

En el Capítulo A.10 se fijan procedimientos para la aplicación del nuevo Reglamento NSR-98 a edificaciones construidas antes de su vigencia y para el análisis de vulnerabilidad sísmica de estructura existentes. Este Capítulo está basado en el documento "Adición, Modificación y Remodelación del Sistema Estructural de Edificaciones Existentes Antes de la Vigencia del Decreto 1400/84", [Ref. 11 y 44] el cual se denominó Norma AIS 150-86. Allí se definieron los parámetro bajo los cuales se deben tratar las adiciones, modificaciones y remodelaciones de edificaciones existentes antes de la vigencia del Decreto 1400/84, con el fin de que la edificación resultante tenga resistencia comparable a la de una edificación construida de acuerdo con los requisitos del Decreto 1400/84. Los requisitos de la Norma AIS 150-86 se han adaptado a los nuevos requisitos del Reglamento NSR-98.

Se exige la colocación de instrumentos sísmicos para edificaciones cuyo tamaño o altura lo ameritan, indicando el tipo de instrumento y su localización (Capítulo A.11).

En el Capítulo A.12 se exige para las edificaciones indispensables, una verificación para unos movimientos sísmicos que describen el umbral de daño de la edificación.

En el Capítulo A.13 se presentan las definiciones de los principales términos empleados en el Título A y de los términos matemáticos que se utilizan en él.

Se han incluido tres Apéndices nuevos. El Apéndice A-1 corresponde a recomendaciones sísmicas de algunas estructuras que no están cubiertas por el alcance del Reglamento, tales como tanques elevados, silos y chimeneas y otras estructuras industriales, avisos y monumentos. Este Apéndice no tiene carácter obligatorio y se incluye simplemente como una guía para los diseñadores de estos elementos. El Apéndice A-2 contiene recomendaciones para la evaluación de los efectos de interacción suelo-estructura. El Apéndice A-3 contiene los valores de la aceleración pico efectiva de diseño A_s y del umbral de daño, A_d , así como la localización dentro de las zonas de amenaza sísmica de todos los municipios colombianos.

Título B - Cargas

El documento ANSI A.58 [Ref. 19], el cual sirvió como base para la redacción del Título B del Decreto 1400/84, propugnaba la utilización del método de resistencia en el diseño de todos los materiales estructurales. No obstante, el método de esfuerzos de trabajo se utiliza todavía en el diseño de algunos de ellos. Este documento ha evolucionado dentro del medio norteamericano al documento ANSI/ASCE 7-95 [Ref. 20] el cual contiene un tratamiento unificado de los métodos de diseño y de las cargas a emplearse, lo cual es muy útil cuando se usan elementos de diferente material estructural dentro de la misma estructura. Los requisitos del Capítulo B.2 se han adaptado a esta tendencia. En general con la excepción de la madera, en el NSR-98 todos los materiales se diseñan por el método del estado límite de resistencia. En los otros materiales diferentes a la madera se presentan como alternativa la posibilidad de realizar el diseño por el método de esfuerzos de trabajo, de tal manera que el diseñador pueda seleccionar la metodología más conveniente.

Todo el Título B se convirtió al sistema métrico de unidades internacional SI, colocando en lugares apropiados dentro del texto recomendaciones acerca del empleo de este sistema y de la distinción muy clara que debe tener el diseñador entre masa y peso. En todos los casos de cargas muertas (Capítulo B.3) y cargas vivas (Capítulo B.3) se han colocado las equivalencias en el antiguo sistema métrico mks.

En el caso de las cargas muertas mínimas (Capítulo B.3) se han colocado valores para los tipos de fachadas, muros divisorios y particiones empleados tradicionalmente en el país. Se han contemplado valores mínimos para divisiones construidas con paneles de yeso (dry wall), cuyo uso se ha popularizado recientemente.

Se aclaró el uso de cargas vivas en cubiertas, aspecto que era confuso en el Decreto 1400/84, pues no se indicaba que los valores dados eran para cubiertas livianas. Ahora estos valores relativamente bajos, de 0.35 kN/m^2 (35 kgf/m^2) son exclusivamente para cubiertas inclinadas sobre estructuras metálicas o de madera, con pendientes mayores del 20% y de 0.50 kN/m^2 (50 kgf/m^2) para pendientes menores del 20%.

El procedimiento para evaluar las cargas de viento se modernizó y se incorporó un mapa de amenaza eólica. Cuando se elaboró el Decreto 1400/84, no existía a nivel nacional un estudio general y amplio sobre la amenaza eólica en el país, por esta razón se fijó una velocidad de viento de 100 km/h para todo el territorio nacional. Con posterioridad a la aparición del Decreto 1400/84, Interconexión Eléctrica patrocinó un estudio sobre el riesgo eólico del país [Ref. 27] por medio del cual se obtuvo un mapa de velocidades de diseño para viento en todo el país.

Utilizando estos resultados del estudio mencionado y con base en una traducción de la Norma inglesa de determinación de cargas de viento que se había elaborado dentro del trabajo de preparación del borrador del Decreto 1400/84, Fedestructuras, con colaboración de un grupo de instituciones e ingenieros desarrolló un documento para la determinación de cargas de viento en el territorio nacional. Este documento [Ref. 36] constituye la base de los requisitos del Capítulo B.6 del Reglamento NSR-98.

Titulo C - Concreto Estructural

Con anterioridad a la expedición del Decreto 1400/84, en el país se venían utilizando en el diseño de estructuras de concreto reforzado los requisitos del Código ACI 318 [Ref. 1], desarrollado por el Instituto Americano del Concreto (ACI). En 1978 el Instituto Colombiano de Productores de Cemento, ICPC, realizó una traducción autorizada por el ACI de la versión de 1977 de este documento, la cual fue ampliamente difundida en el país, y sirvió de base para la redacción de la norma ICONTEC 2000 [Ref. 48]. En el Decreto 1400/84 el Título C se basó en la norma ICONTEC 2000, actualizada a la versión de 1983 del Código ACI 318.

