

CAPITULO A.3

REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO SISMO RESISTENTE

A.3.0 – NOMENCLATURA

A_s	=	coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2.
A_x	=	coeficiente de amplificación de la torsión accidental en el nivel x , definido en A.3.6.7.
E	=	fuerzas sísmicas reducidas de diseño ($E = F_s / R$)
F_s	=	parte del cortante sísmico en la base que se genera en el nivel i , véase A.3.6.6.
F_{px}	=	fuerza horizontal sobre el diafragma del piso x , véase A.3.6.8.
F_i	=	fuerzas sísmicas, véase A.3.1.1
g	=	aceleración debida a la gravedad ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$)
I	=	coeficiente de importancia dado en A.2.5.2.
M	=	masa total de la edificación - M se expresa en kg. Debe ser igual a la masa total de la estructura más la masa de aquellos elementos tales como muros divisorios y particiones, equipos permanentes, tanques y sus contenidos, etc. En depósitos o bodegas debe incluirse además un 25 por ciento de la masa correspondiente a los elementos que causan la carga viva del piso. Capítulos A.4 y A.5.
M_p	=	masa de un elemento o componente, en kg.
m_i	=	parte de M que está colocada en el nivel i , en kg. Véase A.4.5
m_{px}	=	masa del diafragma y de los elementos adheridos a él en el nivel x , en kg. Véase A.3.6.8
R_0	=	coeficiente de capacidad de disipación de energía básico definido para cada sistema estructural y cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural. Véase el Capítulo A.3.
R	=	coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura y en planta ($R = \phi_a \phi_p R_0$). Véase el Capítulo A.3
V_x	=	fuerza cortante sísmica en el nivel x Véase A.3.6.6
δ_{max}	=	desplazamiento horizontal máximo en el nivel x Véase A.3.6.
δ_{prom}	=	promedio de los desplazamientos horizontales en puntos extremos de la estructura en el nivel x . Véase A.3.6.
ϕ_a	=	coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en altura de la edificación. Véase A.3.3.3
ϕ_p	=	coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en planta de la edificación Véase A.3.3.3.

A.3.1 - BASES GENERALES DE DISEÑO SISMO RESISTENTE

A.3.1.1 - PROCEDIMIENTO DE DISEÑO - En A.1.3 se establecen los pasos que se deben seguir en el diseño sismo resistente de una edificación. En el Capítulo A.2 se establecen los movimientos sísmicos de diseño. En el presente Capítulo se establecen los tipos de sistemas estructurales de resistencia sísmica, y los diferentes métodos de análisis, los cuales dependen del grado de irregularidad del sistema estructural y, además, permiten determinar el cortante sísmico en la base y su distribución en la altura de la edificación. Determinadas las fuerzas sísmicas correspondientes a cada nivel, se aplican al sistema estructural de resistencia sísmica escogido. Por medio de un modelo matemático apropiado se determinan las deflexiones de la estructura y las fuerzas internas en cada elemento del sistema estructural producidas por las fuerzas sísmicas. La verificación de derivas se realiza para las deflexiones horizontales de la estructura obtenidas del análisis. Finalmente se efectúa el diseño de los elementos y sus conexiones utilizando todas las solicitaciones requerida por el Título B del Reglamento, debidamente combinadas según se exige allí. Las fuerzas sísmicas obtenidas del análisis F_s , se reducen, dividiéndolas por el coeficiente de capacidad de disipación de energía, R , correspondiente al sistema estructural de resistencia sísmica, para obtener las fuerzas sísmicas reducidas de diseño ($E = F_s / R$) que se emplean en las combinaciones de carga prescritas en el Título B. El valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico, R_0 , multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura y en planta ($R = \phi_a \phi_p R_0$). El diseño de los elementos estructurales y sus conexiones se realiza cumpliendo los requisitos exigidos para el grado de capacidad de disipación de energía requerido del material. Estas fuerzas de diseño de los elementos estructurales obtenidas siguiendo el procedimiento anotado, son fuerzas al nivel de resistencia, o sea que corresponden a fuerzas mayoradas que ya han sido multiplicadas por sus coeficientes de carga. Para elementos que se diseñan utilizando el método de esfuerzos de trabajo, debe consultarse A.3.1.8.

A.3.1.2 - CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURACION - El sistema de resistencia sísmica de la edificación debe clasificarse dentro de uno de los sistemas estructurales dados en A.3.2 y debe cumplir los requisitos indicados en el presente Título A del Reglamento y los propios del material estructural que se indiquen en el Título correspondiente y para el grado de disipación de energía en el rango inelástico apropiado. Los efectos sísmicos sobre los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica deben evaluarse siguiendo los requisitos del Capítulo A.8. Los efectos sísmicos sobre los elementos no estructurales deben evaluarse siguiendo los requisitos del Capítulo A.9.

A.3.1.3 - CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA MINIMA REQUERIDA - Dependiendo del tipo de material estructural y de las características del sistema de resistencia sísmica se establecen los grados de capacidad de disipación de energía mínimos (*DES*, *DMO*, o *DMI*) que debe cumplir el material estructural en las diferentes zonas de amenaza sísmica definidas en el Capítulo A.2. Véanse las tablas A.3-1 a A.3-4.

