

El grupo de los ingenieros que trabajan en zonas de amenaza sísmica intermedia realiza una parte importante de los diseños estructurales del país, dado que Bogotá y Medellín están localizados en zonas de amenaza sísmica intermedia. En general se adaptaron a los requisitos del Decreto 1400/84 sin que sintieran que se presentaba un cambio radical con respecto a las prácticas anteriores. La necesidad de dar una rigidez adecuada ante fuerzas horizontales a la estructura es un punto en el cual el Decreto 1400/84 produjo un cambio en la forma de ejecutar los diseños. La aparición de muros estructurales en edificios que anteriormente no los tenían, usualmente a través de convertir el núcleo de ascensores en un muro estructural, es reflejo de la preocupación al respecto y una respuesta a la importancia que le asignan al Norma.

Los ingenieros que trabajan en zonas de amenaza sísmica alta, probablemente fueron los más afectados por la aparición del Decreto 1400/84. No solo tuvieron que adaptarse a requisitos que en alguna medida demandaban un mayor costo de las estructuras, en comparación a lo que era costumbre antes del Decreto 1400/84, sino que tuvieron que afrontar problemas casi insolubles al tratar de cumplir los requisitos de deriva con soluciones estructurales que conscientemente sabían no eran las más acertadas para el efecto, pero que sus clientes no estaban dispuestos a variar. La aparición de muros estructurales ha sido más marcada que en el resto del país, pero aún manifiestan dificultad al tratar de cumplir con lo que el Decreto 1400/84 exige.

- *Arquitectos* - En general se vieron afectados por un cambio inusitado en las dimensiones de columnas y los espesores de las vigas en las losa. No hay una mayor conciencia respecto al problema sísmico y de la necesidad de permitir estructuras más rígidas ante fuerzas horizontales. No hay mayor conciencia de que los acabados que disponen en sus diseños puedan verse afectados por el mayor o menor grado con que se limite la deriva, ni que están influyendo en el comportamiento futuro de la edificación, cuando ésta se vea afectada por un sismo. Esta falta de información se ve reflejada en la normativa urbana de las ciudades colombianas, en general manejada por los arquitectos, donde no entra en juego ninguna consideración de orden sísmico; aún obligando a prácticas inconvenientes desde el punto de vista de comportamiento sísmico, como es la excesiva irregularidad de la edificación forzada por normas urbanas caprichosas que insisten en retrocesos excesivos y discontinuidades importantes de la estructura. Es, con seguridad, el grupo que requiere mayor concientización sobre los problemas asociados con los efectos de los sismos en las edificaciones y donde debe buscarse el mayor respaldo y soporte, para poder lograr edificaciones seguras y de buen comportamiento ante los eventos sísmicos
- *Constructores* - Aunque manifestaron reservas respecto a la necesidad, alcance y requisitos del Norma en un comienzo, puede decirse que en general esta preocupación inicial se desvaneció y es actualmente un sector preocupado y sensitivo al tema. No hay una gran conciencia respecto a que la práctica mundial en la disposición y uso de acabados en edificaciones localizadas en zonas sísmicas ha cambiado radicalmente en los últimos años y que a la luz de estos cambios la práctica colombiana deja mucho que desear.
- *Sector oficial de prevención de desastres* - Hay conciencia sobre el problema. Ha habido insistencia acerca de una necesidad de hacer más restrictivos los requisitos del Norma, especialmente en edificaciones del sector hospitalario donde la operatividad de la instalación inmediatamente después de un sismo es prioritaria [Ref. 59]. Han insistido en la introducción en la norma de prescripciones acerca de elementos no estructurales y de la obligatoriedad de que sean diseñados explícitamente para las fuerzas y deformaciones a que puedan verse sometidos durante un sismo.
- *Aseguradoras* - Siempre han manifestado preocupación sobre el tema. La introducción del seguro obligatorio contra terremoto con posterioridad a la ocurrencia del sismo de Popayán es reflejo de las implicaciones económicas que tuvo para este sector la ocurrencia de un sismo.

Recientemente se vieron afectados por los sismos ocurridos en el territorio nacional. A raíz de estos sismos se han presentado gran cantidad de reclamos a las pólizas expedidas por ellos. Estos reclamos afectaron, en muchos casos, más de una unidad de vivienda dentro de la edificación. Infortunadamente los aspectos actuariales con que se maneja el tema en el sector es totalmente dependiente de los datos proporcionados por las reaseguradoras internacionales.

Con excepción de unos tímidos ejemplos, no se ha realizado en el país un estudio serio sobre la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones colombianas y más grave aún no es claro que haya ninguna intención de afectar el valor de las primas de seguro contra terremoto en función de la bondad de ciertos tipos de sistema constructivo.

El uso del seguro como un elemento coercitivo para impedir el uso de prácticas constructivas que no son buenas, es un recurso utilizado ampliamente a nivel mundial, que aún no ha sido empleado, en todo su potencial, a nivel nacional. La reciente liberación de las restricciones tarifarias de las pólizas de seguros conducirá probablemente a cambios en el sector, de los cuales seguramente el más importante es la realización de investigaciones sobre la realidad nacional al respecto, los cuales muy seguramente se pagarán con creces en el momento de negociar las primas de reaseguro.