Con posterioridad a la expedición del Decreto 1400/84, el ACI ha actualizado su documento en 1989 [Ref. 3], posteriormente en 1995 [Ref. 4] y en el momento está trabajando en lo que será la versión del año 2001. El Comité AIS 100 ha venido modificando apropiadamente el borrador de su documento, en la medida que han desarrollado las actualizaciones del Código ACI 318; pues se cuenta con la fortuna de que uno de los miembros del comité AIS 100 lo es también del comité ACI 318. Esto ha permitido mantener un contacto más estrecho con este comité, llevando a su seno las observaciones que la aplicación del documento al medio nacional ha traído, y por otro lado conocer muy de cerca las modificaciones que se le van a introducir en cada nueva versión y su aplicabilidad a nuestro medio.

Los requisitos que trae el NSR-98 corresponden de una manera general al documento que publicó el ACI a finales del año 1995 [Ref. 4] y algunos apartes a la nueva norma europea [Ref. 28]. En muchos de los requisitos se desvía de lo que exigen estos documentos, pues la práctica nacional así lo requiere.

La desviación más importante consiste en que los requisitos del Reglamento NSR-98 se dividen de acuerdo con la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico de los elementos construidos con concreto estructural y no de acuerdo con la zona de amenaza sísmica como ocurría en el Decreto 1400/84, lo cual generaba confusión.

El Capítulo C.3 de materiales se actualizó en su totalidad. Se contemplan definiciones de los diámetros del refuerzo tanto en octavos de pulgada como en mm. Se exige una aceptación del acero de refuerzo similar a la que se exige para el concreto. Se permiten barras con recubrimiento epóxico para protección contra la corrosión.

Los requisitos de durabilidad del Capítulo C.4 se actualizaron en su totalidad, así como los de calidad del concreto del Capítulo C.5.

En el Capítulo C.7 se ajustaron los recubrimientos mínimos a lo que ha traído el Código ACI 318 desde hace varias ediciones, y que es diferente a lo que contenía la norma ICONTEC 2000. Así mismo se incluyen requisitos nuevos de integridad estructural.

El Capítulo C.8 difiere ampliamente del correspondiente en ACI 318-95. Los requisitos de análisis estructural se fijan de una manera más acorde con la práctica moderna al respecto. Se incluyen recomendaciones acerca de las inercias efectivas cuando se desea emplear secciones fisuradas en el análisis. Los valores de los módulos de elasticidad corresponden a valores medidos experimentalmente en diferentes ciudades del país, de acuerdo con una serie de investigaciones realizadas en la Universidad Javeriana de Santa Fe de Bogotá. Se permiten diferentes tipos de análisis estructural, inclusive procedimientos que emplean modelos de celosía.

En el Capítulo C.9 se presentan valores de los espesores mínimos de elementos cuando no hay necesidad de calcular las deflexiones, para dos casos diferentes. Uno de ellos corresponde al uso de particiones livianas, que conduce a los mismos valores que exige el ACI 318, y el otro caso corresponde a los muros divisorios tradicionales en el país, construidos con bloque de arcilla de perforación horizontal, los cuales son más pesados y susceptibles a las deflexiones y que han venido presentado problemas por esta razón.

En el Capítulo C.10 se variaron las ecuaciones de cuantía mínima y se aclararon los requisitos de esbeltez (efectos P-Delta). Los requisitos para transmisión de cargas de columna a través de los sistemas de entrepiso se adaptaron a recientes investigaciones.

Los requisitos de diseño a torsión del Capítulo C.11 son totalmente nuevos. Están basados en modelos de celosía y son aplicables ahora también a vigas huecas o vigas cajón. Este capítulo se ha conservado en esfuerzos y no fuerzas, como estaba en el Decreto 1400/84. Se incluyó una sección para verificaciones de cortante en los apoyos de vigas que son sostenidas por otras vigas.

El Capítulo C.12 de desarrollo y empalmes del refuerzo está de acuerdo con los requisitos nuevos del ACI 315-95.

El Capítulo C.13, al igual que el Decreto 1400/84 cubre losas en una y en dos direcciones, a diferencia del ACI 318 que solo cubre allí losas en dos direcciones. Este Capítulo difiere ampliamente de los contenidos en ACI 318 y se ajusta de una mejor manera a la práctica nacional. Se permite el diseño de losas por el método de las líneas de fluencia. Se incluyeron los procedimientos de análisis del Método 3 del ACI 318-63 para losas soportadas por vigas rígidas o muros.

El Capítulo C.15 de fundaciones contiene ahora requisitos para pilotes y caissons, y vigas de amarre de fundaciones, además de los tradicionales para zapatas.

El Capítulo C.16 de concreto prefabricado es totalmente nuevo y sigue los requisitos del Código ACI 318-95.

En concreto preesforzado aparece un límite nuevo para los esfuerzos admisibles en cargas de servicio. Los valores recomendados para los coeficientes de fricción en ductos de postensado se ajustaron a valores medidos en el medio nacional.

El Capítulo C.19 de pruebas de carga es totalmente nuevo. Se insiste en la solución analítica del problema y se deja la prueba de carga como un recurso final.

Se incluyó un capítulo totalmente nuevo para tanques y compartimentos estancos. Este Capítulo C.20 se basa en las recomendaciones de la norma ACI 350-89 [Ref. 2].

El Capítulo C.21 comprende los requisitos para las diferentes grados de capacidad de disipación de energía en el rango inelástico, con aplicación en el diseño sismo resistente. Estos requisitos se derivan históricamente en el ACI 318 de lo presentado en la [Ref. 24]. En la NSR-98 los requisitos se presentan en paralelo para los tres grados de disipación prescritos por el Reglamento. Todos los requisitos se aclararon y modernizaron. Los requisitos para el grado moderado de disipación de energía, difieren de los contenidos en ACI 318, tal como ocurría en el Decreto 1400/84.

Se incluyen dos Capítulos totalmente nuevos, el C.22 de concreto simple y el C.23 de anclaje al concreto. Además aparecen cuatro Apéndices nuevos: el C-A para el diseño a flexión por el método de esfuerzos admisibles, el C-B con un procedimiento alternativo de diseño a flexión y flexo-compresión donde el control no se lleva por consideraciones de cuantías balanceadas, sino por medio de la deformación unitaria en el acero de refuerzo, el C-C con los valores de los coeficientes de reducción de resistencia ϕ , para ser empleados en estructuras mixtas, y por último el C-D con la conversión de ecuaciones no homogéneas entre el sistema de unidades SI y el métrico tradicional mks.

