del Departamento; y*

*II.-Grupo B. Edificaciones comunes destinadas a vivienda, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el Grupo A, las que se subdividen en.*

*a) Subgrupo B1. Edificaciones de más de 30 m de altura o con más de 6,000 m<sup>2</sup> de área total construida, ubicadas en las zonas I y II a que se alude en el artículo 175, y construcciones de más de 15 m de altura o 3,000 m<sup>2</sup> de área total construida, en zona III; en ambos casos las áreas se refieren a un sólo cuerpo de edificio que cuente con medios propios de desalojo, (acceso y escaleras), incluyen las áreas de anexos, como pueden ser los propios cuerpos de escaleras. El área de un cuerpo que no cuente con medios propios de desalojo se adicionará a la de aquél otro a través del cual se desaloje. Además templos, salas de espectáculos y edificios que tengan salas de reunión que puedan alojar más de 200 personas, y*

*b) Subgrupo B2 Las demás de este grupo*

Por una parte distingue, como del grupo A, a un buen número de construcciones para las cuales los requisitos de seguridad estructural deben ser más estrictos en vista de que las consecuencias de su falla pueden ser particularmente graves. Eso se refleja en los factores de carga más altos para diseño por cargas verticales (artículo 194), en los coeficientes sísmicos más severos (capítulo VI) y en las presiones de viento más altas (capítulo VII).

El resto de las construcciones queda incluido en el grupo B, y a su vez se subdivide en los subgrupos B1 y B2. Las primeras, por su tamaño en área construida o en altura, requieren de mayores cuidados en los aspectos de seguridad estructural, por lo que tanto para estas como para las del grupo A se exige la intervención de un Corresponsable en Seguridad Estructural que tome a su cargo la responsabilidad de las distintas partes de la obra que inciden en la seguridad estructural.

Este especialista se hará cargo de todos los aspectos relacionados con el tema. Lo anterior no implica necesariamente que una sola persona deba realizar los estudios de campo, el proyecto de la cimentación y de la estructura, la supervisión de la obra y la verificación de calidad de los materiales. El corresponsable en la seguridad estructural deberá, por lo menos, haber analizado y revisado suficientemente a fondo estos rubros como para asegurarse y certificar que hay congruencia entre las diversas actividades y que se han seguido los criterios establecidos por este reglamento. En otros artículos del Título III del Reglamento se establecen los requisitos y mecanismos para el nombramiento de los Directores de Obra y de los Corresponsables en la Seguridad Estructural, así como las prerrogativas y responsabilidades de los mismos.

La lista de edificaciones del Grupo A del artículo 174 ubica en este grupo a construcciones que reúnen alguna de las dos condiciones siguientes:

- a) su sobrevivencia y operabilidad son esenciales en caso de desastres, para atender las emergencias que pueden presentarse.
- b) su falla puede causar la pérdida de un número elevado de vidas o un grave daño a la sociedad.

El Director de Obra o el Corresponsable de la Seguridad Estructural deberán calificar dentro del grupo A las edificaciones que, aunque no incluidas expresamente en la lista, reúnan alguna de las dos características anteriores.

En relación a los edificios de la lista, las excepciones que pudieran hacerse se refieren a casos en que claramente no se de ninguna de las dos características mencionadas. Así por ejemplo, de las escuelas pueden excluirse los centros de capacitación para adultos. Las escuelas se han incluido en el Grupo A porque se pretende dar mayor protección a los menores, cuyo desalojo y atención en caso de emergencia son problemáticos.

La subdivisión de las construcciones del grupo B, en B1 y B2 se relaciona con la exigencia de que para que las construcciones de mayor tamaño y en aquellas de alta ocupación (subgrupo B1), se cuente con un Corresponsable en Seguridad Estructural. Los requisitos de diseño son idénticos en los dos casos.