La actitud de este grupo respecto a una variación en los requisitos de deriva de la norma es muy positiva, pues obviamente reduce el riesgo. Pero el aspecto más importante al respecto, es que se produzcan estudios que permitan evaluar el valor de las primas que se pagan en el país de una manera racional, y que si el país se embarca en un cambio de los sistemas estructurales actuales con el fin de reducir la flexibilidad de las estructuras, haya una reducción correspondiente en el valor de las primas que refleje el eventual sobre costo en que se incurre en la construcción.

- *Investigadores* - Vienen dando voces de alerta sobre el problema. Ha habido gran número de seminarios, foros y eventos donde se manifestó la necesidad de reevaluar los requisitos de la Norma de 1984 respecto a las derivas límites. Tal vez ha faltado una mayor difusión de estos aspectos y la realización de más investigaciones que soporten los criterios que han expresado.
- *Sector de normalización sísmica* - La responsabilidad de los cambios a las Normas Sismo Resistentes para producir la NSR-98 fue de este grupo. Afortunadamente comprende diferentes sectores representativos de quienes se ven afectados por los cambios. El hecho de que haya un gran número de ingenieros estructurales dentro de el grupo simplemente trasladó la diversidad de criterios que ese sector presenta a las deliberaciones al respecto.
- *Usuarios* - Aunque es probablemente el grupo que tiene menor conocimiento sobre el tema, no quiere esto decir que no tenga muy claros cuales deben ser los resultados. Hay gran falta de información acerca de que implica el diseño sismo resistente y es evidente que desconocen que el objetivo del Decreto 1400 de 1984 era la defensa de la vida y que la defensa de la propiedad es totalmente secundaria. En este aspecto entra en juego, de una manera importante, que el diseño es "sismo resistente", pero las expectativas de los usuarios son "anti-sísmicas". El usuario no espera ningún tipo de daño a su propiedad a raíz de la ocurrencia de un sismo y existe gran dificultad que acepte que éste ocurra, más aún cuando se le ha insistido que el diseño es "anti-sísmico". La desprotección de los acabados es un punto neurálgico que debe tomarse muy en cuenta en los cambios en las prácticas constructivas que se adopten en el futuro, y estos cambios deben gravitar alrededor de las expectativas de comportamiento de los usuarios.

Es evidente que existe una diversidad de factores y criterios respecto a las razones, objetivos, procedimientos y consecuencias de la utilización del Norma. No obstante, la experiencia que se ha tenido con los sismos ocurridos en el territorio nacional con posterioridad a la expedición del

Decreto 1400 de 1984, sumado al hecho de que las normas internacionales sobre las cuales se sustentó su redacción han tenido variación en los trece años que lleva, reforzó la necesidad de actualizarlo.

Comportamiento de las edificaciones en los sismos recientes

Dentro del comportamiento de las edificaciones construidas en las zonas que se vieron afectadas por los sismos ocurridos recientemente en territorio nacional se destacan los siguientes aspectos:

- Los daños estructurales graves que se presentaron ocurrieron todos en edificaciones construidas antes de la vigencia del Decreto 1400/84. Así mismo, los edificios que sufrieron colapso en la ciudad de Pereira fueron construidos antes de 1984.
- La gran mayoría de los daños reportados corresponden a daños en las fachadas y los muros interiores de las edificaciones, o sea en elementos no estructurales. Estos daños se presentaron tanto en edificaciones construidas antes como después de la vigencia del Norma. Así mismo la gran mayoría de las víctimas fueron causadas por la caída de elementos no estructurales principalmente de las fachadas de las edificaciones.
- En las edificaciones de las instalaciones de Cusiana, localizada a 12.5 km del epicentro del sismo de Tauramena del 19 de Enero de 1995, cuyos elementos no estructurales se construyeron tomando las precauciones que exige el Uniform Building Code de California [Ref. 47], no se presentó ningún daño, ni estructural ni en acabados.

En general podría afirmarse que el Norma cumplió su cometido principal de evitar colapso y daño estructural grave de las edificaciones. No obstante, fue notoria la desprotección de los elementos no estructurales, tal como se han construido tradicionalmente en el país, y su potencial peligrosidad para la vida humana.

Por otro lado esta es, tal vez, la primera vez que se obtiene una cantidad apreciable de registros acelerográficos de los movimientos sísmicos, gracias a la instrumentación de la Red Nacional de Acelerógrafos, que opera el Ingeominas. Los valores de aceleración horizontal registrados fueron en general bajos, en comparación con los valores requeridos por la Norma. Por ejemplo el valor máximo de aceleración horizontal registrado en Villavicencio (120 km del epicentro) para el sismo de Tauramena del 19 de Enero de 1995, fue 0.027g (2.7% de la aceleración de la gravedad), mientras que el Norma exige 0.30g (Véase la Figura 4), o sea diez veces más. Lo mismo ocurre para la ciudad de Bogotá (140 km del epicentro) con el mismo sismo, el registro en roca fue de 0.017g (1.7% de la aceleración de la gravedad), mientras que el NSR-98 exige utilizar 0.20g en los diseños, del orden de diez veces más. Con el sismo de Calima-Darién del 8 de Febrero de 1995 se presenta una situación similar: el registro máximo se obtuvo en Trujillo, Valle, (40 km del epicentro) y fue de 0.048g (4.8% de la aceleración de la gravedad), y el NSR-98 exige allí 0.25g, cinco veces más. La ciudad de Pereira está localizada aproximadamente a 120 km del epicentro, por lo tanto las aceleraciones debieron ser menores que el valor registrado en Trujillo.