Título D - Mampostería Estructural

Este título se remozó en su totalidad con base en la experiencia que se ha tenido a nivel nacional con un sistema estructural que era relativamente novedoso en 1984. Se incorporaron los resultados de amplias investigaciones experimentales nacionales en mampostería confinada. Se incluyó un sistema de mampostería de cavidad reforzada (Capítulo D.6), utilizado con muy buena experiencia en otras regiones sísmicas del mundo. Los requisitos de procedimientos constructivos y de control de calidad se ampliaron y actualizaron.

Los requisitos de diseño se plantean por el método del estado límite de resistencia [Ref. 33 y 47], aunque se permite el diseño por el método de los esfuerzos admisibles, que se incluye en el Apéndice D-1.

La parte de materiales para mampostería se homologó con las nuevas normas NTC para unidades de mampostería expedidas por el ICONTEC. Los procedimientos de definición de la resistencia de la mampostería durante la etapa de diseño se aclararon, al igual que su verificación posterior en obra (Capítulo D.3). Además se empleó toda la información experimental nacional sobre resistencias de muretes, provenientes de los resultados de la supervisión técnica de estructuras de mampostería, que se ha efectuado desde 1984.

Se incluyó un Capítulo D.4 de requisitos constructivos totalmente nuevo. Se indica allí la conveniencia de colocar el acero de refuerzo horizontal para efectos de fuerza cortante y tracción diagonal dentro de elementos tipo viga embebidos dentro del muro. No se permite el uso del refuerzo de junta colocado en las pegas como parte del refuerzo para esfuerzos cortantes.

Los requisitos de análisis y diseño, siguen apropiadamente los del Código UBC-97 [Ref. 47] y de la norma ACI 530 [Ref. 54], en lo que respecta a mampostería construida con unidades de perforación vertical. Los procedimientos de diseño se dividen en efectos en la dirección perpendicular al plano del muro, y en efectos en la dirección paralela al plano del muro.

Se mantienen las mismas limitaciones que contenía el Decreto 1400/84 para la mampostería no reforzada, restringiéndola a los lugares dentro de las zonas de amenaza sísmica baja donde A_s es menor o igual a 0.05.

Los procedimientos de diseño para mampostería confinada (Capítulo D.10) son totalmente nuevos y se basan en la investigación realizada en la Universidad de los Andes, auspiciada por varias instituciones, dentro de las cuales se cuentan la OEA, Colciencias, el antiguo Ministerio de Obras Públicas, y la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, a través del Fondo Nacional de Calamidades. [Ref. 5 y 69].

El empleo de muros diafragma (Capítulo D.11) se limita a la remodelación del sistema estructural de edificaciones existentes.

Se incluye un Apéndice D-A con las conversiones de ecuaciones no homogéneas entre el sistema de unidades SI y el métrico tradicional mks.

Título E - Casas de uno y dos pisos

Este es un Título único a nivel mundial [Ref. 5], pues corresponde a unos requisitos empíricos que permiten construir casas de uno y hasta dos pisos, sin la necesidad del concurso de un ingeniero estructural. Los requisitos se aclararon y se incorporó la experiencia que se ha tenido en su aplicación en los trece años de vigencia del Decreto 1400/84. Los requisitos se hicieron totalmente compatibles con los del Capítulo D.10 de mampostería confinada.

Título F - Estructuras metálicas

El auge que ha cobrado recientemente la construcción de estructuras metálicas en el país, se tuvo muy en mente al actualizar este Título. Se incluyó el procedimiento de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD), metodología que apareció en el medio norteamericano, para estructuras metálicas, con posterioridad a la expedición del Decreto 1400/84. Se incluyeron requisitos para elementos formados en frío (lámina delgada) y para elementos de aluminio.

El Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC) ha venido desarrollando desde 1923 un juego de especificaciones para el diseño y construcción de estructuras de acero [Ref. 14]. En 1977 la Asociación Colombiana de Fabricantes de Estructuras Metálicas, FEDESTRUCTURAS, publicó el "Código Colombiano de Construcciones Metálicas" [Ref. 35] el cual corresponde a una adaptación de las especificaciones del AISC al medio colombiano. Posteriormente este documento fue revisado en dos ocasiones y en 1984 fue adoptado por el ICONTEC como la Norma 2001 "Código Colombiano de Construcciones Metálicas" [Ref. 49]. Estos documentos fueron la base de los requisitos que contenía el Decreto 1400/84. Además Fedestructuras adelantó una traducción y adaptación al medio nacional [Ref. 37] del Código de la AWS para soldaduras, la cual subsana este vacío a nivel nacional.

En el campo del acero estructural el Instituto Americano de Construcción en Acero - AISC produjo en 1986 un documento cuya versión más reciente se presenta en la [Ref. 15], en el cual se dan los requisitos para el método de diseño con factores de carga y de resistencia, lo que se conoce en inglés como LRFD. Los requisitos del Capítulo F.2 corresponden a este último documento. Los requisitos tradicionales de diseño por el método de esfuerzos admisibles se han conservado, actualizados, en el Capítulo F.4. Los requisitos para las diferentes capacidades de disipación de energía en el rango inelástico de las estructuras de acero están en el Capítulo F.3 para el método de diseño por factores de carga y resistencia, y en el Capítulo F.5 para el método de diseño por esfuerzos admisibles.

El nuevo Capítulo F.6 cubre los requisitos para el diseño y construcción de estructuras conformadas por elementos de acero formados en frío, lo que se conoce también como lámina delgada de acero. Este sistema estructural se utiliza en todo el país y no estaba cubierto por el Decreto 1400/84. Los requisitos están basados en las [Ref. 16 y 17] del Instituto Americano del Hierro y el Acero - AISI

El Capítulo F.7 y sus Apéndices cubre el diseño de estructuras de aluminio. Los requisitos allí presentados están basado en la norma inglesa BS 8118 [Ref. 26]. Este tema es totalmente nuevo en el Reglamento.

