

CAPITULO A.7 INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

A.7.1 - GENERAL

A.7.1.1 - DEFINICION - La respuesta sísmica de la estructura está íntimamente ligada a la forma como los movimientos sísmicos del terreno afectan la estructura a través de su cimentación. Las características dinámicas del suelo subyacente, la rigidez y disposición de la cimentación y el tipo de sistema estructural de la edificación interactúan entre sí para caracterizar los efectos sísmicos sobre ella. El hecho de que no se tome en cuenta la rigidez de la cimentación y las características dinámicas del suelo subyacente en el análisis sísmico de la edificación puede conducir a variaciones apreciables entre la respuesta sísmica estimada y la respuesta real de la estructura. Por las razones anotadas es conveniente incluir los efectos de la interacción suelo-estructura en el análisis sísmico de la edificación

A.7.1.2 - EFECTOS ASOCIADOS CON LA INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA - Dependiendo de las características de la estructura, de su cimentación y del suelo subyacente, la respuesta de la estructura ante sollicitaciones estáticas verticales y dinámicas (sismo) puede variar con respecto al estimativo que se realiza sin tener en cuenta la interacción suelo-estructura en los siguientes aspectos:

- (a) la presencia de suelos blandos y compresibles en la distribución de esfuerzos y deformaciones bajo losas de fundación, tanto ante sollicitaciones de cargas verticales como de fuerzas horizontales,
- (b) variaciones en los períodos de vibración de la edificación,
- (c) aumento del amortiguamiento viscoso equivalente del sistema estructura-cimentación-suelo,
- (d) aumento de las derivas de la estructura ante sollicitaciones sísmicas,
- (e) variación en la distribución de las fuerzas cortantes horizontales producidas por los movimientos sísmicos, entre los diferentes elementos del sistema de resistencia sísmica, especialmente cuando se combinan elementos con rigideces y sistemas de apoyo en la cimentación diferentes, como puede ser el caso de combinación de pórticos y muros estructurales,
- (f) y otros

A.7.1.2.1 - Los efectos de interacción suelo-estructura no deben confundirse con los efectos de sitio, causados por la amplificación de la onda sísmica al viajar desde la roca hasta la superficie, los cuales se describen en el Capítulo A 2

A.7.1.3 - PROCEDIMIENTO RECOMENDADO - El presente Capítulo define los criterios generales que deben ser tenidos en cuenta, tanto por el ingeniero estructural como por el ingeniero geotecnista, cuando se deban utilizar procedimientos de interacción suelo-estructura, de acuerdo con los requisitos de A.3.4.2. Si a juicio del ingeniero estructural y el ingeniero geotecnista se dispone de la información necesaria, obtenida con el mayor rigor posible, acerca de los parámetros geotécnicos y estructurales involucrados, se pueden utilizar los requisitos presentados en el Apéndice A-2 del presente Título del Reglamento.

A.7.2 - INFORMACION GEOTECNICA

A continuación se describe el alcance mínimo de la exploración, interpretación y recomendaciones que debe contener el estudio geotécnico

A.7.2.1 - EXPLORACION - Los procedimientos de exploración deben ser consistentes con el tipo de propiedades que deben estudiarse, ya sea por procedimientos de campo o de laboratorio. Debe tenerse especial cuidado respecto a los niveles de deformación a que se expresen las propiedades del suelo, los cuales deben ser compatibles con los niveles de deformación que le imponen los movimientos sísmicos.

A.7.2.2 - LABORATORIO - Los procedimientos de laboratorio deben cuantificar, directa o indirectamente, las características del material bajo condiciones dinámicas y a los niveles de deformación esperados durante los movimientos sísmicos

A.7.2.3 - INTERPRETACION - La información de campo y de laboratorio debe combinarse en un conjunto de recomendaciones que describan y sustenten las características que debe emplear el ingeniero estructural en los modelos matemáticos del fenómeno. Las recomendaciones deben fijar limitaciones y rangos de aplicabilidad, fáciles de identificar, con el fin de evitar el peligro que entraña la utilización de los parámetros recomendados, fuera del contexto bajo el cual se expresaron

A.7.2.4 - REVISION Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS - El ingeniero geotecnista debe revisar y avalar los resultados obtenidos por el ingeniero estructural, en lo concerniente a las recomendaciones para interacción suelo-estructura del estudio geotécnico y a la validez de los resultados de interacción suelo-estructura obtenidos con base en sus propias recomendaciones.