Lo anterior simplemente indica que los sismos que se presentaron a comienzos de 1995 corresponden a eventos que distan bastante del sismo de diseño que prevee la Norma, al menos para los lugares donde se obtuvieron los registros. La atenuación de la energía de las ondas sísmicas hace que ésta se reduzca apreciablemente en la medida que la distancia que tengan que viajar las ondas sea mayor. No obstante se presentaron daños importantes incluso en edificaciones nuevas, particularmente en elementos no estructurales con sismos cuyas aceleraciones en varios casos pueden ser del orden de diez o más veces menos que las determinadas por el Norma para el diseño.

EXPEDICION DE UNA NUEVA NORMATIVA SISMO RESISTENTE

Conveniencia de la norma

De todas las formas de acuerdo social, la ley constituye el mecanismo más equilibrado para regular las relaciones de los asociados. A través de ella el Estado debe procurar evitar las nefastas consecuencias de tragedias y desastres de la magnitud de las recientemente observadas o las inolvidables escenas del pasado, en materia de pérdidas humanas. Ello debe constituir un propósito nacional, gremial y estatal tendiente a proteger a todas las personas residentes en Colombia.

El establecimiento legislativo de las condiciones de seguridad permite por una parte determinar las mínimas reglas a las cuales deben someterse las personas encargadas de llevar a cabo la construcción de inmuebles y por otra permite al Estado ejercer la función señalada en el Artículo 2 de la Constitución Nacional por medio del cual se impone a las autoridades de la República propender por la protección de todas las personas residentes en Colombia en su vida, honra y bienes.

Por lo anteriormente dicho, resulta evidente que la doble función y la cooperación sector privado-Estado en la lucha contra las consecuencias lamentables de los desastres naturales se hace imperiosa y de allí la importancia de la presente actualización de la Norma.

Necesidad de acudir al Congreso de Colombia

El artículo 76 ordinal 12 de la anterior Constitución Nacional permitía al Congreso de la República revestir de manera temporal al Gobierno de precisas facultades para que adoptara la condición transitoria de legislador en una materia precisa y expidiera decretos con fuerza de ley que tuvieran la condición y la misma categoría de la ley. Fue así como, al amparo de las facultades otorgadas por la Ley 11 de 1983 se adoptó el Decreto 1400/84, Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, decreto que tiene la misma categoría de la Ley.

La experiencia demostró la impostergable necesidad de actualizar la Norma, de adoptar nuevos esquemas de seguridad y de acomodarlo a las nuevas tendencias de la técnica y la ciencia. Para tal propósito se hizo necesario derogar la ley existente razón por la cual y en virtud de la prohibición constitucional de otorgar facultades extraordinarias para expedir Normas y al fijarse esta facultad como propia del Congreso de la República fue necesario acudir al trámite ordinario para la adopción de una nueva ley, la cual fue aprobada como Ley 400 del 19 de Agosto de 1997.

A través de la Ley 400 se acoge de manera definitiva y con carácter permanente el alcance de la legislación relativa la normativa sismo resistente, facultando al Gobierno para que a través del ejercicio de la potestad reglamentaria actualice las normas en aquellos aspectos técnicamente aconsejables y que de tiempo en tiempo se requieran para una mejor implementación de las nuevas técnicas y avances tecnológicos.

Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes

La naturaleza eminentemente técnica del tema objeto de normalización, hace que el desarrollo de las ciencias específicamente en las áreas de sistemas de información, comunicaciones, los diseños y la construcción, así como las características, idiosincrasia, posibilidades y recursos del grupo humano para quien se legisla, influyan de manera determinante en la obsolescencia o permanencia de lo allí reglamentado, haciendo que dichas normas puedan tomarse en manera alguna como verdades absolutas e inmutables.

Esto implica que una Norma Sismo Resistente debe ser un organismo vivo que se desarrolle y se nutra del avance de la tecnología y de las demás acciones propias de una comunidad y de un

gobierno, razón de más, que justifica la existencia de un grupo interdisciplinario conformado por especialistas que constituyan la Comisión Asesora Permanente.

Una comisión similar funcionó a partir de 1984, cuando fue creada mediante Decreto 2170, adscrita al Ministerio de Obras Públicas y Transporte, conformada por este Ministro o su delegado, un representante de la Sociedad Colombiana de Ingenieros y un representante de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, cumpliendo funciones de atención de consultas tanto oficiales como particulares, dirección y supervigilancia de las investigaciones relacionadas con el Norma, envío de comisiones de estudio a las zonas donde han ocurrido temblores en el territorio nacional y publicación de sus informes, organización y realización de seminarios y cursos de actualización y definición del Norma, dirección de investigaciones sobre las causas de fallas estructurales y definición sobre si se aplicó o no el Norma, dirección y asesoría en la elaboración de estudios de microzonificación sísmica de ciudades dentro del país, entre otras.

Sobre estas labores existen informes y resultados concretos de los que se desprenden claramente la importancia de su existencia, la efectividad de su funcionamiento, en contraposición a la escasa carga económica y administrativa que ello implicó al ente del cual dependía.