A.3.1.4 - RESISTENCIA SISMICA EN LAS DIFERENTES DIRECCIONES HORIZONTALES - Dado que los efectos sísmicos pueden ser preponderantes en cualquier dirección horizontal, la estructura debe tener resistencia sísmica en todas las direcciones y por lo tanto el sistema estructural de resistencia sísmica debe existir en dos direcciones ortogonales o aproximadamente ortogonales, de tal manera que se garantice la estabilidad, tanto de la estructura considerada como un todo, como de cada uno de sus elementos, ante movimientos sísmicos que puedan ocurrir en cualquier dirección horizontal.

A.3.1.5 - TRAYECTORIA DE LAS FUERZAS - Las fuerzas deben transferirse desde su punto de aplicación hasta su punto final de resistencia. Por lo tanto debe proveerse una trayectoria o trayectorias continuas, con suficiente resistencia y rigidez para garantizar el adecuado traspaso de las fuerzas. La cimentación debe diseñarse para los efectos de las fuerzas y movimientos sísmicos.

A.3.1.6 - SISTEMAS DE RESISTENCIA SISMICA ISOSTATICOS - En lo posible el sistema estructural de resistencia sísmica debe ser hiperestático. En el diseño de edificaciones donde el sistema de resistencia sísmica no sea hiperestático, debe tenerse en cuenta el efecto adverso que implicaría la falla de uno de los miembros o conexiones en la estabilidad de la edificación.

A.3.1.7 - SISTEMAS ESTRUCTURALES DE RESISTENCIA SISMICA PREFABRICADOS - Pueden construirse edificaciones cuyo sistema de resistencia sísmica esté compuesto por elementos prefabricados. El sistema prefabricado debe diseñarse para las fuerzas sísmicas obtenidas de acuerdo con este Reglamento usando un coeficiente de capacidad de disipación de energía básico, tal como lo define el Capítulo A.13 igual a uno y medio ($R_0 \approx 1.5$). Cuando se demuestre con evidencia experimental y de análisis, que el sistema propuesto tiene una resistencia, capacidad de disipación de energía y capacidad de trabajo en el rango inelástico igual o mayor a las obtenidas con la estructura construida utilizando uno de los materiales prescritos por este Reglamento, deben cumplirse los requisitos de los Artículos 10 y 12 de la Ley 400 de 1997, pero en ningún caso el valor de R_0 podrá ser mayor que el fijado por el presente Reglamento para sistemas de resistencia sísmica construidos monolíticamente con el mismo material estructural. Al respecto debe consultarse A.1.4.2.

A.3.1.8 - MATERIALES ESTRUCTURALES DISEÑADOS USANDO EL METODO DE ESFUERZOS DE TRABAJO - Cuando el material estructural se diseña utilizando el método de esfuerzos de trabajo, tal como lo define B.2.3 de este Reglamento, para obtener los efectos de las fuerzas sísmicas reducidas de diseño al nivel de esfuerzos de trabajo que se emplean en el diseño de los elementos estructurales debe utilizarse un coeficiente de carga de 0.7 como lo presenta B.2.3.

A.3.2 - SISTEMAS ESTRUCTURALES

A.3.2.1 - TIPOS DE SISTEMAS ESTRUCTURALES - Se reconocen cuatro tipos generales de sistemas estructurales de resistencia sísmica, los cuales se definen en esta sección. Cada uno de ellos se subdivide según los tipos de elementos verticales utilizados para resistir las fuerzas sísmicas y el grado de capacidad de disipación de energía del material estructural empleado. Los sistemas estructurales de resistencia sísmica que reconoce este Reglamento son los siguientes:

A.3.2.1.1 - Sistema de muros de carga - Es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales. Véase la tabla A.3-1.

A.3.2.1.2 - Sistema combinado - Es un sistema estructural, (véase la tabla A 3-2), en el cual

- (a) las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, esencialmente completo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales, o
- (b) las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, esencialmente completo, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales, y que no cumple los requisitos de un sistema dual.

A.3.2.1.3 - Sistema de pórtico - Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales. Véase la tabla A.3-3.

A.3.2.1.4 - Sistema dual - Es un sistema estructural que tiene un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales. Véase la tabla A 3-4. Para que el sistema estructural se pueda clasificar como sistema dual se deben cumplir los siguientes requisitos

- (a) El pórtico espacial resistente a momentos, sin diagonales, esencialmente completo, debe ser capaz de soportar las cargas verticales.
- (b) Las fuerzas horizontales son resistidas por la combinación de muros estructurales o pórticos con diagonales. con el pórtico resistente a momentos, el cual puede ser un pórtico de capacidad especial de disipación de energía (*DES*), cuando se trata de concreto reforzado o acero estructural, un pórtico con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*) de concreto reforzado, o un pórtico con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*) de acero estructural. El pórtico resistente a momentos, actuando independientemente, debe diseñarse para que sea capaz de resistir como mínimo el 25 por ciento del cortante sísmico en la base.
- (c) Los dos sistemas deben diseñarse de tal manera que en conjunto sean capaces de resistir la totalidad del cortante sísmico en la base, en proporción a sus rigideces relativas, considerando la interacción del sistema dual en todos los niveles de la edificación, pero en ningún caso la responsabilidad de los muros estructurales, o de los pórticos con diagonales, puede ser menor del 75 por ciento del cortante sísmico en la base

A.3.2.2 - CLASIFICACION EN UNO DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES - Toda edificación o cualquier parte de ella, debe quedar clasificada dentro de uno de los cuatro sistemas estructurales de resistencia sísmica descritos en las tablas A.3-1 a A.3-4.