A.7.3 - ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

A continuación se describe el alcance mínimo de los aspectos que debe tener en cuenta el ingeniero estructural para describir los efectos de interacción suelo-estructura

A.7.3.1 - TIPO DE MODELO - Los modelos matemáticos pueden ser estáticos o dinámicos y deben describir las características de rigidez de la estructura, la cimentación y el suelo, a niveles compatibles con las deformaciones esperadas. En los modelos estructurales utilizados en el análisis de la estructura deben introducirse condiciones de apoyo elástico de los muros, columnas y elementos del sistema de resistencia sísmica al nivel de la cimentación, consistentes con las rigideces supuestas para obtener la respuesta de la estructura teniendo en cuenta los efectos de interacción suelo-estructura.

A.7.3.2 - FUERZAS DE DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES - El modelo matemático empleado debe utilizarse en la evaluación de las características propias de la respuesta de la estructura ante las diferentes sollicitaciones. La distribución de las fuerzas internas de la estructura que se utilice en el diseño de la misma debe ser la que se obtiene a través del análisis que incluye los efectos de interacción suelo-estructura.

A.7.3.3 - DERIVAS - Las derivas obtenidas al utilizar los procedimientos de interacción suelo-estructura deben cumplir con los límites establecidos en el Capítulo A.6. En la gran mayoría de los casos deben esperarse derivas mayores que las que se obtendrían al suponer la estructura empotrada en su base.

A.7.3.4 - CORTANTE SISMICO EN LA BASE - En aquellos casos en los cuales se presente un aumento en el cortante sísmico en la base, el diseño debe realizarse para el cortante obtenido utilizando la interacción suelo-estructura. Cuando debido a un aumento en el amortiguamiento efectivo se presente una disminución del cortante sísmico de diseño en la base, el valor del cortante sísmico de diseño en la base no puede ser menor que el que se obtendría utilizando el método de la fuerza horizontal equivalente del Capítulo A.4, empleando un período de vibración igual a $1.2T$.

A.7.3.5 - VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE LOS EFECTOS DE INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA - Debido a la incertidumbre que presenta la determinación de los parámetros del suelo utilizados en el análisis de interacción suelo-estructura, deben considerarse los valores máximos y mínimos esperados de tales parámetros y utilizarse aquellos que produzcan los efectos más desfavorables, tanto en la determinación de los cortantes sísmicos, como para el cálculo de las derivas de piso y las fuerzas de diseño de los elementos de la estructura y la cimentación

■

CAPITULO A.8

EFFECTOS SISMICOS SOBRE ELEMENTOS ESTRUCTURALES QUE NO HACEN PARTE DEL SISTEMA DE RESISTENCIA SISMICA

A.8.0 - NOMENCLATURA

- A_s = coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2
- a_x = aceleración horizontal, expresada como un porcentaje de la aceleración de la gravedad, sobre el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, localizado en el piso x
- C_{vx} = coeficiente definido en A.4.3.
- F_p = fuerza horizontal sobre un elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, aplicada en su centro de masa.
- 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 estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica.
- m_x = parte de M que está colocada en el nivel x .
- R_o = 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.
- V_s = cortante sísmico en la base, para las fuerzas sísmicas. Véase A.4.3.

A.8.1 - GENERAL

A.8.1.1 - ALCANCE - El presente Capítulo cubre las previsiones sísmicas que deben tenerse en el diseño de los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica, tal como se define en el Capítulo A.3, y de sus anclajes a él. Dentro de estos elementos se incluyen, pero no están limitados a:

- (a) escaleras, rampas, etc.
- (b) tanques, piscinas, etc.
- (c) elementos de cubiertas, tales como cerchas, correas, etc.
- (d) elementos secundarios de los sistemas de entrepiso, tales como viguetas, etc.
- (e) columnas, columnetas, machones, y otros elementos que dan soporte a cubiertas y otras partes menores de la edificación.
- (f) apoyos de equipos tales como ascensores, escaleras mecánicas, etc. y
- (g) en general todos aquellos elementos estructurales que se incluyen dentro de los planos estructurales y que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica.