La Ley 400 de 1997 crea una Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes. La Ley establece su composición de la siguiente manera: un representante de la Presidencia de la República, un representante del Ministerio de Desarrollo Económico, un representante del Ministerio de Transporte, el Representante Legal del Instituto de Investigaciones en Geociencia, Minería y Química INGEOMINAS -, o su delegado, el Presidente de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS - o su delegado, quien actuará como Secretario de la Comisión, el Presidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros - SCI -, o su delegado, el Presidente de la Sociedad Colombiana de Arquitectos - SCA -, o su delegado, el Presidente de la Asociación Colombiana de Ingeniería Estructural - ACIES -, o su delegado, un representante de las Organizaciones Gremiales relacionadas con la industria de la construcción, el Presidente de la Cámara Colombiana de la Construcción - CAMACOL -, o su delegado, y un delegado del Comité Consultivo Nacional, según la Ley 361 de 1997.

Procedimiento empleado en la actualización de la normativa sismo resistente

Desde el año 1992, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica ha venido trabajando formalmente en la actualización de las Normas Sismo Resistentes, gracias al auxilio concedido para este fin por el Fondo Nacional de Calamidades. Este proceso ha sido realizado por el Comité AIS 100 de la Asociación, el cual cuenta con numerosos profesionales expertos en el tema, dentro de sus miembros. El Comité AIS 100 está dividido en ocho subcomités que tratan los diferentes temas cubiertos por la norma. El documento que recientemente discutió y aprobó el Comité AIS 100 se denomina Norma AIS 100-97 [Ref. 13] y es análogo a la Norma AIS 100-83 [Ref. 10], que sirvió de base al Decreto 1400/84. La norma AIS 100-97 corresponde al contenido técnico del Reglamento NSR-98. La parte procedimental, de sanciones y jurídica, en general, está contenida en la Ley 400 aprobada por el Congreso de la República el 19 de Agosto de 1997.

El procedimiento de actualización del Reglamento se realizó de la siguiente manera:

- (a) Dentro de cada uno de los subcomités se produjo un documento preliminar del nuevo documento por parte de dos o tres miembros del subcomité. Este documento se envió a votación dentro del subcomité, con la obligación de que toda observación que se recibió de los miembros debió ser atendida. Con base en las observaciones recibidas se produjo un nuevo documento, que se llevó a votación nuevamente. Este proceso se repitió, cuantas veces fue necesario, hasta que hubo unanimidad dentro del subcomité respecto a que el documento propuesto era adecuado.

- (b) Una vez se obtuvo unanimidad dentro del subcomité, el documento se envió a votación dentro de todos los miembros del Comité AIS 100. Una vez se recibieron las observaciones pertinentes, éstas se discutieron dentro del subcomité que produjo el documento, tratando de conciliar las divergencias de criterio con quienes realizaron las observaciones. Este proceso se repitió cuantas veces fue necesario hasta el punto en que no hubo divergencias de criterio respecto a los requisitos contenidos dentro del documento o hubo aprobación por mayoría manifestada por medio de una votación afirmativa de más de las dos terceras partes del Comité en pleno.
- (c) Una vez el documento fue aprobado por el Comité AIS 100, se llevó a discusión pública, enviándolo a un amplio grupo de profesionales, instituciones y universidades. Las observaciones recibidas se atendieron y discutieron directamente con las personas que las enviaron.

El documento AIS 100-97 corresponde a la séptima versión que se sometió al proceso descrito en los pasos (a) y (b), y atiende las observaciones que se recibieron de la votación realizada en Octubre de 1997, tal como la describe el paso (c). Más adelante se presenta un listado de las instituciones, entidades y profesionales con las cuales se discutió el documento.

Esquema legal resultante

La nueva normativa sismo resistente está estructurada jurídicamente de la siguiente manera:

1. ***Ley 400 de 1997*** - El marco jurídico de la normativa sismo resistente gravita alrededor de la Ley 400 de 1997, por medio de la cual se adoptaron normas sobre construcción sismo resistente. La ley contiene:
 - El objeto y alcance de la normativa.
 - Define las responsabilidades de los diseñadores y constructores.
 - Obliga a la revisión de los diseños que se presentan para obtener las licencias de construcción.
 - Define cuando debe llevarse a cabo una supervisión técnica de la construcción.
 - Define las calidades y requisitos de experiencia que deben cumplir los diseñadores, los revisores de los diseños, los supervisores técnicos y los directores de construcción.
 - Crea la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, y le fija sus funciones.
 - Delega en el Gobierno Nacional una potestad reglamentaria que le permite en el futuro expedir Decretos Reglamentarios de carácter técnico y científico, de acuerdo con un temario que fija la misma ley, dándole a estos Reglamentos la denominación NSR, seguida por los dos últimos dígitos del año de expedición.
 - Fija el temario que deben seguir los decretos reglamentarios, dividiéndose en Reglamento en Títulos que van desde la A hasta la K.
 - Establece las responsabilidades y sanciones en que incurren los profesionales diseñadores, los constructores, los funcionarios oficiales y las alcaldías, al incumplir la Ley.
 - Además crea incentivos para quienes actualicen las construcciones existentes a las nuevas normas, obliga a realizar análisis de vulnerabilidad para las edificaciones indispensables existentes en un lapso de 3 años, y a repararlas en caso de que sean deficientes, con un plazo máximo de 6 años.
 - Por último, deroga los Decretos 1400 y 2170 de 1984.
 - La Ley 400 de 1997 entra en vigencia el 19 de Febrero de 1998.
2. ***El Decreto 33 de 1998 - Reglamento NSR-98*** - Por medio del Decreto 33 del 9 de Enero de 1998, el Gobierno Nacional expidió el Reglamento NSR-98, cuyo contenido se describe más adelante. Este Decreto se expidió con base en la Potestad Reglamentaria que da la Ley 400 de

1997. El contenido del Reglamento se ajusta a lo establecido en la Ley 400 de 1997. Este Reglamento podrá ser actualizado y modificado en el futuro, cuando se estime conveniente, por medio de la expedición de nuevos Decretos Reglamentarios por parte del Gobierno Nacional y previo visto bueno de la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes.