A.3.2.3 - LIMITES DE ALTURA PARA LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES - En las tablas A.3-1 a A.3-4 se dan las alturas máximas, medidas en metros a partir de la base o en número de pisos por encima de la misma, que puede tener cada uno de los sistemas estructurales de resistencia sísmica prescritos, para cada una de las zonas de amenaza sísmica.

A.3.2.4 - COMBINACION DE SISTEMAS ESTRUCTURALES EN LA ALTURA - Cuando se combinen en la altura diferentes sistemas estructurales dentro de una misma edificación, deben cumplirse los siguientes requisitos.

A.3.2.4.1 - Mínimo valor de R - Con la excepción de lo dispuesto en A.3.2.4.2 a A.3 2.4.4, la estructura se clasifica con irregularidad del tipo 5A (tabla A.3-7), y el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía, *R*, en cualquier dirección y en cualquier nivel, debe ser el menor valor de *R* de los sistemas estructurales que se estén combinando por encima de ese nivel y en la dirección considerada. Deben cumplirse los requisitos de diseño exigidos para cada sistema estructural y para cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural

A.3.2.4.2 - Pisos livianos - No hay necesidad de aplicar los requisitos de A.3.2.4 1 cuando la masa de los pisos localizados por encima del nivel donde se inicia un sistema estructural sea menor del 10 por ciento de la masa total, *M*, de la edificación.

A.3.2.4.3 - Estructura flexible apoyada sobre una estructura con mayor rigidez - En estructuras que tengan una parte superior flexible apoyada en una con mayor rigidez y que cumplan los requisitos de la tabla A.3-5, puede utilizarse el procedimiento de diseño indicado allí

A.3.2.4.4 - Estructura rígida apoyada sobre una estructura con menor rigidez - Este tipo de combinación de sistemas estructurales en la altura presenta inconvenientes en su comportamiento sísmico. En aquellos

casos en que se tenga que recurrir a este tipo de combinación, deben cumplirse los requisitos de la tabla A.3-5.

A.3.2.5 - COMBINACION DE SISTEMAS ESTRUCTURALES EN PLANTA - Pueden combinarse sistemas estructurales en planta, sin que esto de pie a que la estructura se clasifique como irregular con las siguientes limitaciones:

- (a) los dos sistemas deben coexistir en toda la altura de la edificación, a menos que se cumplan los requisitos de A.3.2.4,
- (b) cuando la estructura tiene un sistema de muros de carga únicamente en una dirección, el valor de R para diseñar la dirección ortogonal, no puede ser mayor que 1.25 veces el valor de R del sistema estructural de muros de carga, y
- (c) cuando la estructura tiene sistemas diferentes de muros de carga en ambas direcciones, para el sistema que tiene un mayor valor de R , el valor a emplear no puede ser mayor que 1.25 veces el valor de R del sistema estructural de muros de carga con el menor valor de R .

A.3.2.6 - ELEMENTOS COMUNES A VARIOS SISTEMAS ESTRUCTURALES - Los elementos estructurales comunes a diferentes sistemas estructurales deben diseñarse y detallarse siguiendo los requisitos más restrictivos dentro de los sistemas para los cuales son comunes.

A.3.3 - CONFIGURACION ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACION

A.3.3.1 - GENERAL - Para efectos de diseño sísmico la edificación debe clasificarse como regular o como irregular de acuerdo con los requisitos de esta sección.

A.3.3.2 - DEFINICION DE LA CONFIGURACION ESTRUCTURAL - Se entiende por configuración estructural de la edificación, no solamente la forma exterior de ella y su tamaño, sino la naturaleza, las dimensiones y la localización de los elementos estructurales, y no estructurales, que afecten el comportamiento de la edificación ante las solicitaciones sísmicas.

A.3.3.3 - REDUCCION DEL VALOR DE R PARA ESTRUCTURAS IRREGULARES - Cuando una estructura se clasifique como irregular, el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía R que se utilice en el diseño sísmico de la edificación, debe reducirse multiplicándolo por ϕ_a , debido a irregularidades en planta y por ϕ_p , debido a irregularidades en altura, como indica la ecuación A.3-1

$$R = \phi_a \cdot \phi_p \cdot R_0 \quad (\text{A.3-1})$$

Cuando una edificación tiene varios tipos de irregularidad en planta simultáneamente, se aplicará el menor valor de ϕ_p . Análogamente, cuando una edificación tiene varios tipos de irregularidad en altura simultáneamente, se aplicará el menor valor de ϕ_a .