En el artículo 175 se establece la subdivisión del Distrito Federal en tres zonas, atendiendo el tipo de suelo: de lomas, de transición y de lago; los criterios para distinguir a qué zona corresponde un predio dado, se proporcionan en el capítulo de cimentaciones. La zonificación incide en los coeficientes sísmicos y en otros requisitos para diseño sísmico de las construcciones, en los aspectos de mecánica de suelos así como en los que conciernen la supervisión de calidad de la obra. En este reglamento se imponen condiciones más estrictas de supervisión y de seguridad a las construcciones ubicadas en la zona de lago (zona III), donde son más severos los efectos sísmicos y los problemas de cimentaciones. En las normas de diseño sísmico se hace una subdivisión más fina de estas zonas. A una parte de la zona III y a una pequeña fracción de la zona II que se encuentran sombreadas en el mapa de la Fig 3.1 de las normas de sismo, se les considera en una zona especial donde los coeficientes sísmicos básicos son los de zona III, pero en la que no se pueden hacer las reducciones que la norma permite cuando se considera la interacción suelo-estructura.

Cabe notar que en este Título del Reglamento no se establece limitación alguna a la altura de las edificaciones o al sistema constructivo a adoptar en una u otra zona. Se imponen requisitos de diseño estructural más estrictos en la zona del lago, los que hacen más costosa la construcción en esa zona especialmente para edificios altos. También se han hecho mucho más severos los requisitos de diseño para algunos sistemas de construcción que han mostrado ser poco eficientes para resistir acciones sísmicas, de manera que es antieconómico su empleo en construcciones

de ciertas características. Tal es el caso de los sistemas de losa plana reticular, para los que es prácticamente imposible cumplir con los requisitos de desplazamientos laterales admisibles en edificios de cierta altura, a menos que se recurra a rigidizarlos con muros de concreto o contravientos.

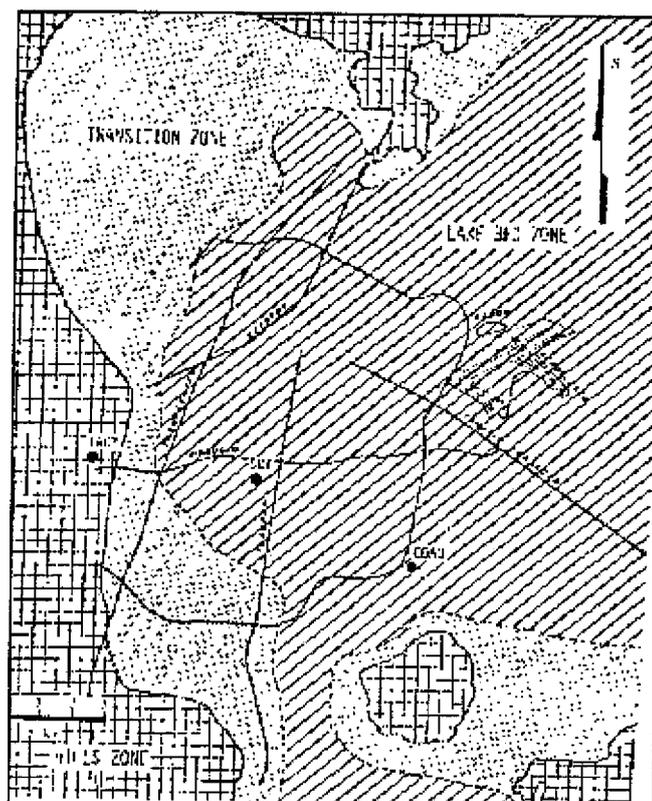


Fig. 1. Microzonificación sísmica del D.F.

### 3. CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS EDIFICACIONES

La incorporación de un capítulo que fija requisitos esencialmente ligados al proyecto arquitectónico dentro del Título de seguridad estructural, obedece a la intención de destacar la importancia de que desde la concepción del proyecto arquitectónico se consideren aquellos factores que mayormente inciden en la seguridad, con especial atención en el comportamiento sísmico de la construcción (ver Cuadro III).