3. **Conceptos y Resoluciones de la Comisión Permanente** - La Ley 400 de 1997 al crear la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, adscrita al Ministerio de Desarrollo Económico, le fijó diversas funciones, dentro de las cuales se cuentan:

- Atender y absolver las consultas que le formulen las entidades oficiales y los particulares.
- Dirigir y supervigilar las investigaciones que se lleven a cabo sobre aspectos relacionados con la Ley 400-97 y su desarrollo.
- Enviar las comisiones de estudio que considere necesarias a las zonas del país que se vean afectadas por sismos o movimientos telúricos y publicar los resultados de tales estudios.
- Coordinar y realizar seminarios y cursos de actualización sobre las normas de construcción sismo resistentes.
- Orientar y asesorar la elaboración de estudios de microzonificación sísmica y fijar los alcances de los mismos.
- Coordinar las investigaciones sobre las causas de fallas de estructuras y emitir conceptos sobre la aplicación de las normas de construcciones sismo resistentes.
- Servir de Órgano Consultivo del Gobierno Nacional para efectos de sugerir las actualizaciones en los aspectos técnicos que demande el desarrollo de las normas sobre Construcciones Sismo Resistentes.
- Fijar dentro del alcance de la Ley 400-97, los procedimientos por medio de los cuales, periódicamente, se acrediten la experiencia, cualidades y conocimientos que deben tener los profesionales que realicen los diseños, su revisión, la construcción y su supervisión técnica, además mantener un registro de aquellos profesionales que hayan acreditado las cualidades y conocimientos correspondientes.
- Nombrar delegados ad-honorem ante instituciones nacionales y extranjeras que traten temas afines con el alcance y propósito de la Ley 400-97 y sus desarrollos.
- Las demás que le fije la Ley
- Las que le asigne el Gobierno Nacional, según su competencia.
- Además puede establecer detalladamente el alcance y procedimiento de ejecución de las labores profesionales de diseño estructural, estudios geotécnicos, diseño de elementos no estructurales, revisión de los diseños y estudios, dirección de la construcción, y supervisión técnica de la misma.
- Puede fijar los procedimientos por medio de los cuales se establezca la idoneidad, experiencia profesional y conocimiento de las normas sobre construcciones sismo resistentes, que deben tener los profesionales y el personal auxiliar que desarrolle las mencionadas labores, con la periodicidad que estime conveniente.
- Además, puede establecer los procedimientos para fijar los honorarios mínimos que se utilicen para retribuir las labores profesionales relacionadas con la Ley 400-97, cuando no se trate de servidores públicos.

QUE HAY NUEVO EN LA NSR-98

La nueva versión de las Normas Sismo Resistentes Colombianas Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes - NSR-98, está estructurada de una manera similar al Decreto 1400/84. El temario está dividido en Títulos, cada uno de los cuales agrupan una temática particular. Los seis Títulos del Decreto 1400/84 se actualizaron y hay cinco Títulos totalmente nuevos. Además dentro de algunos de los Títulos del Decreto 1400/84 se introdujeron Capítulos nuevos.

El temario del NSR-98 es el siguiente:

TITULO	CONTENIDO	OBSERVACIONES
A	Requisitos generales de diseño y construcción sísmo resistente	Actualizado
B	Cargas	Actualizado
C	Concreto estructural	Actualizado
D	Mampostería estructural	Actualizado
E	Casas de uno y dos pisos	Actualizado
F	Estructuras metálicas	Actualizado
G	Estructuras de madera	Nuevo
H	Estudios geotécnicos	Nuevo
I	Supervisión técnica	Nuevo
J	Requisitos de protección contra el fuego en edificaciones	Nuevo
K	Otros requisitos complementarios	Nuevo

A continuación se describe la proveniencia de la normativa y algunos de los cambios más importantes:

Generales

Hay algunos cambios que afectan todo el reglamento en conjunto, los cuales son una variación con respecto al Decreto 1400/84. Los más importantes son los siguientes:

Se suprimieron las palabras Sección, Artículo y Parágrafo en los encabezamientos de las diferentes secciones. Dada la forma jurídica de adopción del Reglamento estos encabezamientos no eran necesarios. Este cambio da mayor facilidad de lectura y consulta al Reglamento.