A.3.3.4 - CONFIGURACION EN PLANTA - La edificación se considera irregular cuando ocurra, véase la figura A.3-1, uno, o varios, de los casos descritos en la tabla A.3-6, donde se definen los valores de ϕ_p .

A.3.3.5 - CONFIGURACION EN LA ALTURA - Una edificación se clasifica como irregular en altura, véase la figura A.3-2, cuando ocurre uno, o varios, de los casos descritos en la tabla A.3-7, donde se definen los valores de ϕ_a .

A.3.3.5.1 - Excepciones a las irregularidades en altura - Cuando para todos los pisos, la deriva de cualquier piso es menor de 1.3 veces la deriva del piso siguiente hacia arriba, puede considerarse que no existen irregularidades en altura de los tipos 1A, 2A, ó 3A, tal como se definen en la tabla A.3-7, y en este caso se aplica $\phi_a = 1$. No hay necesidad de considerar en esta evaluación las derivas de los dos pisos superiores de la edificación ni los sótanos que tengan muros de contención integrados a la estructura en toda su periferia. Las derivas utilizadas en la evaluación pueden calcularse sin incluir los efectos torsionales. Así mismo, no se considera irregular la estructura flexible apoyada sobre una estructura con mayor rigidez que cumpla los requisitos de A.3.2.4.3 y los correspondientes de la tabla A.3-5.

A.3.3.6 - EDIFICACIONES EN ZONAS DE AMENAZA SISMICA BAJA DE LOS GRUPOS DE USO I Y II - Para las edificaciones pertenecientes a los grupos de uso I y II, localizadas en zonas de amenaza sísmica baja, la evaluación

para determinar si la edificación es irregular o no, puede limitarse a irregularidades en planta del tipo 1P (tabla A.3-6) y en altura del tipo 5A (tabla A.3-7).

A.3.3.7 - EDIFICACIONES EN ZONAS DE AMENAZA SISMICA INTERMEDIA DEL GRUPO DE USO I - Para las edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, localizadas en zonas de amenaza sísmica intermedia, la evaluación para determinar si la edificación es irregular o no, puede limitarse a irregularidades en planta de los tipos 1P, 3P y 4P (tabla A.3-6) y en altura de los tipos 4A y 5A (tabla A.3-7).

A.3.4 - METODOS DE ANALISIS

A.3.4.1 - METODOS RECONOCIDOS - Se reconocen los siguientes métodos de análisis del sistema de resistencia sísmica para efectos de su diseño:

- (a) método de la fuerza horizontal equivalente, el cual está descrito en el Capítulo A.4,
- (b) métodos de análisis dinámico elástico, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.5,
- (c) métodos de análisis dinámico inelástico, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.5, y
- (d) métodos de análisis alternos, los cuales deben tener en cuenta las características dinámicas de la edificación, el comportamiento inelástico de los materiales, y deben ser de aceptación general en la ingeniería. En la aplicación de cualquier método de análisis alterno no se pueden utilizar periodos fundamentales mayores de los permitidos en los Capítulos A.4 y A.5

A.3.4.2 - METODO DE ANALISIS A UTILIZAR - Como mínimo deben emplearse los siguientes métodos de análisis:

A.3.4.2.1 - Método de la fuerza horizontal equivalente - Puede utilizarse el método de la fuerza horizontal equivalente en las siguientes edificaciones:

- (a) todas las edificaciones, regulares e irregulares, en las zonas de amenaza sísmica baja,
- (b) todas las edificaciones, regulares e irregulares, pertenecientes al grupo de uso I, localizadas en zonas de amenaza sísmica intermedia,
- (c) edificaciones regulares, de menos de 20 niveles ó 60 m de altura medidos desde la base, lo menor, en cualquier zona de amenaza sísmica, exceptuando edificaciones localizadas en lugares que tengan un perfil de suelo tipo S_4 , con periodos de vibración mayores de 0.7 segundos,
- (d) edificaciones irregulares que no tengan más de 6 niveles ó 18 m de altura medidos a partir de la base, lo menor,
- (e) estructuras flexibles apoyadas sobre estructuras más rígidas que cumplan los requisitos de A.3.2.4.3.

A.3.4.2.2 - Método del análisis dinámico elástico - Debe utilizarse el método del análisis dinámico elástico en todas las edificaciones que no estén cubiertas por A.3.4.2.1, incluyendo las siguientes:

- (a) edificaciones de más de 20 niveles o 60 m de altura, lo menor, exceptuando las edificaciones mencionadas en A.3.4.2.1 (a) y (b),
- (b) edificaciones que tengan irregularidades verticales de los tipos 1A, 2A y 3A, tal como se definen en A.3.3.5,
- (c) edificaciones que tengan irregularidades que no estén descritas en A.3.3.4 y A.3.3.5, exceptuando el caso descrito en A.3.2.4.3,
- (d) edificaciones de más de 5 niveles o 20 m de altura, lo menor, localizadas en zonas de amenaza sísmica alta, que no tengan el mismo sistema estructural en toda su altura, con la excepción de los prescrito en A.3.2.4.3,
- (e) estructuras, regulares o irregulares, localizadas en sitios que tengan un perfil de suelo S_4 y que tengan un periodo mayor de 0.7 segundos. En este caso el análisis debe incluir los efectos de interacción suelo-estructura, tal como los prescribe el Capítulo A.7.