De esta manera se evita que en el proyecto estructural se tenga que recurrir a soluciones forzadas y antieconómicas para proporcionar seguridad a construcciones cuya forma y distribución de elementos resistentes son poco favorables. A este respecto en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño Sísmico se establece una lista de requisitos para que la estructuración de un edificio pueda considerarse como regular (ver Cuadro IV); el cumplimiento de estos requisitos depende en buena parte de características ligadas al proyecto arquitectónico. En los diversos artículos de este capítulo se llama la atención sobre la importancia de guardar una separación adecuada entre construcciones para evitar choques durante sismos, de asegurarse que los recubrimientos exteriores e interiores sean de materiales cuyo desprendimiento no pueda causar daños a personas o, en caso contrario, de que estos se fijen eficazmente a la estructura (ver Cuadro V).

Particularmente importante es que los elementos no estructurales que puedan afectar el comportamiento de la

estructura estén definidos desde el proyecto estructural y tomados en cuenta en este y que, además, cualquier modificación que a ellos se haga, sea tomada en cuenta en el diseño y aprobada por el corresponsable en seguridad estructural. Los más críticos de estos elementos no estructurales son los muros divisorios o de fachada, de mampostería, que se usan normalmente en las construcciones con estructura de concreto o acero; si estos elementos no se desligan de la estructura principal modifican radicalmente su rigidez y su comportamiento ante cargas laterales. Es muy importante que la posición y condiciones de liga de estos elementos con la estructura principal sean congruentes con lo supuesto en el proyecto estructural. El artículo 204 del Reglamento aclara las opciones que se tienen en cuanto a la consideración de estos elementos en el diseño sísmico.

### Cuadro III. Aspectos arquitectónicos que influyen en la seguridad estructural

---

*Artículo 176.- El proyecto arquitectónico de una edificación deberá permitir una estructuración eficiente para resistir las acciones que puedan afectar la estructura, con especial atención a los efectos sísmicos.*

*El proyecto arquitectónico de preferencia permitirá una estructuración regular que cumpla con los requisitos que se establezcan en las Normas Técnicas Complementarias de Diseño Sísmico.*

*Las Edificaciones que no cumplan con dichos requisitos de regularidad se diseñarán para condiciones sísmicas más severas, en la forma que se especifique en las Normas mencionadas.*

*Artículo 177.- Toda edificación deberá separarse de sus linderos con predios vecinos a una distancia cuando menos igual a la que se señala en el artículo 211 de este Reglamento, el que registrará también las separaciones que deben dejarse en juntas de edificación entre cuerpos distintos de una misma edificación. Los espacios entre Edificaciones vecinas y en las juntas de edificación deberán quedar libres de toda obstrucción.*

*Las separaciones que deben dejarse en colindancia y juntas se indicarán claramente en los planos arquitectónicos y en los estructurales*

*Artículo 178.- Los acabados y recubrimientos cuyo desprendimiento pueda ocasionar daños a los ocupantes de la edificación o a los que transiten en su exterior, deberán fijarse mediante procedimientos aprobados por el Director Responsable de Obra y por el Corresponsable en Seguridad Estructural, en su caso. Particular atención deberá darse a los recubrimientos pétreos en fachadas y escaleras, a las fachadas prefabricadas de concreto, así como a los plafones de elementos prefabricados de yeso y otros materiales pesados*

*Artículo 179.- Los elementos no estructurales que puedan restringir las deformaciones de la estructura, o que tengan un peso considerable, muros divisorios, de colindancia y de fachada, preiles y otros elementos rígidos en fachadas, escaleras y equipos pesados, tanques, rinacos y caseas, deberán ser aprobados en sus características y en su forma de fijación por el Director Responsable de Obra y por el Corresponsable en Seguridad Estructural en obras en que éste sea requerido.*

*El mobiliario, los equipos y otros elementos cuyo volteo o desprendimiento pueda ocasionar daños físicos o materiales, como libreros altos, anaqueles y tableros eléctricos o telefónicos, deben fijarse de tal manera que se eviten estos daños.*