El sistema métrico tradicional conocido como sistema mks ha sido abandonado prácticamente todo todos los países del mundo que lo empleaban. El sistema métrico SI o Sistema Internacional de Medidas, fue establecido en la 11ª Conferencia Mundial de Pesos y Medidas, en 1960, se convirtió de uso obligatorio en el país por medio del Decreto 1731 de 1967, y es el sistema de unidades empleado hoy en día a nivel mundial. Aunque el sistema SI está basado en el sistema métrico original, la mayor diferencia radica en que el kg (kilogramo) es una unidad de masa en el sistema SI, mientras que era una unidad de fuerza en el sistema mks, donde se le debe denominar kgf (kilogramo fuerza). La totalidad del Reglamento NSR-98 se presenta en el sistema SI, con la excepción de los capítulos F.4, F.5, F.6 y F.7 de estructuras metálicas. A aquellas ecuaciones que producen resultados inconsistentes entre los dos sistemas de unidades se marcan con un asterisco en su número, i.e. (C.10-20*). Además se han colocado explicaciones en ciertas secciones para facilitar la transición al sistema SI de los ingenieros colombianos.

Todas las normas técnicas mencionadas en el Reglamento corresponden a normas técnicas colombianas, NTC, expedidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, con muy contadas excepciones. En este aspecto hay que resaltar la labor realizada por este Instituto para homologar normas nacionales en muchos casos en que solo existía una norma de la ASTM o de otro instituto de normalización.

Otra modificación de importancia con respecto al Decreto 1400/84 radica en que se ha definido el comportamiento sísmico de los sistemas y elementos estructurales de acuerdo con su capacidad de disipación de energía en el rango inelástico; aspecto fundamental en la obtención de una respuesta apropiada de la estructura al verse sometida a los efectos de un sismo. El Reglamento NSR-98 contempla tres niveles de capacidad de disipación de energía en el rango

inelástico: especial (*DES*), moderada (*DMO*) y mínima (*DMI*). Para cada uno de los materiales estructurales se prescriben los requisitos de detallado del elemento en función de estas tres capacidades. El empleo de elementos y sistemas estructurales en las diferentes zonas de amenaza sísmica se restringe de acuerdo con esta capacidad de disipación de energía en el rango inelástico, así:

CAPACIDAD DE DISIPACION ENERGIA	ZONA DE AMENAZA SISMICA		
	BAJA	INTERMEDIA	ALTA
MINIMA (<i>DMI</i>)	permitido	no	no
MÓDERADA (<i>DMO</i>)	permitido	permitido	no
ESPECIAL (<i>DES</i>)	permitido	permitido	permitido

En algunos casos en los cuales es imposible realizar una distinción que permita dar requisitos diferenciales al material, el Reglamento permite variaciones con respecto a lo indicado en la tabla anterior. Este es el caso de la mampostería de muros confinados.

Además dentro de todo el documento se procuró mejorar la redacción y la terminología empleadas.

Título A - Requisitos generales de diseño sismo resistente

El ATC-3 [Ref. 21 y 22] sobre el cual se basó la normativa sismo resistente colombiana, no fue adoptado como norma en los Estados Unidos inmediatamente. No obstante, fue actualizado a través del programa National Earthquake Hazard Reduction Program, NEHRP, en varias ocasiones, la última de las cuales ocurrió en 1994 [Ref. 39]. Tan solo la versión de 1997 del Uniform Building Code, UBC-97 [Ref. 47], se acoge a este tipo de reglamentación, diez y nueve años más tarde. Es indudable que los numerosos sismos catastróficos que han ocurrido a nivel mundial desde que apareció el ATC-3 en 1978, han influido en los cambios que se le han introducido, y en la normativa sísmica de diversos países.

Dentro de estos sismos se destacan, a nivel mundial:

Año	Mes	Día	Localización	Magnitud	Muertos
1980	Nov	23	Sur de Italia	$M_s = 7.2$	3 000
1985	Mar	3	Valparaíso, Chile	$M_s = 7.8$	177
1985	Sep	19	Michoacán, México	$M_s = 7.9$	9 500
1986	Oct	10	San Salvador, El Salvador	$M_s = 5.4$	1 000
1987	Mar	6	Ecuador, frontera con Colombia	$M_s = 7.0$	1 000
1988	Dic	7	Sputak, Armenia	$M_s = 7.0$	25 000
1989	Oct	17	Loma Prieta, California, USA	$M_s = 7.0$	63
1990	Jul	16	Luzón, Filipinas	$M_s = 7.8$	1 700
1992	Jun	28	Landers, California, USA	$M_s = 7.5$	1
1994	Ene	17	Northridge, California, USA	$M_s = 6.8$	60
1995	Ene	17	Kobe, Japón	$M_s = 7.2$	5 000

Los sismos anteriores tuvieron gran influencia en la normalización sísmica mundial, así:

El Sismo de Chile de 1985 resalto la importancia del uso de muros estructurales en el comportamiento de las estructuras [Ref. 23, 45, 46 y 67], con el fin de darles mayor rigidez ante fuerza horizontales, como las que impone el sismo.

México ha adoptado recientemente un nuevo código [Ref. 34] que tiende a corregir una gran parte de los problemas detectados en el sismo de Septiembre de 1985. Este nuevo código corrige la muy mala experiencia que se tuvo con el sistema estructural donde las vigas del pórtico son reemplazadas por nervaduras en dos direcciones [Ref. 56], lo que se conoce en Colombia como reticular celulado, sistema que se utilizó mucho en Colombia hace algunos años y que ha cobrado, desafortunadamente, vigencia nuevamente. Otro aspecto en el cual la experiencia mexicana es importante hace referencia a la irregularidad de las estructuras y su eventual mal comportamiento. El nuevo Código Mexicano prohíbe la construcción de edificios cuya excentricidad entre centro de masa y centro de rigidez sea mayor del 20% de la dimensión en planta del edificio.