Desafortunadamente solo fue posible presentar los requisitos de los Capítulos F.1 a F.3 en el sistema de unidades SI. Los Capítulos F.4 a F.7 permanecen en el sistema de unidades mks. Este aspecto será subsanado en una próxima actualización del Reglamento.

Título G - Estructuras de madera

Este Título, totalmente nuevo, fue redactado por un Subcomité que estuvo dirigido por la Sociedad Colombiana de Arquitectos. En el se dan los requisitos para el diseño y la construcción de estructuras de madera.

La Junta del Acuerdo de Cartagena del Pacto Andino, trabajó en el desarrollo de una base tecnológica adecuada que permita la explotación y utilización de los productos de los bosques tropicales andinos. Como resultado de este esfuerzo se publicó el "Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino" [Ref. 60]. Los requisitos que se presentan en el Título G están basados en este documento.

Título H - Estudios geotécnicos

Este Título también es totalmente nuevo. Allí se dan los lineamientos a seguir en la exploración del subsuelo y en la elaboración de las recomendaciones de diseño de las fundaciones y obras de contención. Los requisitos dados allí corresponden al primer intento de dar una normativa al respecto en el medio nacional, exceptuando algunos tímidos intentos realizados por la Sociedad Colombiana de Ingenieros, hace ya algún tiempo.

Título I - Supervisión técnica

Este nuevo Título generó una amplia discusión a nivel nacional durante las votaciones, la cual enriqueció el documento. El Título I contiene requisitos para determinar el alcance mínimo de la supervisión técnica y la idoneidad requerida de los profesionales que la lleven a cabo. El documento definitivo contiene un Apéndice, no obligatorio, donde se dan recomendaciones para desempeñar la supervisión. No sobra advertir que la obligatoriedad de la supervisión técnica existió por trece años en el Decreto 1400/84 y que simplemente se ha trasladado el requisito al NSR-98. Se aclaró su alcance y se definieron de una mejor manera las funciones del supervisor. El área mínima de las edificaciones en las cuales obligatoriamente debe llevarse a cabo una supervisión técnica, fue variado de los 2000 m² exigidos por el Decreto 1400/84 a 3000 m² de área construida por la Ley 400 de 1997.

Título J - Requisitos de protección contra el fuego en edificaciones

La protección contra el fuego es un requisito importante en algunos tipos de estructuras, aunque ningún sistema ni material estructural está exento de ser afectado por él. Se dan requisitos mínimos de protección en función del tipo de ocupación de la edificación. Proviene de los requisitos de diferentes normas internacionales.

Título K - Otros requisitos complementarios

Contiene otros requisitos, de carácter técnico, adicionales a los contenidos en los Títulos A a J, necesarios para cumplir el propósito de protección a la vida en edificaciones cubiertas por el alcance de las Normas Sismo Resistentes. Contiene, entre otros, una clasificación de las edificaciones en función del tipo de ocupación, requisitos especiales para escaleras y medios de

evacuación localizados en zonas comunes de la edificación, requisitos especiales para teatros, auditorios y estadios, requisitos para vidrios, entre otros. Los requisitos dados en este título se derivan parcialmente del estudio de la [Ref. 68].

EL RETO PARA LOS INGENIEROS, ARQUITECTOS Y CONSTRUCTORES

La realidad de la situación

Con base en lo expuesto anteriormente es posible hacer una semblanza acerca de la situación actual de seguridad sísmica en las edificaciones colombianas y con base en ella proponer una estrategia que permita mejorar aquellos aspectos que lo requieran. La situación actual la podemos resumir de la siguiente manera:

1. El territorio colombiano esta expuesto a la ocurrencia de sismos dañinos, como lo han recordado los sismos ocurridos recientemente. Dado que las víctimas en los sismos las producen las edificaciones, es necesario diseñar y construir las edificaciones de una manera tal que se tenga certeza de que tendrán un buen comportamiento ante la ocurrencia de un sismo. Los siguientes sismos colombianos recientes han afectado principalmente los elementos no estructurales y acabados dentro de las edificaciones de las ciudades donde se sintieron con alguna intensidad.

Año	Mes	Día	Localización	Magnitud	Prof. (km)	Muertos
1992	Oct	18	Murindo, o del Atrato medio	$M_s = 7.2$	15	30
1994	Jun	6	Paez, límite Cauca Huila	$M_s = 6.4$	< 20	500-1000
1995	Ene	19	Tauramena, Casanare	$m_b = 6.5$	15	10
1995	Feb	8	Calima, Valle	$m_b = 6.4$	90	5

2. En general la aplicación de las Normas Sismo Resistentes Colombianas ha sido efectiva en los trece años que llevan de promulgadas. Esto no quiere decir que se deban olvidar aspectos como el cuidado en el diseño y construcción de las edificaciones, así como la vigilancia de estas funciones.
3. Las Normas Sismo Resistentes defienden primordialmente la vida humana ante la ocurrencia de los sismos y la defensa de la propiedad no deja de ser un subproducto de la defensa de la vida. Existe un abismo entre las expectativas que tienen los usuarios o propietarios de finca raíz y los objetivos de las Normas Sismo Resistentes en lo que respecta a la defensa de la propiedad. En general el usuario espera que la edificación no tenga ningún daño con la ocurrencia de un sismo, y aunque las Normas defienden respecto a la posibilidad de daño estructural grave y de colapso de la edificación, en general se pueden presentar daños graves a los elementos no estructurales de la edificación, especialmente en los muros divisorios y fachadas, en caso de sismos severos.
4. Existe un peligro grave para la vida humana a raíz del desprendimiento de elementos de fachada, los cuales al caer pueden afectar a los transeúntes. Este punto fue resaltado por los últimos sismos que han afectado el territorio nacional.
5. Los sistemas estructurales puntuales aporricados han sido substituidos a nivel mundial, por sistemas más rígidos lateralmente, construidos con base en muros estructurales. En el país no hay consciencia acerca de la excesiva flexibilidad de los sistemas actualmente utilizados. Hay necesidad de estudiar nuevas alternativas estructurales en el país, que tiendan a resolver el problema.