*Artículo 181.- Cualquier perforación o alteración en un elemento estructural para alojar ductor o instalaciones deberá ser aprobado por el Director Responsable de Obra o por el Corresponsable en Seguridad Estructural en su caso, quien elaborará planos de detalle que indiquen las modificaciones y refuerzos locales necesarios.*

*No se permitirá que las instalaciones de gas, agua y drenaje crucen juntas constructivas de un edificio a menos que se provean de conexiones flexibles o de tramos flexibles*

---

#### Cuadro IV. Condiciones de regularidad

*Para que una estructura pueda considerarse regular debe satisfacer los siguientes requisitos:*

- 1. Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes.*
- 2. La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5.*
- 3. La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5.*
- 4. En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera de la entrante o saliente.*
- 5. En cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.*
- 6. No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión en planta medida paralelamente a la dimensión que se considere de la abertura, las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área de la planta.*
- 7. El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que el del piso inmediato inferior ni, excepción hecha del último nivel de la construcción, es menor que 70 por ciento de dicho peso*
- 8. Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que la del piso inmediato inferior, ni menor que 70% de ésta. Se exime de este último requisito únicamente al último piso de la construcción*
- 9. Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones ortogonales por diafragma horizontal y por trabes o losas planas.*
- 10. La rigidez al corte de ningún entrepiso excede en más de 100 por ciento a la del entrepiso inmediatamente inferior.*

## Cuadro V. Separación entre edificios

*Artículo 211.- Toda edificación deberá separarse de sus linderos con los predios vecinos una distancia no menos de 5 cm, ni menor que el desplazamiento horizontal calculado para el nivel de que se trate, aumentado en 0.001, 0.003 ó 0.006 de la altura de dicho nivel sobre el terreno en las zonas I, II y III, respectivamente. El desplazamiento calculado será el que resulte del análisis con las fuerzas sísmicas reducidas según los criterios que fijan las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, multiplicado por el factor de comportamiento sísmico marcado por dichas Normas.*

*En caso de que en un predio adyacente se encuentre una construcción que esté separada del lindero una distancia menor que la antes especificada, deberán tomarse precauciones para evitar daños por el posible contacto entre las dos construcciones durante un sismo.*

*Si se emplea el método simplificado de análisis sísmico, la separación mencionada no será, en ningún nivel, menor de 5 cm, ni menor de la altura del nivel sobre el terreno multiplicada por 0.007, 0.009 ó 0.012, según que la edificación se halle en las zonas I, II ó III, respectivamente.*

*La separación entre cuerpos de un mismo edificio o entre edificios adyacentes será cuando menos igual a la suma de las que de acuerdo con los párrafos precedentes corresponden a cada uno.*

*Podrá dejarse una separación igual a la mitad de dicha suma si los dos cuerpos tienen la misma altura y estructuración y, además las losas coinciden a la misma altura, en todos los niveles.*

*Se anotarán en los planos arquitectónicos y en los estructurales las separaciones que deben dejarse en los linderos y entre cuerpos de un mismo edificio.*

*Los espacios entre Edificaciones colindantes y entre cuerpos de un mismo edificio deben quedar libres de todo material. Si se usan tapajuntas, éstas deben permitir los desplazamientos relativos, tanto en su plano como perpendicularmente a él.*

## 4. CRITERIOS DE DISEÑO SISMICO

El diseño de las estructuras para resistir efectos sísmicos difiere del que se realiza para el efecto de otras acciones. Las razones son diversas. Lo peculiar del problema sísmico no estriba sólo en la complejidad de la respuesta estructural a los efectos dinámicos de los sismos, sino, sobre todo, se deriva de lo poco predecible que es el fenómeno y de la intensidades extraordinarias que pueden alcanzar sus efectos, asociado a que la probabilidad de que se presenten dichas intensidades extraordinarias en la vida esperada de la estructura es muy pequeña.