A.3.4.2.3 - Método del análisis dinámico inelástico - Puede utilizarse el método del análisis dinámico inelástico en aquellos casos que a juicio del ingeniero diseñador, se presenten variaciones en la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico que solo sea posible identificar por este procedimiento. Cuando se utilice este método de análisis deben cumplirse los requisitos dados en el Capítulo A.5.

A.3.4.3 - RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA Y SUS ELEMENTOS - Las rigideces que se empleen en el análisis estructural para el diseño sísmico deben ser definidas por el ingeniero diseñador de acuerdo con su criterio, teniendo en cuenta los preceptos dados para cada material estructural en el Título correspondiente de este Reglamento

A.3.5 - REQUISITOS PARA LOS MATERIALES ESTRUCTURALES

A.3.5.1 - Los requisitos especiales para el diseño y los detalles propios de cada material estructural se dan para el grado de capacidad de disipación de energía; mínima (*DMI*), moderada (*DMO*) o especial (*DES*), que se requiera del material y para cada uno de los sistemas estructurales de resistencia sísmica en las tablas A.3-1 a A.3-4.

A.3.6 - EFECTOS SISMICOS EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

A.3.6.1 - GENERALIDADES - Todos los elementos estructurales deben diseñarse para los efectos de los movimientos sísmicos de diseño que actúen sobre ellos, adicionalmente a todas las cargas que los puedan afectar, tal como lo prescribe el Título B de este Reglamento.

A.3.6.1.1 - Elementos del sistema de resistencia sísmica - Solamente los elementos que pertenezcan al sistema estructural de resistencia sísmica pueden contribuir a la resistencia sísmica de la edificación y deben diseñarse de acuerdo con los requisitos propios de su material estructural y para el grado de capacidad de disipación de energía requerido, además de los requisitos adicionales dados en la presente sección.

A.3.6.1.2 - Elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica - Los elementos estructurales que no formen parte del sistema estructural de resistencia sísmica, deben investigarse con el fin de determinar si pueden mantener su capacidad de resistir cargas verticales cuando se ven sometidos a los desplazamientos horizontales y a las derivas, causados por los movimientos sísmicos de diseño, pero sólo hay necesidad de que cumplan los requisitos del grado de capacidad de disipación de energía mínimo para su material estructural. Sus anclajes y amarres al sistema de resistencia sísmica deben cumplir los requisitos dados en la presente sección y en el Capítulo A.8.

A.3.6.2 - COMBINACION DE LOS EFECTOS DE CARGA - Los coeficientes de carga que deben emplearse en la combinación de cargas de gravedad y de fuerzas sísmicas se establecen en el Título B de este Reglamento. Debe tenerse en cuenta que las fuerzas sísmicas obtenidas siguiendo éste Reglamento, están definidas al nivel de resistencia, por lo tanto ya están mayoradas.

A.3.6.3 - DIRECCION DE APLICACION DE LAS FUERZAS SISMICAS - Con la excepción de lo dispuesto en A.3.6.3.1, puede suponerse que el efecto crítico sobre una edificación, causado por la dirección de aplicación de las fuerzas sísmicas se ha tomado en cuenta si todos los elementos se diseñan para el 100% de las fuerzas sísmicas actuando no simultáneamente en las dos direcciones principales. La fuerza sísmica debe combinarse con las cargas verticales de acuerdo con los requisitos del Título B de este Reglamento.

A.3.6.3.1 - Casos en los cuales hay que tener en cuenta los efectos ortogonales - Debe tenerse en cuenta el efecto de las fuerzas sísmicas actuando en una dirección diferente a la de los ejes principales de la edificación, de acuerdo con A.3.6.3.2, en los siguientes casos:

- (a) en estructuras que tienen irregularidades en planta del tipo 5P, tal como se definen en la tabla A.3-6,
- (b) en estructuras que tienen en sus dos ejes principales irregularidades en planta del tipo 1P, tal como se definen en la tabla A.3-6, y
- (c) en las columnas que hagan parte del sistema de resistencia sísmica de la estructura.

A.3.6.3.2 - Efectos ortogonales - Los efectos ortogonales pueden tenerse en cuenta suponiendo la concurrencia simultánea del 100% de las fuerzas sísmicas en una dirección y el 30% de las fuerzas sísmicas en la dirección perpendicular. Debe utilizarse la combinación que requiera la mayor resistencia del elemento. Alternativamente, pueden calcularse como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los efectos producidos por el 100% de las fuerzas sísmicas actuando independientemente en las dos direcciones ortogonales, asignándole el signo que conduzca al resultado más conservador.