Lo anterior indica que la estrategia a seguir en la reducción del daño a los elementos no estructurales consiste en atacar dos frentes simultáneamente: un cambio en la práctica de construcción de elementos tales como muros divisorios y fachadas, y una reducción en la flexibilidad de las estructuras ante efectos horizontales, dándole mayor rigidez a la estructura. A continuación se indica en que consisten estos cambios de filosofía constructiva

Un cambio en los tipos de acabados

La influencia de los elementos no estructurales, tales como muros divisorios y particiones, en la respuesta ante fuerzas horizontales de una edificación es reconocida a nivel mundial como un aspecto de gran importancia [Ref. 38]. El hecho de que se consideren como elementos no estructurales no implica que no afecten la respuesta de la estructura. Uno de los casos más conocidos y difundidos es la falla de las columnas por lo que se conoce con el nombre de efecto de "columna corta" o "columna cautiva", donde un muro no estructural limita la capacidad de deformación de una columna, haciendo que ésta pase de un modo prevalectante de falla a flexión a uno de falla por esfuerzos cortantes. Hay innumerables casos de fallas de columnas en sismos ocurridos en el medio colombiano causadas por este aspecto.

Pero las consecuencias de no tomar en cuenta el comportamiento de los elementos no estructurales no puede limitarse a los aspectos en que éstos modifican la respuesta de la estructura. Hay numerosos casos en los cuales la respuesta de los elementos no estructurales conducen a situaciones de peligro para las vidas humanas, sin que estén directamente relacionados con su influencia en la estructura. Un caso particularmente peligroso es el desprendimiento de elementos de fachada durante un sismo, lo cual pone en grave peligro a los transeúntes al nivel de la calzada.

El enfoque mundial con respecto a este tipo de problema [Ref. 38] está fundamentado en dos aspectos que deben tomarse en cuenta en el diseño de la edificación, y en este caso la palabra diseño hace referencia al diseño global y no solamente al diseño estructural:

- (a) *Separarlos de la estructura* - En este tipo de diseño los elementos no estructurales se aíslan lateralmente de la estructura dejando una separación suficiente para que la estructura al deformarse como consecuencia del sismo no los toque. Los elementos no estructurales se apoyan en su parte inferior sobre la estructura, por lo tanto deben ser capaces de resistir por sí mismos las fuerzas inerciales que les impone el sismo y sus anclajes a la estructura deben ser capaces de resistir y transferir a la estructura estas fuerzas inducidas por el sismo.
- (b) *Disponer elementos que admitan las deformaciones de la estructura* - En este tipo de diseño se disponen elementos no estructurales que tocan la estructura y que por lo tanto deben ser lo suficientemente flexibles para poder resistir las deformaciones que la estructura les impone sin sufrir daño mayor que el que admite el grado de desempeño prefijado para los elementos no estructurales de la edificación. En este tipo de diseño debe haber una coordinación con el ingeniero estructural, con el fin de que éste tome en cuenta el potencial efecto nocivo sobre la estructura que pueda tener la interacción entre elementos estructurales y no estructurales.

La bondad de estas prácticas se hace cada día más evidente y es notorio que, en aquellos lugares donde no se toman en cuenta estas precauciones, se presentan más víctimas y mayor número de daños comparativamente con los lugares donde se toman las precauciones mencionadas.

En el caso colombiano el Decreto 1400/84 hacía referencia de una manera muy tangencial al problema y no contenía ningún tipo de requisitos, fuera de un simple llamado de atención sobre el tema. La razón de esto estriba en la manera como se manejan las decisiones respecto a los elementos no estructurales dentro de la industria nacional de la construcción. En general el

ingeniero estructural solo indica en sus planos aquellos elementos que cumplen funciones estructurales. Los planos arquitectónicos indican los elementos no estructurales, pero nunca presentan la disposición, tamaño y características de los amarres o anclajes necesarios. Lo mismo es cierto respecto a los diseños de las instalaciones interiores.

Por otro lado hay una gran anarquía entre lo que se indica en los planos arquitectónicos y lo que efectivamente queda en la construcción. En muchos casos los planos son un simple reflejo de los que se ha pensado realizar, pero el constructor tiene una amplia capacidad de variar los diseños sin que se consulte al ingeniero estructural sobre las implicaciones que esto puede traer. La única voz de alerta es dada por el constructor al calculista, cuando a juicio del primero se aumentan en alguna medida las cargas verticales de la edificación.

En general los calculistas no incluyen, en sus planos, detalles acerca de los elementos no estructurales y solo lo hacen cuando el cliente así lo solicita, pues no están interesados en asumir una responsabilidad sobre algo que no está dentro del alcance usual de sus diseños. Lo grave de esta situación es que dentro del Decreto 1400/84 no existían disposiciones que indicaran la forma como deben calcularse las solicitaciones que se esperan sobre estos elementos debidas a los movimientos sísmicos.

El criterio adoptado en el Reglamento NSR-98 para atender el problema de los elementos no estructurales, esta centrado en los siguientes aspectos:

- Incluir un Capítulo A.9 - Elementos No Estructurales - en el cual se indica cómo se calculan las fuerzas que impone el sismo a todos los elementos que no formen parte de la estructura.
- Dejar claramente indicado (Sección A.9.3) que el responsable de los diseños es quien los incluye los elementos no estructurales en sus planos. Esto implica que los elementos arquitectónicos son responsabilidad del arquitecto, a menos que otro profesional los incluya en los suyos, y el arquitecto deje de hacerlo.
- Vincular al constructor, al propietario y al supervisor técnico en las responsabilidades derivadas de las modificaciones que se realicen durante la construcción, o con posterioridad a ella, de tal manera que esto sea una voz de alerta respecto a las implicaciones que pueden tener algunos cambios.

Es indudable que un cambio en las prácticas constructivas de acabados debe llevarse a cabo de una manera coordinada entre diseñadores, constructores y la industria de materiales.