Pero tal vez la mayor experiencia derivada del sismo de México de 1985 radica en los niveles de amplificación de las ondas sísmicas causados por los estratos de suelo blando subyacentes. Este punto ha obligado a revisiones importantes en la gran mayoría de las normas sísmicas actuales [Ref. 23, 25, 34, 39, 47, y 70]. Este aspecto nuevamente fue resaltado por el temblor de Loma Prieta, California, de 1989 [Ref. 25, 39, y 70]. Por otro lado, los temblores de Northridge, California, y Kobe Japón, especialmente el primero, resaltaron la enorme vulnerabilidad sísmica de las estructuras de acero con uniones soldadas.

Para efectos de la actualización de los requisitos de sismo resistencia del Reglamento NSR-98, se consultaron las normativas de diversos países, dentro de las que se cuentan:

- *Estados Unidos* - el ANSI/ASCE 7-95 [Ref. 20], el NEHRP-94 [Ref. 39], el UBC-97 [Ref. 47], y el SEAOC-96 [Ref. 66]
- *Eurocódigos* - el Eurocode 8 [Ref. 29]
- *Francia* - el AFPS-90 [Ref. 7].
- *Japón* - AIJ-90 [Ref. 8]
- *México* - el Reglamento del Distrito Federal de 1993 [Ref. 34]
- *Nueva Zelanda* - El NZS-4203 [Ref. 58]
- *Otros* - En la [Ref. 61]

En general el enfoque de la normativa colombiana de 1984 seguía siendo vigente, y a lo largo del tiempo se había manifestado su bondad en la medida que las diferentes normativas a nivel mundial tendieron hacia el mismo tipo de formulación, con algunas excepciones como es natural.

Con base en todo lo anterior se definieron, por parte del Comité AIS 100, una serie de prioridades que guiarían el proceso de actualización del documento para producir la versión AIS 100-97, la cual corresponde al NSR-98. Se actualizaron y aclararon muchos de los requisitos contenidos en el Decreto 1400/84, dentro de los cuales se destacan:

Se aclaró y amplió el procedimiento de diseño (Capítulo A.1). En el Apéndice I, se presenta de una manera gráfica este procedimiento de diseño.

Se incluyeron unos nuevos mapas de amenaza sísmica [Ref. 18], los cuales se presentaron en la Figuras 3 y 4. (Capítulo A.2)

Se realizaron modificaciones en la forma como se determinan los movimientos sísmicos de diseño, especialmente en sitios donde hay suelos blandos (Capítulo A.2). Se introdujo un nuevo tipo de perfil de suelo (S_d) y se permite un procedimiento alternativo que se presenta en el Apéndice H-1. Además se dan requisitos para la realización de estudios de microzonificación y se insiste en la necesidad de realizarlos. El sismo de México abre los ojos, nuevamente, acerca de la necesidad de microzonificar las ciudades colombianas, con el fin de poder tomar medidas apropiadas en diseño que atiendan la amplificación de las ondas sísmicas por los estratos de suelo blando. En este momento existen estudios de microzonificación de las ciudades de

Popayán [Ref. 51], y Santa Fe de Bogotá [Ref. 52], y se están adelantando los de Medellín, Manizales y Pereira. La ciudad de Cali ha realizado algunos trabajos preliminares al respecto.

Se incluyó un nuevo Grupo de Uso IV, el cual cubre edificaciones indispensables, cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alternativo (Capítulos A.2 y A.12).

El espectro de diseño se modificó (Capítulo A.2) y se permiten definiciones alternas de los movimientos sísmicos de diseño. El nuevo espectro de diseño se muestra en la Figura 7, y en la Figura 8 se compara con el del Decreto 1400/84.