A.8.1.2 - RESPONSABILIDAD DEL DISEÑO - El diseño, ante las solicitaciones establecidas por el presente Reglamento en el Título A o en el Título B, de todo elemento estructural que figure dentro de los planos estructurales, es responsabilidad del diseñador estructural. Dentro de estos elementos se incluyen los elementos mencionados en A.8.1.1

A.8.1.3 - CRITERIO DE DISEÑO - El diseño ante efectos sísmicos, de los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica de los elementos estructurales en sí y de los anclajes, uniones o amarres, de estos elementos al sistema de resistencia sísmica, debe realizarse para la situación que controle de

- (a) el efecto de las fuerzas sobre el elemento en sí,
- (b) la capacidad de resistir las deformaciones, que le impone al elemento, el sistema de resistencia sísmica al responder a los movimientos sísmicos de diseño, y

la influencia que pueda tener el elemento en la respuesta sísmica de la estructura, como puede ser el caso de las escaleras y rampas, las cuales pueden actuar como arriostramientos (o diagonales) de un piso con otro.

A.8.2 - FUERZAS HORIZONTALES DE DISEÑO

A.8.2.1 - ACELERACION HORIZONTAL SOBRE EL ELEMENTO - El elemento se ve sometido, ante la ocurrencia de los movimientos sísmicos de diseño, a las mismas aceleraciones horizontales que se ve sometido el sistema de resistencia sísmica en la misma altura sobre la base de la edificación en que se encuentre el elemento.

Las fuerzas inerciales a que se ve sometido el elemento o cualquier porción de él, corresponden a la masa del elemento multiplicada por la aceleración que le imponen los movimientos causados por el sismo. Esta aceleración se determina por medio de uno de los procedimientos siguientes:

A.8.2.1.1 - Método de la fuerza horizontal equivalente - Cuando se utilice el método de la fuerza horizontal equivalente, tal como lo prescribe el Capítulo A.4, la aceleración horizontal, a_x , expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, sobre el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, localizado en el piso x , se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$a_x = \frac{C_{vx} V_x}{m_x g} \geq \frac{A_x I}{2} \quad (\text{A.8-1})$$

donde C_{vx} se obtiene por medio de la ecuación A.4-7, V_x por medio de la ecuación A.4-5, y m_x es la fracción de M que está localizada en el piso x .

A.8.2.1.2 - Método del análisis dinámico - Cuando se utilice el método del análisis dinámico, la aceleración horizontal, a_x , expresada como un porcentaje de la aceleración de la gravedad, sobre el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, localizado en el piso x , es igual a la aceleración a que se ve sometido el piso. El valor de la aceleración obtenida por medio del método del análisis dinámico no puede ser menor que el que se obtiene por medio de la Ecuación A.8-1.

A.8.2.2 - FUERZAS HORIZONTALES SOBRE EL ELEMENTO - La fuerza sísmica horizontal reducida de diseño, que puede actuar en cualquier dirección, sobre el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica en su centro de masa, se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{a_x g}{R_0} M_p \quad (\text{A.8-2})$$

donde R_0 es el coeficiente de capacidad de disipación de energía correspondiente a los requisitos de diseño del elemento estructural, como se indica en A.8.4. La anterior ecuación puede aplicarse a elementos que tienen un solo apoyo, o no hay desplazamientos relativos entre sus apoyos.

A.8.2.2.1 - Cuando el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, tiene características dinámicas que amplifiquen su respuesta ante la aceleración a_x , estas características deben tenerse en cuenta en la evaluación de las fuerzas horizontales que lo puedan afectar. Esto ocurre especialmente en apéndices de la edificación.

A.8.2.2.2 - Cuando el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, tienen apoyos que pueden desplazarse relativamente durante el sismo, como es el caso de elementos que están conectados a dos pisos diferentes de la edificación; deben tenerse en cuenta en el diseño, además de las fuerzas calculadas por medio de la ecuación A.8-2, las fuerzas que inducen los desplazamientos relativos entre sus apoyos.