Estructuras mas rígidas

La rigidez de una estructura ante efectos horizontales, como los que produce un sismo primordialmente, se controla por medio del estudio de la deriva (véase la Figura 5), la cual mide que tan flexible es la edificación. Es indudable que uno de los aspectos que más trató de subsanar el Decreto 1400/84 fue la excesiva flexibilidad ante fuerzas horizontales de las estructuras colombianas. La evidencia de los daños producidos por los sismos ocurridos a finales de 1979 y el sismo de Popayán de 1983, indicaban que uno de los aspectos más apremiantes dentro de lo que debía regular y subsanar el Decreto 1400/84, era precisamente esto. Indudablemente el Decreto 1400/84 produjo un cambio radical en la mentalidad de los ingenieros estructurales colombianos acerca de la importancia de producir estructuras rígidas que limitaran sus deformaciones horizontales al verse sometidas a los efectos de un sismo, y podría afirmarse que la conciencia acerca del problema de la deriva está en la mente de todos los ingenieros estructurales nacionales. Con la excepción de las zonas de amenaza sísmica baja del Decreto 1400/84, puede decirse que en la gran mayoría de los diseños estructurales de edificios que se están llevando a cabo en la actualidad en el país, el parámetro que regula el

dimensionamiento de los elementos del sistema de resistencia sísmica de la edificación es el control de la deriva.

La experiencia de los sismos ocurridos con posterioridad a la adopción del Decreto 1400/84 demostró que los límites de deriva que contenía el Decreto 1400/84 debían hacerse más estrictos, por esta razón en el NSR-98, el límite de la deriva que puede tener la estructura, en cualquier piso, al ser analizada por el diseñador ante las fuerzas sísmicas de diseño, no puede exceder el 1% de la altura del entrepiso. Esto quiere decir que en un edificio normal con alturas de entrepiso de 3 metros de fino a fino, la deriva máxima aceptable es de 3 centímetros. Para edificios de mampostería estructural el límite en el NSR-98 es de 0.5% de la altura. Por lo tanto en este caso la deriva máxima aceptable para entrepisos de 3 metros de altura sería de 1.5 centímetros.

Aunque este cambio no impide de una manera total que se presente daño a los elementos no estructurales, por lo menos va a reducir enormemente los daños que se presentan en estos elementos, especialmente ante sismos frecuentes de intensidad menor que el de diseño.

Uso de muros estructurales como alternativa

Una de las maneras más eficientes de lograr un control de deriva adecuado es el uso de muros estructurales [Ref. 45, 46 y 67]. Al respecto la práctica mundial de diseño de edificios en zonas sísmicamente activas ha gravitado hacia esta solución. Puede decirse que con contadas excepciones los edificios de concreto reforzado que se diseñan hoy en día en las zonas más sísmicas del mundo tienen muros estructurales como parte de su sistema de resistencia sísmica.

Esta alternativa se ha empleado en Colombia, aunque no de una manera intensiva. Solo a raíz de la introducción de la mampostería estructural durante la década de 1970 se empezaron a considerar los muros estructurales como una solución viable. Uno de los aspectos que más ha limitado su implantación ha sido la existencia de parqueaderos en los pisos inferiores y otros aspectos de índole arquitectónica. La solución a estos problemas radica en una mayor interacción entre el equipo conformado por el arquitecto y el ingeniero estructural. Este mismo tipo de problemas ocurrió con la aparición de la mampostería estructural a mediados de la década de 1970. En ese entonces se tardó algún tiempo en desarrollar soluciones arquitectónicas viables, pero se logró llegar ellas, con soluciones que atendían los aspectos funcionales, estéticos y económicos.

Recientemente se ha realizado amplios estudios respecto al impacto económico de utilizar muros estructurales en una forma más intensa. Todos estos estudios indican que los costos adicionales en que se incurriría en la estructura son marginales y que no superan, aún en los casos extremos más de un 5% del costo de la estructura [Ref. 45 y 46] lo cual está dentro de lo observado en otros lugares [Ref. 31].

BIBLIOGRAFIA

- [1] ACI, (1977), *Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-77)*, American Concrete Institute, ACI, Detroit, MI, USA.
- [2] ACI - Committee 350, (1989a), *Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350R-89)*, American Concrete Institute, ACI, Detroit, MI., USA.
- [3] ACI, (1989b), *Building Code Requirements For Reinforced Concrete (ACI 318-89)*, American Concrete Institute, ACI, Detroit, MI, USA.
- [4] ACI, (1995), *Building Code Requirements For Structural Concrete (ACI 318-95)*, American Concrete Institute, ACI Farmington Hills, MI, USA.