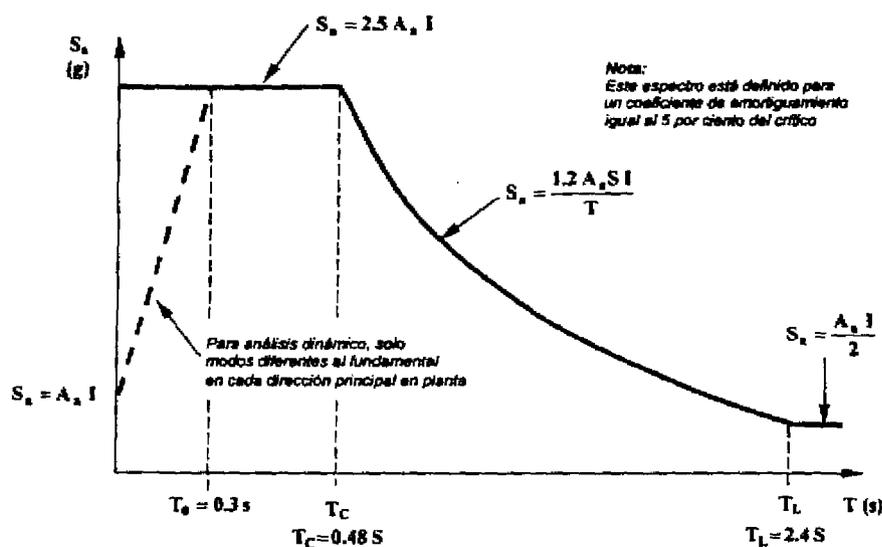


Figura 7 - Espectro Elástico de Diseño del Reglamento NSR-98

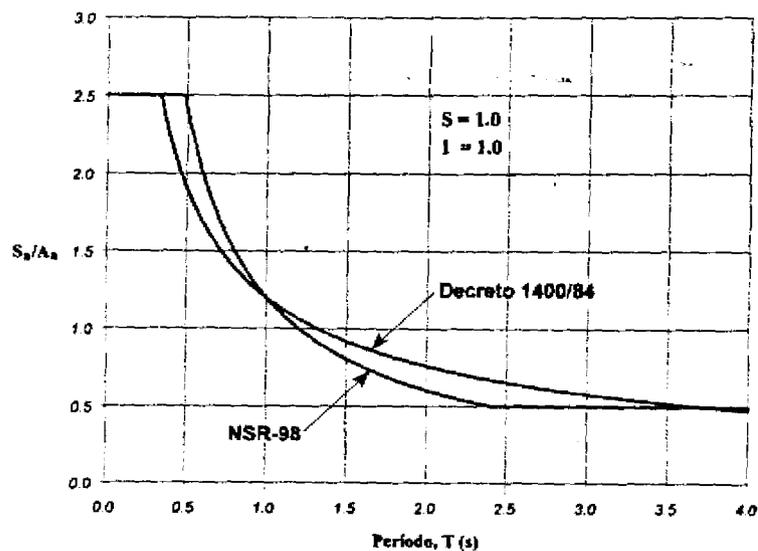


Figura 8 - Espectros del Reglamento NSR-98 y del Decreto 1400/84

Se aclaró y amplió la gama de sistemas estructurales permitidos, siendo estos el sistema de muros de carga, el sistema combinado (nuevo), el sistema de pórtico y el sistema dual (Capítulo A.3).

Se prescriben claramente las posibilidades de combinar sistemas estructurales tanto en planta como en altura y se restringe el empleo de aquellos que han manifestado comportamiento inconveniente [Ref. 53]. Se definen los diferentes grados de irregularidad de la estructura de la edificación y se les asigna un valor, para cada tipo de irregularidad, a los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía, ϕ_s y ϕ_p , debidos a irregularidades en altura y en planta respectivamente. Estos coeficientes afectan el valor del coeficiente básico de modificación de respuesta R_o , para obtener el coeficiente de modificación de respuesta R , por medio de $R = \phi_s \phi_p R_o$ (Capítulo A.3). Los valores de R_o se aumentaron con respecto a los valores correspondientes en el Decreto 1400/84. Este aumento se justificó con base en la aceptación y buen cumplimiento de la norma de 1984, y se llevaron en el Reglamento NSR-98 a valores muy cercanos a los propuestos en el ATC-3 original. Este aspecto conduce a una disminución de los costos provenientes del diseño sísmico en la gran mayoría de las edificaciones.

Se aclaran los efectos de torsión de toda la estructura y se introduce un efecto de torsión accidental, el cual no existía en el Decreto 1400/84. (Capítulo A.3)

Las fuerzas sísmicas F , se definen empleando el espectro directamente (Capítulo A.3). Con ellas se calculan las derivas (Capítulo A.6), y solo en el momento de diseñar los elementos de la estructura, se emplean unas fuerzas sísmicas reducidas de diseño, E ($E=F/R$), las cuales se combinan con las otras sollicitaciones empleando las ecuaciones de combinación de cargas del Título B. Véase el Apéndice I de este Prefacio.

El método de la fuerza horizontal equivalente (Capítulo A.4) no sufre mayor modificación, pero se actualizan las ecuaciones para calcular el período aproximado de la estructura T_s .

El Capítulo A.5 se denomina en el NSR-98 "Método del análisis dinámico", debido a que se permiten otros tipos de análisis dinámico diferentes al análisis modal que prescribía el Decreto 1400/84. El Capítulo está más a tono con los programas de computador que se emplean en la actualidad, e inclusive permite análisis dinámico inelástico.

Los procedimientos de cálculo de las derivas se aclaran y complementan (Capítulo A.6). La deriva se debe calcular para las fuerzas sísmicas F , sin haberlas dividido por R y en su cálculo se deben incluir los efectos torsionales y P-Delta. Se restringieron las derivas permitidas al verse la edificación afectada por el sismo de diseño, el antiguo valor límite para la deriva de $0.015h_p$ del Decreto 1400/84 es ahora $0.010h_p$ para todos los sistemas estructurales, exceptuando la mampostería, la cual tiene ahora un límite igual a $0.005h_p$. Se realizaron amplios estudios del impacto de costos de esta modificación, los cuales se presentan en las [Ref. 45 y 46].

Se incluye un Capítulo A.7 totalmente nuevo sobre interacción suelo-estructura, y se incluye un procedimiento recomendado no obligatorio en el Apéndice A-2 para calcular estos efectos.

Se incluyó un Capítulo A.8 sobre elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica, tales como escaleras, rampas, cerchas, correas, viguetas y otros.

Así mismo, se incluyó un Capítulo A.9 nuevo sobre elementos no estructurales tales como fachadas, muros divisorios, acabados, instalaciones interiores, etc. Más adelante se discuten los criterios contenidos dentro de este Capítulo. El objetivo primordial es la defensa de la vida y el funcionamiento de las edificaciones indispensables posteriormente a la ocurrencia de un sismo.