A.8.2.3 - FUERZAS SOBRE LAS UNIONES AL SISTEMA DE RESISTENCIA SÍSMICA - Además de los requisitos de A.3.6.4, las uniones, empalmes y amarres, de los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica a este, deben ser capaces de resistir la totalidad de las fuerzas sísmicas reducidas de diseño sobre el elemento tal como las define A.8.2.2.

A.8.3 - DEFORMACIONES DE DISEÑO

A.8.3.1 - Los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica deben ser capaces de resistir, sin deterioro, las deformaciones que les impone la respuesta sísmica de la estructura. Como mínimo deben ser capaces de resistir las deformaciones que se obtienen de las derivas máximas de diseño determinadas como se indica en el Capítulo A.6.

A.8.4 - REQUISITOS DE DISEÑO

A.8.4.1 - Los requisitos que deben seguirse en el diseño de los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica para cada uno de los materiales cubiertos por el Reglamento, deben ser los que se indiquen en cada uno de los Títulos correspondientes dentro del Reglamento, y en su defecto, los del nivel de capacidad de disipación de energía menor de los dados para cada material. ■

CAPITULO A.9 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

A.9.0 - NOMENCLATURA

- A_s = coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2.
 a_p = coeficiente de amplificación dinámica del elemento no estructural. Se da en las tablas A.9-2 y A.9-3.
 a_x = aceleración horizontal, expresada como un porcentaje de la aceleración de la gravedad, sobre el elemento no estructural, localizado en el piso x .
 $C_{v,x}$ = coeficiente definido en A.4.3.
 E = fuerzas sísmicas reducidas de diseño ($E = F_p / R$)
 F_p = fuerza sísmica horizontal sobre el elemento no estructural, aplicada en su centro de masa.
 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 del elemento no estructural.
 m_x = parte de M que está colocada en el nivel x .
 R_p = coeficiente de capacidad de disipación de energía del elemento no estructural y sus sistema de soporte. Se da en las tablas A.9-2 y A.9-3.
 V_s = cortante sísmico en la base, para las fuerzas sísmicas. Véase A.4.3.

A.9.1 - GENERAL

A.9.1.1 - PROPOSITO - Los requisitos del presente Capítulo tienen como objetivo establecer los criterios de diseño de elementos que no hacen parte de la estructura de la construcción, con el fin de que se cumpla el propósito del Reglamento.

A.9.1.2 - ALCANCE - El presente Capítulo cubre las provisiones sísmicas que deben tenerse en el diseño de los elementos no estructurales y de sus anclajes a la estructura, con la excepción de lo indicado en A.9.1.3. Dentro de los elementos no estructurales que deben ser diseñados sísmicamente se incluyen.

- (a) acabados y elementos arquitectónicos y decorativos,
- (b) instalaciones hidráulicas y sanitarias,
- (c) instalaciones eléctricas,
- (d) instalaciones de gas,
- (e) equipos mecánicos, e
- (f) instalaciones especiales

A.9.1.3 - EXCENCIONES - Están exentas de los requisitos del presente Capítulo todas las edificaciones pertenecientes a los grupos de uso I y II localizadas en zonas de amenaza sísmica baja

A.9.2 - GRADO DE DESEMPEÑO DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

A.9.2.1 - DEFINICION DEL DESEMPEÑO - Se denomina desempeño el comportamiento de los elementos no estructurales de la edificación ante la ocurrencia de un sismo que la afecte. El desempeño se clasifica en los siguientes grados

- (a) *Superior* - Es aquel en el cual el daño que se presenta en los elementos no estructurales es mínimo y no interfiere con la operación de la edificación debido a la ocurrencia de un sismo

(b) **Bueno** - Es aquel en el cual el daño que se presenta en los elementos no estructurales es totalmente reparable y puede haber alguna interferencia con la operación de la edificación con posterioridad a la ocurrencia del sismo.

(c) **Bajo** - Es aquel en el cual se presentan daños graves en los elementos no estructurales, inclusive no reparables.

A.9.2.2 - CLASIFICACION EN UNO DE LOS GRADOS DE DESEMPEÑO - La edificación debe clasificarse dentro de uno de los tres grados de desempeño de los elementos no estructurales definidos en A.9.2.1. Este grado de desempeño no puede ser inferior al mínimo permisible fijado en A.9.2.3. El propietario de la edificación, de manera voluntaria, puede exigir que los diseños se realicen para un grado de desempeño mejor que el mínimo exigido, comunicándolo por escrito a los diseñadores. En ausencia de esta comunicación, los diseñadores solo están obligados a cumplir con el grado mínimo permisible fijado en A.9.2.3.