- [5] ACI - Committee 442, (1994), *Masonry in the Americas*, Special Publication SP-147, American Concrete Institute, Detroit, MI, USA.
- [6] Advisory Committee on the International Decade for Natural Hazard Reduction. (1987). *Confronting Natural Disasters - An International Decade for Natural Hazard Reduction*, Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council, U.S. National Academy of Sciences y U.S. National Academy on Engineering, National Academy Press, Washington, DC., USA.
- [7] AFGP, (1990), *Recommandations AFPS-90 pur la reduction de regles relatives aux ouvrages et installations a realiser dans les regions sujettes aux seismes*, Association Francaise du Genie Parasismique, AFGP, Presses de l'ecole nationale des ponts et chaussées, Paris, France, 183 p.
- [8] AIJ, (1994), *AII Design Guidelines for Earthquake Resistant Reinforced Concrete Buildings Based on Ultimate Strength Concept - 1990 Edition*, Architectural Institute of Japan, English Translation performed by AIJ, Tokyo, Japan, 207 p.
- [9] AIS, (1981), *Requisitos Sísmicos para Edificios - Norma AIS 100-81*, Asociacion Colombiana de Ingenieria Sísmica, AIS, Bogota, Colombia, 58 p.
- [10] AIS, (1983), *Requisitos Sísmicos para Edificaciones - Norma AIS 100-83*, Asociacion Colombiana de Ingenieria Sísmica, AIS Bogotá.
- [11] AIS, (1986), *Adición, Modificación y Remodelación del Sistema Estructural de Edificaciones Existentes Antes de la Vigencia del Decreto 1400/84 - Norma AIS 150-86*, Asociacion Colombiana de Ingenieria Sísmica, AIS, Bogotá.
- [12] AIS, (1988), *Comentarios al Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes Decreto 1400/84*, AIS - MOPT - SCI - OND, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, Bogotá, Colombia, 3 Vol.
- [13] AIS, (1997), *Requisitos Sísmicos para Edificaciones - Norma AIS 100-97*, Asociacion Colombiana de Ingenieria Sísmica, AIS, Bogotá, Colombia, 2 Vol.
- [14] AISC, (1978), *Specifications for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel For Buildings*, American Institute of Steel Construction. AISC, Chicago, IL, USA.
- [15] AISC, (1994), *Manual of Steel Construction - Load and Resistance Factor Design - Volume I. Structural Members, Specifications & Codes - Volume II: Connections*, 2nd. Edition, American Institute of Steel Construction, AISC, Chicago, IL, USA, 2021 p.
- [16] AISI, (1987), *Cold-Formed Steel Design Manual*, American Iron and Steel Institute, AISI, Washington, DC, USA.
- [17] AISI, (1991), *LRFD Cold-Formed Steel Design Manual*, American Iron and Steel Institute, AISI, Washington, DC, USA.
- [18] Alarcón, A, C E. Bernal, O. D. Cardona, J. Escallon, A. Espinosa, L E. García (Director), M. Puccini, N. Pulido, E. Rodríguez, A. Sarria, M. Severiche, A. Taboada, y L. Yamun, (1996), *Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia*, Comité AIS 300 - Amenaza Sísmica, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, Colombia.
- [19] ANSI, (1982), *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures - ANSI A 58.1 -1982*, American National Standards Institute, ANSI, New York, NY, 1982.
- [20] ASCE, (1996), *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures - ANSI/ASCE 7-95*, American Society of Civil Engineers, ASCE, New York, NY, USA, 134 p.
- [21] ATC, (1978), *Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, ATC-3-06*, Applied Technology Council, ATC, Palo Alto, CA, USA, 305 p.
- [22] ATC, (1979), *Disposiciones Tentativas para Desarrollar Códigos Sísmicos para Edificios (ATC 3-06) y Comentarios*, Applied Technology Council, ATC, Traducción realizada por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, Bogotá.
- [23] Bertero, V V y R D Bertero, (1993), *Tall Reinforced Concrete Buildings: Conceptual Earthquake-Resistant Design Methodology*, Octavo Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo Resistente, Merida, Venezuela.
- [24] Blume, J., N. M. Newmark, and L H Corning, (1961), *Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions*, Portland Cement Association, Skokie, IL, USA, 318 p.

Prefacio

- [25] Borchardt, R. D., (1994). Simplified Site Classes and Empirical Amplification Factors for Site Dependent Code Provisions, Proceedings of the NCEER/SEAOC/BSSC Workshop on Site Response During Earthquakes and Seismic Code Provisions, University of Southern California, San Diego, CA, USA, p.
- [26] BSI, (1991), British Standard BS-8118 - Part 1 - Structural Use of Aluminum - Design Code, British Standards Institution, London, UK.
- [27] Consultoría Colombiana Ltda, (1987) Normalización de Estructuras Metálicas - Información Meteorológica Básica para el Diseño de Líneas de Transmisión, Interconexión Eléctrica S.A., ISA, Documento NE-86-02, Bogotá
- [28] CEN, (1992), Eurocode 2. Design of concrete structures - Part 1: General rules and rules for buildings - ENV 1992-1-1, European Committee for Standardization, CEN, Brussels, Belgium, 253 p.
- [29] CEN, (1994), Eurocode 8: Design provisions for earthquake resistance of structures - ENV 1998-1-1, European Committee for Standardization, CEN, Brussels, Belgium, 276 p.
- [30] COPR, (1990), Competing Against Time - Report From the Governor's Board of Inquire on the 1989 Loma Prieta Earthquake, California Office of Planning and Research, State of California, Sacramento, CA, USA, May.
- [31] CRSI, (1993), Seismic Design Examples of Two 7-Story Reinforced Concrete Buildings in Seismic Zones 4 and 2A of the Uniform Building Code, Concrete Reinforcing Steel Institute, CRSI, Schaumburg, IL, USA, 82 p.
- [32] Der Kiureghian, A., and A. H-S. Ang, (1975), A Line Source Model for Seismic Risk Analysis, Civil Engineering Studies, Structural Research Series N° 419, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL, USA, October, 134 p.
- [33] Englekirk, R. E., y G. C. Hart, (1982), Earthquake Design of Concrete Masonry Buildings, Prentice-Hall, Englewood Cliffs NJ., USA.
- [34] DFM, (1993), Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Distrito Federal de México, Diario Oficial de la Federación. México D. F. México, Agosto.
- [35] Fedestructuras, (1977), Código de Construcciones Metálicas Fedestructuras, Federación Colombiana de Fabricantes de Estructuras Metálicas, Bogotá.
- [36] Fedestructuras, (1987), Criterios de Cargas de Viento Para el Diseño de Construcciones, Federación Colombiana de Fabricantes de Estructuras Metálicas, Fedestructuras, Bogotá, Julio.
- [37] Fedestructuras, (1987), Código de Soldaduras para Estructuras Metálicas, Federación Colombiana de Fabricantes de Estructuras Metálicas, Fedestructuras, Bogotá.
- [38] FEMA, (1994a), Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage - A Practical Guide, 3rd. Edition Developed by Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc. Report FEMA 74, Federal Emergency Management Agency, FEMA, Washington, DC, USA, 101 p.
- [39] FEMA, (1994b), NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings - 1994 Edition, and Commentary, Earthquake Hazard Reduction Series N° 222A, Building Seismic Safety Council, Federal Emergency Management Agency, FEMA, Washington, DC, USA, p.
- [40] García, L. E. (Director), A. Sarria, A. Espinosa, C. E. Bernal y M. Puccini, (1984), Estudio General del Riesgo Sísmico de Colombia, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, Bogotá.
- [41] García, L. E., y A. Sarria, (1980), Los Terremotos de Finales de 1979 y la Ingeniería Sísmica en Colombia, Revista Anales de Ingeniería, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Vol. LXXXVII, N° 804, Bogotá.
- [42] García, L. E., y A. Sarria, (1983), The March 31, 1983 Popayán Earthquake - Preliminary Report, Earthquake Engineering Research Institute, EERI, San Francisco, CA., USA, June
- [43] García, L. E., (1984), Development of the Colombian Seismic Code, Proceedings of the Eight World Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, San Francisco, CA, USA.
- [44] García, L. E., A. Sarria, R. Caicedo, y J. Muñoz, (1987), Añición, Modificación y Remodelación del Sistema Estructural de Edificaciones Existentes Antes de la Vigencia del Decreto 1400/84, Séptimas Jornadas Estructurales, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Bogotá, Colombia.
- [45] García, L. E., (1994), El Control de Deriva y sus Implicaciones Económicas, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá.