A.3.6.4 - AMARRES Y CONTINUIDAD - Todos los elementos estructurales deben interconectarse. La conexión y los elementos conectores deben ser capaces de transmitir las fuerzas sísmicas inducidas por las partes que conectan; además de los requisitos del Capítulo A.8, deben cumplirse los siguientes requisitos.

A.3.6.4.1 - Partes de la edificación - Cualquier parte o porción de la edificación debe estar vinculada y amarrada al resto de la edificación por medio de elementos de conexión cuya resistencia, como mínimo, debe ser $(0.40A_s g)$ veces la masa de la parte o porción.

A.3.6.4.2 – Vigas de amarre en la cimentación - Los elementos de cimentación, tales como zapatas, dados de pilotes, pilas o "caissons", etc., deben amarrarse por medio de elementos capaces de resistir en tensión o compresión una fuerza no menor de $(0.25A_s)$ veces la carga vertical total del elemento que tenga la mayor carga entre los que interconecta, además de las fuerzas que le transmita la superestructura. Para efectos del diseño de la cimentación debe cumplirse lo prescrito en A.3.7

A.3.6.5 - ELEMENTOS COLECTORES - Deben proveerse elementos colectores capaces de transferir las fuerzas sísmicas que se originan en otras partes de la edificación hasta el elemento vertical del sistema de resistencia sísmica que resiste esas fuerzas

A.3.6.6 - DISTRIBUCION DE LA FUERZA CORTANTE EN EL PISO - La fuerza cortante, V_x , en el nivel x , debe determinarse de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (\text{A.3-2})$$

La fuerza cortante, V_x , y las torsiones asociadas deben distribuirse entre los diferentes pórticos y muros estructurales del sistema de resistencia sísmica de acuerdo con sus respectivas rigideces de desplazamiento y teniendo en cuenta la rigidez del diafragma.

A.3.6.7 - TORSION EN EL PISO - En el diseño deben tenerse en cuenta los efectos de torsión en el piso, de acuerdo con los requisitos de A.3.6.7.1 a A.3.6.7.3, considerando que estos provienen, o bien, de la incertidumbre en la localización de las masas dentro del piso, lo cual conduce a una torsión accidental o bien debido a la excentricidad entre el centro de masas y el centro de rigidez cuando los diafragmas se consideran rígidos en su propio plano.

A.3.6.7.1 - Torsión accidental - Debe suponerse que la masa de todos los pisos está desplazada transversalmente, hacia cualquiera de los dos lados, del centro de masa calculado de cada piso, una distancia igual al 5 por ciento (0.05) de la dimensión de la edificación en ese piso, medida en la dirección perpendicular a la dirección en estudio. El efecto de la torsión que se genera debe tenerse en cuenta en la distribución del cortante del piso a los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica. Cuando existan irregularidades en planta del tipo 1P, tal como las define A.3.3.4.1 (tabla A.3-6), debe aumentarse la torsión accidental en cada nivel x , multiplicándola por un coeficiente de amplificación, A_x , determinado de acuerdo con la siguiente ecuación

$$A_x = \left[\frac{\delta_{\max}}{1.2\delta_{\text{prom}}} \right]^2 \leq 3.0 \quad (\text{A.3-3})$$

A.3.6.7.2 - Torsión debida a la no coincidencia del centro de masa y de rigidez - Cuando el diafragma puede considerarse rígido en su propio plano, debe tenerse en cuenta el aumento en los cortantes sobre los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica debida a la distribución, en planta, de la rigidez de los elementos del sistema de resistencia sísmica.

(a) Diafragma flexible - El diafragma puede suponerse flexible, para los efectos de las prescripciones de esta sección, cuando la máxima deflexión horizontal dentro del diafragma, al verse sometido a las fuerzas sísmicas, F_x , es más de 2 veces el promedio de sus deflexiones horizontales. Esta determinación de la flexibilidad del diafragma puede realizarse comparando la deflexión horizontal debida a las fuerzas sísmicas, obtenida en el punto medio del diafragma, con la de cada uno de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, al verse sometidos a una fuerza horizontal equivalente a la producida por la masa aferente al elemento

(b) Diafragma rígido en su propio plano - El diafragma puede suponerse rígido en su propio plano cuando se dispone su rigidez y su resistencia de tal manera que éste actúe como una unidad y sus propiedades de masa y de rigidez se puedan concentrar en el centro de masa y en el centro de rigidez respectivamente. En las edificaciones que tengan irregularidades de los tipos 2P y 3P la consideración de diafragma rígido debe evaluarse cuidadosamente, pues en la mayoría de los casos estas irregularidades inhiben el comportamiento como diafragma rígido de los entrepisos de la edificación

A.3.6.7.3 - Torsión de diseño - El momento torsional de diseño en cualquier nivel de la estructura se obtiene como la suma de las torsiones de diseño de todos los niveles localizados por encima del nivel en estudio. La porción de la torsión aportada por cada nivel se obtiene como la torsión accidental del nivel, más el producto de la fuerza sísmica horizontal, correspondiente a ese nivel por una dimensión igual a la proyección, en la dirección perpendicular a la dirección de las fuerzas, de la distancia entre el centro de masa y el centro de rigidez del nivel.