Por lo anterior, mientras que en el diseño para otras acciones se pretende que el comportamiento de la estructura permanezca dentro de su intervalo lineal, y sin daño, aun para los máximos valores que pueden alcanzar las fuerzas actuantes, en el diseño sísmico se reconoce que no es económicamente viable diseñar las edificaciones en general para que se mantengan dentro de su comportamiento lineal ante el sismo de diseño.

El problema se plantea en forma rigurosa como uno de optimación, en que debe equilibrarse la inversión que es razonable hacer en la seguridad de la estructura con la probabilidad del daño que se puede presentar.

La mayoría de los reglamentos modernos de diseño sísmico establecen como objetivo evitar el colapso, pero aceptar daño, ante un sismo excepcionalmente severo que se pueda presentar en la vida de la estructura, y evitar daños de cualquier tipo ante sismos moderados que tengan una probabilidad significativa de presentarse en ese lapso.

Estos objetivos pueden plantearse de manera más formal en términos de estados límite, y establecer tres de estos estados:

- a) Estado límite de servicio, para el cual no se exceden deformaciones que ocasionen pánico a los ocupantes,

interferencia con el funcionamiento de equipos e instalaciones, ni daños en elementos no estructurales.

b) Estado límite de integridad estructural, para el cual se puede presentar daño no estructural y daño estructural menor, como agrietamiento en estructuras de concreto, pero no se alcanza la capacidad de carga de los elementos estructurales.

c) Estado límite de supervivencia; para el cual puede haber daño estructural significativo, y hasta en ocasiones más allá de lo económicamente reparable, pero se mantiene la estabilidad general de la estructura y se evita el colapso.

En términos generales, puede establecerse como objetivos del diseño sísmico:

- i) evitar que se exceda el estado límite de servicio para sismos de intensidad moderada que pueden presentarse varias veces en la vida de la estructura;
- ii) que el estado límite de integridad estructural no se exceda para sismos severos que tienen una posibilidad significativa de presentarse en la vida de la estructura;
- iii) el estado límite de supervivencia no debe excederse ni para sismos extraordinarios que tengan una muy pequeña probabilidad de ocurrencia. Esta probabilidad puede manejarse en términos de periodos de retorno.

Los reglamentos en general, no establecen métodos explícitos para alcanzar estos objetivos, que estrictamente requerirían de análisis para tres niveles de sismos; tratan de cumplirlos de manera indirecta mediante un conjunto de requisitos que supuestamente lleven a ello.

Los objetivos antes expuestos no se logran simplemente diseñando la estructura para que sea capaz de resistir un conjunto de fuerzas laterales, aunque esto es parte esencial del proceso. Debe darse a la estructura la habilidad de disipar de la manera más eficiente la energía introducida por el movimiento del terreno. En caso de sismos severos es aceptable que buena parte de esta disipación de energía se realice con deformaciones inelásticas que implican daño, siempre que no se alcancen condiciones cercanas al colapso.

El cumplimiento de los objetivos, en términos muy simplistas, implica que la estructura posea una rigidez adecuada para limitar sus desplazamientos laterales y para proporcionarle características dinámicas que eviten amplificaciones excesivas de la vibración; que posea resistencia a carga lateral suficiente para absorber las fuerzas de inercia inducidas por la vibración; y que tenga alta capacidad de disipación de energía mediante deformaciones inelásticas, lo que se logra proporcionándole ductilidad.

A grandes rasgos el diseño sísmico de una estructura implica las siguientes etapas:

a) La selección de un sistema estructural adecuado. El sistema estructural debe ser capaz de absorber y disipar la energía introducida por el sismo sin que se generen efectos particularmente desfavorables, como concentraciones o amplificaciones dinámicas. De la idoneidad del sistema adoptado depende en gran parte el éxito del diseño.

b) El análisis sísmico. Los reglamentos definen las acciones sísmicas para las cuales debe calcularse la respuesta de la estructura y proporcionen métodos de análisis de distinto grado de refinamiento. La atención debe prestarse más a la determinación del modelo analítico más representativo de la estructura real, que al refinamiento del análisis, para el cual se cuenta actualmente con programas de computadora poderosos y fáciles de usar, que simplifican notablemente el problema.