- [46] García, L. E., (1996), *Economic Considerations of Displacement-Based Seismic Design of Structural Concrete Buildings*, Structural Engineering International, Volume 6, Number 4, International Association for Bridge and Structural Engineering, IABSE, Zürich, Suiza.
- [47] ICBO, (1997), *UBC - Uniform Building Code - 1997 Edition*, International Conference of Building Officials, ICBO, Whittier, CA, USA, 3 Vol.
- [48] ICONTEC, (1983) *Código Colombiano de Estructuras de Hormigón Armado. Norma Icontec-2000*, Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC, Bogotá.
- [49] ICONTEC, (1984), *Código Colombiano de Construcciones Metálicas - Norma Icontec-2001*, Instituto Colombiano de Normas Técnicas, Bogotá.
- [50] Ingeominas, (1986), *El sismo de Popayán del 31 de marzo de 1983*, Instituto Nacional de Investigaciones en Geociencia, Minería y Química, Bogotá, Colombia, 320 p.
- [51] Ingeominas y Comunidad Económica Europea, (1992), *Microzonificación Sismoqueotécnica de Popayán*, Publicaciones Especiales de Ingeominas, N°2, Bogotá, Colombia, 208 p.
- [52] Ingeominas y Universidad de los Andes, (1997), *Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá*, Convenio Interadministrativo 01-93, Ingeominas, Unidad de Prevención y Atención de Emergencias de Santa Fe de Bogotá D.C., Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, Bogotá, Colombia, 130 p.
- [53] Lin, T. Y., and S. D. Stotesbury, (1988), *Structural Concepts for Architects and Enamers*, 2nd Edition, Van Nostrand, New York, NY, USA, p.
- [54] Masonry Standards Joint Committee (1995), *Building Code Requirements for Masonry Structures (ACI 530-95/ASCE 5-95/TMS 402-95) and Specifications for Masonry Structures (ACI 530.1-95/ASCE 6-95/TMS 602-95)*, American Concrete Institute ACI - American Society for Civil Engineers ASCE - The Masonry Society TMS, American Society of Civil Engineers, New York, NY, USA, 491 p.
- [55] Martínez, J. M., E. Parra, G. París, C. A. Forero, M. Bustamante, O. D. Cardona, y J. Jaramillo, (1994), *Los Sismos del Atrato Medio del 17 Y 18 de Octubre de 1992 - Nor-Occidente de Colombia*, Revista Ingeominas, N°4, Bogotá, Colombia.
- [56] Meli, R., y M. Rodríguez, (1988), *Seismic Behavior of Waffle-Flat Plate Buildings*, Concrete International, American Concrete Institute, Detroit, MI., USA, July
- [57] MOPT, (1984), *Código Colombiano De Construcciones Sismo Resistentes - Decreto 1400 De Junio 7 De 1984*, Ministerio de Obras Públicas y Transporte, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá.
- [58] NZS, (1989), *Code of Practice for General Structural Design and Design Loading for Buildings - NZS 4203*, Second Draft, New Zealand Standards, Wellington, New Zealand.
- [59] OPS, (1993), *Mitigación de Desastres en las Instalaciones de Salud*, Organización Panamericana de la Salud, OPS, Washington, DC, USA, 4 Vol.
- [60] PADT-REFORT, (1984), *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*, 3ª Edición, Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Area de Recursos Forestales Tropicales, Junta del Acuerdo de Cartagena, Pacto Andino, Lima, Perú, 597 p.
- [61] Paz, M., editor, (1994), *International Handbook of Earthquake Engineering - Codes, Programs, and Examples*, Chapman & Hall, New York, NY, USA, 545 p.
- [62] Ramírez S. J., J. E. (1975), *Historia de Los Terremotos en Colombia*, 2ª Edición, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia, 249 p.
- [63] Sarría, A., (1995), *Ingeniería Sísmica*, 2ª Edición, ECOE Ediciones y Ediciones Uniandes, Bogotá, Colombia, 569 p.
- [64] SEAOC, (1974), *Recommended Lateral Force Requirements and Commentary*, Seismology Committee, Structural Engineers Association of California, SEAOC, San Francisco, CA., USA.
- [65] SEAOC, (1976), *Recomendaciones para Requisitos de Fuerzas Horizontales. Versión 1974*, Comité de Sismología, Asociación de Ingenieros Estructurales de California, SEAOC, Traducción realizada por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá.

- [66] SEAOC, (1996), *Recommended Lateral Force Requirements and Commentary*, 6th Edition, Seismology Committee, Structural Engineers Association of California, SEAOC, Sacramento, CA, USA, 504 p.
- [67] Sozen, M. A., (1993), *A Frame of Reference for Structural Alternatives in Earthquake Resistant Design*, 6^o Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 7 p
- [68] UA, (1985), *Anteproyecto de Código de Edificaciones de Bogotá*, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá.
- [69] UA, (1994), *Comportamiento Sísmico de Muros de Mampostería Confinada*, Investigación realizada para la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, Laboratorios de Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, Marzo, 101 p.
- [70] Whitman, R. V., editor, (1992), *Proceedings from the Site Effects Workshop*, National Center for Earthquake Research, Technical Report NCEER-92-0006, State University of New York at Buffalo, Buffalo, NY, USA.