A.9.2.3 - GRADO DE DESEMPEÑO MINIMO - Como mínimo debe cumplirse el grado de desempeño indicado en la tabla A.9-1, para cada uno de los grupos de uso definidos en A.2.5.1.

Tabla A.9-1
Grado de desempeño mínimo requerido

Grupo de Uso	Grado de desempeño
IV	Superior
III	Bueno
II	Bueno
I	Bajo

A.9.3 - RESPONSABILIDADES

A.9.3.1 – DEL DISEÑADOR RESPONSABLE - La responsabilidad del diseño sísmico de los elementos no estructurales recae en los profesionales bajo cuya dirección se elaboran los diferentes diseños particulares. Se presume que el hecho de que un elemento no estructural figure en un plano o memoria de diseño, es porque se han tomado todas las medidas necesarias para cumplir el grado de desempeño apropiado y por lo tanto el profesional que firma o rotula el plano se hace responsable de que el diseño se realizó para el grado de desempeño apropiado.

A.9.3.1.1 - En aquellos casos en los cuales en los diseños se especifican elementos no estructurales cuyo suministro e instalación se realiza por parte de su fabricante, el diseñador se debe limitar a especificar en sus planos, memorias o especificaciones, el grado de desempeño que deben cumplir los elementos

A.9.3.2 – DEL SUPERVISOR TECNICO – El supervisor técnico debe verificar que la construcción e instalación de los elementos no estructurales se realice siguiendo los planos y especificaciones correspondientes. En aquellos casos en los cuales en los documentos de diseño (planos, memorias y especificaciones) sólo se indica el grado de desempeño requerido, es responsabilidad del supervisor técnico el verificar que los elementos no estructurales que se instalen en la edificación, efectivamente estén en capacidad de cumplir el grado de desempeño especificado por el diseñador.

A.9.3.3 - COORDINACION ENTRE DISEÑOS DE ELEMENTOS QUE HACEN PARTE DE DIFERENTES SISTEMAS - La responsabilidad de la coordinación entre los diferentes diseños recae en el profesional que figura como diseñador arquitectónico en la solicitud de licencia de construcción. El profesional que realice la coordinación debe tomar todas las precauciones necesarias para que el diseño resultante de cada uno de los elementos no estructurales, realizado por profesionales diferentes a él, no afecte el desempeño de elementos diseñados por otros profesionales

A.9.4 - CRITERIO DE DISEÑO

A.9.4.1 - GENERAL - El diseñador de los elementos no estructurales puede adoptar una de dos estrategias en el diseño:

(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 afecte adversamente. Los elementos no estructurales se apoyan en

su parte inferior sobre la estructura, o se cuelgan de ella; 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. Además la separación de la estructura de la edificación debe ser lo suficientemente amplia para garantizar que no entren en contacto, para los desplazamientos impuestos por el sismo de diseño.

- (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.

A.9.4.2 - FUERZAS SÍSMICAS DE DISEÑO - Las fuerzas sísmicas horizontales reducidas de diseño que actúan sobre cualquier elemento no estructural deben calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{a_x a_p}{R_p} g M_p \geq \frac{A_2 I}{2} g M_p \quad (\text{A.9-1})$$

Los parámetros que intervienen en esta ecuación, diferentes a la masa del elemento, M_p , se definen de la siguiente manera:

A.9.4.2.1 - Aceleración en el punto de soporte del elemento - a_x - Corresponde a la aceleración horizontal que ocurre en el punto donde el elemento no estructural está soportado, o anclado, al sistema estructural de la edificación, cuando ésta se ve afectada por los movimientos sísmicos de diseño. Esta aceleración depende de las características dinámicas del sistema de resistencia sísmica de la edificación y de la localización del elemento dentro de ella. Debe evaluarse por medio de un análisis dinámico de la estructura que tenga en cuenta su capacidad de disipación de energía en el rango inelástico, o bien por medio de la siguiente ecuación compatible con las fuerzas sísmicas que se obtienen por medio del método de fuerza horizontal equivalente tal como se presenta en el Capítulo A 4 del Reglamento:

$$a_x = \frac{C_{vx} V_s}{m_x g} \leq 2 S_x \quad (\text{A.9-2})$$

pero a_x no puede ser menor que $A_2 I / 2$. En la ecuación anterior, C_{vx} se obtiene por medio de la ecuación A.4-7, V_s por medio de la ecuación A.4-5, m_x es la fracción de la masa total de la edificación, M , que está localizada en el piso x , y el valor de S_x se define para el período fundamental de la edificación, calculado de acuerdo con los requisitos del Capítulo A 4. El valor de S_x se debe calcular para las dos direcciones principales en planta de la estructura, y se debe emplear el valor que conduzca al mayor valor de S_x .

A.9.4.2.2 – Amplificación dinámica del elemento no estructural - a_p - Dependiendo de la rigidez, distribución de su masa y características de apoyo sobre la estructura, el elemento no estructural amplifica las aceleraciones que se presentan en su punto de soporte debido a efectos de resonancia. Estos efectos de resonancia dependen de la relación que exista entre el período fundamental de la estructura y el del elemento no estructural, incluyendo la acción de sus soportes. Cuando el elemento no estructural es rígido, su masa se encuentra localizada cerca del punto de apoyo y esta firmemente anclado a la estructura, su amplificación dinámica es menor, esto se presenta en elementos no estructurales con períodos de vibración del orden de 0.06 s o menos. Cuando el elemento no estructural es flexible, o su masa se encuentra distribuida en la altura, o concentrada lejos del punto de soporte, o sus apoyos permiten desplazamientos apreciables, las aceleraciones a que se ve sometido se amplifican apreciablemente con respecto a las aceleraciones que se presentan en su punto de soporte. Esta amplificación, a_p , debe determinarse por medio de análisis dinámicos detallados o ensayos dinámicos experimentales. En ausencia de estos, pueden emplearse los valores aproximados dados en las tablas A.9-1 y A.9-2, donde los valores de a_p varían entre 1.0 y 2.5.

A.9.4.2.3 – Capacidad de disipación de energía en el rango inelástico del elemento no estructural - R_p - Este coeficiente representa, en conjunto, la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico de respuesta del elemento en sí y de su sistema de anclaje o amarre a la estructura de la edificación. Un valor de R_p bajo, cercano a la unidad, indica fragilidad, poca capacidad de disipación de energía, y anclajes o amarres a la estructura con poca capacidad de deformarse inelásticamente. En la medida que se atienden estos grados

potenciales de comportamiento deficiente es posible incrementar los valores de R_p . En las tablas A.9-2 y A.9-3, se dan los valores de R_p , mínimos permitidos para cada grado de desempeño, los cuales varían entre 0.5 y 6.0.

A.9.4.3 - CAPACIDAD DE DEFORMACION – Los elementos no estructurales al verse sometidos a los movimientos sísmicos de diseño sufren desplazamientos con respecto a la estructura de la edificación que no deben exceder las holguras de separación que se dejen, o deformaciones del mismo elemento que pongan en peligro su integridad. Los desplazamientos de verificación de los elementos no estructurales y sus anclajes o amarres se fijan en función de las derivadas máximas aceptables para la estructura que se prescriben en el Capítulo A.6 del Reglamento. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta en el diseño que el elemento debe ser capaz de resistir, sin sufrir un nivel de daño mayor que el admisible para su grado de desempeño, las deformaciones que le impone la respuesta sísmica de la estructura.

A.9.4.4 - APLICACIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS - Las fuerzas sísmicas sobre cualquier elemento no estructural actúan de acuerdo con la distribución de la masa y la rigidez del elemento. Se permite suponer que se aplican en el centro de gravedad del elemento, teniendo en cuenta que éstas pueden obrar en cualquier dirección horizontal. Para efectos del diseño de los elementos mecánicos y eléctricos, debe tenerse en cuenta en el diseño una fuerza vertical que actúa hacia arriba o hacia abajo, adicional a su peso, igual a un tercio de él.