A.3.6.8 - DIAFRAGMAS - En el diseño de los pisos y cubiertas que actúan como diafragmas debe tenerse en cuenta lo siguiente:

A.3.6.8.1 - La deflexión en el plano del diafragma no debe exceder la deflexión permisible de los elementos que estén adheridos a él. La deflexión permisible debe ser aquella que permita a los elementos adheridos mantener su integridad estructural bajo las fuerzas impuestas.

A.3.6.8.2 - Los diafragmas de piso o de cubierta deben diseñarse para que sean capaces de resistir las fuerzas que se determinan por medio de la siguiente ecuación:

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n m_i} m_{px} \quad (\text{A.3-4})$$

No hay necesidad de que la fuerza F_{px} obtenida de la ecuación A.3-4 exceda $(0.75 A_s g \sum m_{px})$, pero no debe ser menor de $(0.35 A_s g \sum m_{px})$. Cuando el diafragma debe transmitir fuerzas provenientes de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica que se encuentren por encima del diafragma, a elementos verticales del sistema de resistencia sísmica que se encuentren por debajo del diafragma, debido a desplazamientos en la localización de los elementos, o por cambios en la rigidez de los elementos verticales, las fuerzas correspondientes se deben adicionar a las obtenidas por medio de la ecuación A.3-4.

A.3.6.8.3 - Los diafragmas que den apoyo a muros de concreto reforzado o de mampostería, deben tener amarres continuos entre los diferentes elementos del diafragma con el fin de distribuir las fuerzas de anclaje especificadas en A.3.6.10.

A.3.6.8.4 - Las conexiones del diafragma a los elementos verticales o a los elementos colectores, o entre elementos colectores, en estructuras localizadas en zonas de amenaza sísmica alta que tengan irregularidades en planta de los tipos 1P, 2P, 3P ó 4P (tabla A.3-6), deben diseñarse para las fuerzas sísmicas correspondientes, multiplicadas por 1.25.

A.3.6.8.5 - En las edificaciones localizadas en zonas de amenaza sísmica alta que tengan irregularidades en planta del tipo 2P (tabla A.3-6), los elementos del diafragma deben diseñarse considerando movimientos independientes de las alas que se proyectan hacia afuera de la estructura. Cada uno de los elementos del diafragma debe diseñarse para la condición más severa producida por el movimiento de las alas del diafragma en la misma dirección, o en direcciones opuestas.

A.3.6.9 - ELEMENTOS LOCALIZADOS DEBAJO DE LA BASE - La resistencia y rigidez de los elementos que formen parte del sistema de resistencia sísmica que se encuentren localizados entre la base y la cimentación no deben ser menores que las de la superestructura. Los elementos localizados entre la base y la cimentación deben tener el mismo grado de capacidad de disipación de energía de los elementos del sistema de resistencia sísmica.

A.3.6.10 - MUROS ESTRUCTURALES - Los muros estructurales de concreto o mampostería, exteriores e interiores, deben amarrarse a los diafragmas o cubiertas que les provean apoyo lateral, por medio de anclajes diseñados para resistir una fuerza horizontal que actúa perpendicularmente al plano del muro. Dicha fuerza debe ser igual a A_s veces M_p g, pero no menor que $0.10 M_p$ g, donde M_p es la masa del tramo de muro considerado.

A.3.6.11 - ESTRUCTURAS DE TIPO PENDULO INVERTIDO - Estas son estructuras donde el sistema de resistencia sísmica actúa como uno o varios voladizos aislados y un porcentaje muy alto de la masa se encuentra concentrada en la parte superior de la estructura. Las columnas o pilares de apoyo de las estructuras de tipo péndulo invertido deben diseñarse para un diagrama de momentos flectores que inicia en la base con un valor determinado de acuerdo con los

procedimientos establecidos en el Capítulo A.4 y varía uniformemente hasta llegar a la mitad de este valor en la parte superior. Véase la tabla A.3-3 para efectos de los sistemas estructurales permitidos.

A.3.6.12 - ELEMENTOS VERTICALES DISCONTINUOS - En las zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, cuando se presenten discontinuidades en el alineamiento de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, tales como las descritas en las irregularidades en planta tipo 4P (tabla A.3-6) y en altura tipo 4A (tabla A.3-7), o en cualquier zona de amenaza sísmica, cuando una estructura rígida se apoye sobre una estructura con menor rigidez como se indica en la Tabla A.3-5, deben cumplirse los siguientes requisitos:

- (a) las fuerzas axiales mayoradas de las columnas que sostengan los elementos que se suspenden se deben obtener utilizando las combinaciones de carga apropiadas de las dadas en B.2.4, utilizando un coeficiente de carga igual a $0.4R$, pero no menor de 1.0, en las combinaciones que incluyan fuerzas sísmicas reducidas de diseño E , en vez del coeficiente 1.0 prescrito allí,
- (b) debe garantizarse que los elementos, tales como vigas, que llevan estas fuerzas axiales hasta las columnas que las soportan sean capaces de resistirlas,
- (c) las columnas deben diseñarse para las fuerzas axiales mayoradas como se indica en el literal (a), acompañadas de los momentos obtenidos del análisis, los cuales se mayoran utilizando las combinaciones de carga normales prescritas en B.2.4,
- (d) las columnas deben diseñarse y detallarse siguiendo los requisitos del grado especial de capacidad de disipación de energía (DES) del material correspondiente.