c) El dimensionamiento de las secciones. Los métodos de dimensionamiento de las secciones y elementos estructurales no difieren sustancialmente de los que se especifican para otros tipos de acciones, excepto para los

métodos de diseño por capacidad que se mencionarán más adelante.

d) Detallado de la estructura. Para que las estructuras tengan un comportamiento dúctil es necesario detallar sus elementos y conexiones para proporcionarles gran capacidad de deformación antes del colapso. Los requisitos al respecto son particularmente severos en estructuras de concreto, en las que conducen a modificaciones sustanciales en las cuantías y distribuciones de refuerzo, con respecto a la práctica convencional en zonas sísmicas.

El procedimiento de diseño adoptado por la mayoría de los códigos actuales consiste esencialmente en un diseño elástico con fuerzas reducidas. Se acepta que parte de la energía introducida en la estructura por el sismo, se disipe por deformaciones inelásticas y, por ello, las fuerzas que deben ser capaces de resistir la estructura son menores que las que se introducirían si su comportamiento fuese elástico-lineal. El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 93, especifica un espectro de diseño de referencia para el diseño de estructuras que no pueden tener deformaciones inelásticas significativas, pero permite que dichas fuerzas se reduzcan por un factor de comportamiento,  $Q$ , que depende del tipo de estructura en función de su capacidad de disipación de energía inelástica, o de su ductilidad. Con estas fuerzas reducidas se analiza un modelo lineal de la estructura y se revisa que no se rebasen estados límite de resistencia de sus secciones.

Para cumplir con el objetivo de evitar daños no estructurales ante sismos moderados, los reglamentos requieren que se mantengan los desplazamientos laterales del edificio dentro de límites admisibles. Se usan los desplazamientos que se calculan para el sismo de diseño y que por tanto, no corresponden a condiciones de servicio, y se comparan con desplazamientos admisibles que son muy superiores a los que ocasionan daño no estructural. Por ejemplo, el RCDF-87 acepta desplazamientos relativos de entrepiso de 0.006 y 0.012 veces la altura del mismo entrepiso; según el edificio tenga o no ligados a la estructura elementos frágiles. Estas deformaciones son del orden de tres veces mayores que las que son suficientes para iniciar daños en los elementos no estructurales. Por tanto, eso implica de manera gruesa, que sólo se pretende evitar daño no estructural para sismos del orden de un tercio de la intensidad del sismo de diseño.

Por otra parte, el procedimiento de diseño no incluye una revisión explícita de la seguridad ante el colapso (estado límite de supervivencia). Sólo se supone que, al obedecer ciertos requisitos de ductilidad, la estructura dispondrá de capacidad de disipación inelástica de energía suficiente para evitar el colapso.

Operando de esta manera se garantiza que la estructura en caso de sobrepasar su intervalo de comportamiento lineal, lo hará en la forma que permite la máxima capacidad de rotación. Las zonas de fluencia elegidas actuarán como fusibles impidiendo que se introduzcan en las estructuras fuerzas que puedan producir otros modos de falla más desfavorables.

## **5. PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO SISMICO DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL (RCDF-1993)**

Se presentarán aquí, en sus aspectos esenciales, los criterios de diseño sísmico del RCDF-93. Este Reglamento no tiene modificaciones relevantes en lo relativo a diseño sísmico, con respecto a la versión que fue promulgada en 1987.

Los métodos específicos de diseño en orden creciente de refinamiento, el simplificado, el estático y los dinámicos.

Como en sus versiones anteriores, el cuerpo principal del Reglamento incluye solamente requisitos de carácter general. Métodos y prescripciones particulares están contenidas en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño Sísmico (NTCS). Además, requisitos específicos para el diseño sísmico de los principales materiales estructurales se encuentran en las Normas Técnicas para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, Metálicas, de Mampostería y de Madera, respectivamente.