A.9.4.5 - TRANSFERENCIA DE LAS FUERZAS SÍSMICAS - Los elementos no estructurales que requieran ser diseñados para resistir fuerzas sísmicas, deben amarrarse o anclarse de tal manera que éstas fuerzas sean finalmente transferidas a la estructura de la edificación. El amarre debe ser una conexión o anclaje que permita resistir tensiones y compresiones, sin contar con efectos de fricción, ni de resistencia a la tensión de morteros de pega.

A.9.4.6 – OTRAS SOLICITACIONES – El diseñador de los elementos no estructurales debe tener en cuenta en sus diseños las demás solicitaciones que puedan afectar el comportamiento de los elementos no estructurales, de las mencionadas en el Título B del Reglamento.

A.9.4.7 - DISEÑO UTILIZANDO EL METODO DE ESFUERZOS DE TRABAJO - Cuando el material del elemento no estructural se diseña utilizando el método de esfuerzos de trabajo, tal como lo define B.2.3, las fuerzas sísmicas reducidas de diseño, E , que se determinan de acuerdo con los requisitos del presente Capítulo, debe multiplicarse por un coeficiente de carga de 0.7, tal como lo indican las combinaciones de carga de B.2.3 para obtener las fuerzas sísmicas reducidas de diseño, al nivel de esfuerzos de trabajo, que se utilizan en el diseño de los elementos y sus anclajes.

A.9.4.8 – ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES LOCALIZADOS EN LA BASE DE LA ESTRUCTURA Y POR DEBAJO DE ELLA, O FUERA DE ELLA – Los elementos no estructurales, localizados a la altura, o por debajo, de la base de la estructura, o por fuera de ella, deben diseñarse para unas fuerzas sísmicas reducidas de diseño determinadas de acuerdo con la ecuación A.9-1, para una aceleración a_i igual a $A_s I$.

A.9.4.9 – TIPOS DE ANCLAJE SEGUN EL VALOR DE R_p , PERMITIDO PARA EL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL – Los sistemas de anclaje de los elementos no estructurales deben tener capacidad de disipación de energía en el rango inelástico y ductilidad compatible con el nivel mínimo de R_p requerido para el elemento no estructural. A continuación se indican algunos de los tipos de anclaje empleados en el medio y su grado de aceptabilidad para los diferentes valores de R_p :

A.9.4.9.1 - Especiales ($R_p = 6$) – Se trata de anclajes diseñados siguiendo los requisitos del Título F para estructuras acero estructural para capacidad de disipación especial (DES). Deben cumplirse todos los requisitos dados allí para permitir este valor de R_p .

A.9.4.9.2 - Dúctiles ($R_p = 3$) – Cuando el anclaje se realiza por medio de anclajes profundos que emplean químicos (epóxicos), anclajes profundos vaciados en el sitio, o anclajes vaciados en el sitio que cumplen los requisitos del Capítulo C.21. No se permiten los pernos de expansión ni anclajes colocados por medios explosivos (tiros). Anclajes profundos son aquellos en los cuales la relación entre la porción embebida al diámetro del perno es mayor de 8. Este tipo de anclajes debe emplearse cuando el elemento no estructural es dúctil.

A.9.4.9.3 – No dúctiles ($R_p = 1.5$) – Cuando el anclaje se realiza por medio de pernos de expansión, anclajes superficiales que emplean químicos (epóxicos), anclajes superficiales vaciados en el sitio, o anclajes colocados por medio explosivos (tiros). Anclajes superficiales son aquellos en los cuales la relación entre la porción embebida al diámetro del perno es menor de 8. Dentro de este tipo de anclajes se encuentran las barras de acero de refuerzo con ganchos en los extremos que se embeben dentro del mortero de pega de la

mampostería. Este tipo de anclajes se permiten cuando el elemento no estructural no es dúctil. Si se utilizan en elementos no estructurales dúctiles, éstos deben diseñarse para el mismo valor de $R_p = 1.5$.

A.9.4.9.4 - Húmedos ($R_p = 0.5$) – Cuando se utiliza mortero, o adhesivos que pegan directamente al mortero o al concreto, sin ningún tipo de anclaje mecánico resistente a tracción.