Cuando el diseño de las columnas que soportan el elemento que se suspende se realiza utilizando el método de esfuerzos de trabajo prescrito en B.2.3, las fuerzas axiales de diseño al nivel de esfuerzos de trabajo se deben multiplicar por $0.3R$, pero no menos de 0.7, en vez del coeficiente 0.7 prescrito allí.

A.3.6.13 - EFECTO DE LAS ACELERACIONES VERTICALES - En las zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, deben tenerse en cuenta los efectos de los movimientos sísmicos verticales en los siguientes elementos estructurales.

- (a) en los voladizos, considerando una fuerza vertical, ascendente o descendente, en la punta del elemento con un valor igual al 30 por ciento de la carga muerta del voladizo en las zonas de amenaza sísmica alta, y del 15 por ciento en las zonas de amenaza sísmica intermedia, y
- (b) en los elementos construidos con concreto preesforzado, deben utilizarse combinaciones de carga adicionales a todas aquellas que incluyan carga muerta, utilizando el 50 por ciento de la carga muerta

A.3.7 - FUERZAS SÍSMICAS DE DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

A.3.7.1 - SISTEMA DE RESISTENCIA SÍSMICA - Los elementos del sistema estructural de resistencia sísmica, y sus conexiones, deben diseñarse utilizando todas las solicitaciones requerida por el Título B del Reglamento, debidamente combinadas según se exige allí. Las fuerzas sísmicas obtenidas del análisis F_u , se reducen, dividiéndolas por el coeficiente de capacidad de disipación de energía, R , correspondiente al sistema estructural de resistencia sísmica, para obtener las fuerzas sísmicas reducidas de diseño ($E = F_u / R$) que se emplean en las combinaciones de carga prescritas en el Título B. El valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico, R_0 , multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura y en planta ($R = \phi_a \phi_p R_0$). El diseño de los elementos estructurales y sus conexiones se realiza cumpliendo los requisitos exigidos para el grado de capacidad de disipación de energía requiendo del material. Estas fuerzas de diseño de los elementos estructurales obtenidas siguiendo el procedimiento anotado, son fuerzas al nivel de resistencia, o sea que corresponden a fuerzas mayoradas que ya han sido multiplicadas por sus coeficientes de carga. Para elementos que se diseñan utilizando el método de esfuerzos de trabajo, debe consultarse A.3.1.8.

A.3.7.2 - CIMENTACION - Las fuerzas sísmicas que actúan sobre la cimentación y el suelo de soporte se obtienen así:

- (a) Para efectos del diseño estructural de los elementos que componen la cimentación, se emplea el procedimiento indicado en A.3.7.1, empleando las cargas apropiadas y las fuerzas sísmicas reducidas de diseño, E , a partir de las reacciones de la estructura sobre estos elementos. En el diseño de los elementos de cimentación deben seguirse los requisitos propios del material estructural y del Título H de este Reglamento.
- (b) Para efectos de obtener los esfuerzos sobre el suelo de cimentación, a partir de las reacciones de la estructura y su cimentación sobre el suelo, se emplean las combinaciones de carga para el método de esfuerzos de trabajo de la sección B.2.3, empleando las cargas apropiadas y las fuerzas sísmicas

reducidas de diseño, E. Los efectos sobre el suelo así obtenidos están definidos al nivel de esfuerzos de trabajo y deben evaluarse de acuerdo con los requisitos del Título H de este Reglamento

A.3.8 – ESTRUCTURAS AISLADAS SÍSMICAMENTE EN SU BASE

A.3.8.1 - Se permite el empleo de estructuras aisladas sísmicamente en su base, siempre y cuando se cumplan en su totalidad los requisitos al respecto de uno de los tres documentos siguientes:

- (a) *"NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings – Provisions and Commentary"*, 1994 Edition, Federal Emergency Management Agency, FEMA 222A, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., USA, May 1995,
- (b) *"Minimum Design Loads for Building and Other Structures"*, ANSI/ASCE 7-95, American Society of Civil Engineers, New York, NY, USA, June 1996, o
- (c) *"Uniform Building Code - 1997"*, UBC-97, International Conference of Building Officials, Whittier, CA, USA, April 1997.

A.3.8.2 – En el diseño y construcción de estructuras aisladas sísmicamente en su base, se deben cumplir los requisitos de los Artículos 10 y 11 de la Ley 400 de 1997, asumiendo el diseñador estructural y el constructor las responsabilidades que allí se indican.

A.3.8.3 - La construcción de una edificación que utilice sistemas de aislamiento sísmico en su base debe someterse a una supervisión técnica permanente, como la describe el Título I