A.9.4.10 – ELEMENTOS DE CONEXION PARA COMPONENTES NO ESTRUCTURALES – El elemento de conexión es el aditamento que conecta el elemento no estructural con los anclajes a la estructura. En algunos casos es el mismo elemento de anclaje. Las conexiones que permiten movimiento deben disponerse de tal manera que pueda haber movimiento relativo entre la estructura y el elemento no estructural, por medio de agujeros alargados, agujeros de un tamaño mayor que los espigos o tornillos, por medio de elemento de acero que se flexionan, u otros procedimientos, pero debe ser capaz de resistir las fuerzas sísmicas reducidas de diseño prescritas en las direcciones en las cuales no se permite el movimiento. En fachadas el elemento de conexión en sí, debe diseñarse para resistir una fuerza sísmica reducida de diseño igual a $1.33 F_p$ y todos los pernos, tornillos, soldaduras, y espigos que pertenezcan al sistema de conexión, deben diseñarse para $3.0 F_p$.

A.9.5 - ACABADOS Y ELEMENTOS ARQUITECTONICOS

A.9.5.1 - GENERAL - Los acabados y elementos arquitectónicos enumerados en la tabla A.9-2 y sus anclajes a la estructura deben diseñarse y detallarse de acuerdo con los requisitos de esta sección. Los cálculos y diseños de los elementos arquitectónicos y acabados deben incluirse como parte de las memorias de diseño de acabados.

A.9.5.2 - ELEMENTOS QUE REQUIEREN ESPECIAL CUIDADO EN SU DISEÑO - El comportamiento sísmico de algunos elementos no estructurales representan un peligro especialmente grave para la vida y en otros casos pueden llevar a la falla de elementos estructurales críticos, como pueden ser las columnas. Dentro de estos elementos se encuentran, entre otros, los siguientes:

- (a) **Muros de fachada** - las fachadas deben diseñarse y construirse para que sus componentes no se disgreguen como consecuencia del sismo, y además el conjunto amarrase adecuadamente a la estructura con el fin de que no exista posibilidad de que caigan poniendo en peligro a los transeúntes al nivel de calzada.
- (b) **Muros interiores** - deben tenerse precauciones para evitar el vuelco de los muros interiores y particiones.
- (c) **Cielos rasos** - el desprendimiento y caída de los cielos rasos representa un peligro grave para las personas.
- (d) **Enchapes de fachada** - el desprendimiento y caída de los enchapes de fachada representa un peligro grave para los transeúntes.
- (e) **Aticos, parapetos y antepechos** - existe el mismo peligro potencial que presentan los muros de fachada. Cuando la cubierta de la edificación esté compuesta por tejas o elementos frágiles debe considerarse en el diseño la posibilidad de que el parapeto falle hacia adentro, cayendo sobre la cubierta, produciendo su falla y poniendo en peligro a los habitantes del último piso.
- (f) **Vidrios** - la rotura de vidrios generada por la deformación del marco de la ventana representa un peligro para las personas que estén dentro o fuera de la edificación. Deben tenerse precauciones para dejar holguras suficientes dentro del montaje del vidrio o de la ventanería para evitar su rotura. La colocación de películas protectoras, vidrios templados y vidrios triplados son otras alternativas para evitar el peligro asociado con la rotura del vidrio.
- (g) **Paneles prefabricados de fachada** - cuando se utilicen paneles prefabricados de fachada, deben dejarse holguras suficientes que permitan la deformación de la estructura sin afectar el panel. Además el panel debe estar adecuadamente adherido al sistema estructural de resistencia sísmica, para evitar su desprendimiento.
- (h) **Columnas cortas o columnas cautivas** - ciertos tipos de interacción entre los elementos no estructurales y la estructura de la edificación deben evitarse a toda costa. Dentro de este tipo de interacción se encuentra el caso de las "columnas cortas" o "columnas cautivas" en las cuales la columna está restringida en su desplazamiento lateral por un muro no estructural que no llega hasta la losa de entrepiso en su parte superior. En este caso el muro debe separarse de la columna, o ser llevado hasta la losa de entrepiso en su parte superior, si se deja adhiriendo a la columna.

A.9.5.3 - FUERZAS SISMICAS DE DISEÑO - Los elementos arquitectónicos y acabados y sus anclajes a la estructura deben diseñarse para resistir las fuerzas sísmicas reducidas de diseño determinadas por medio de la ecuación A.9-1, empleando los coeficientes dados en la tabla A.9-2.

TABLA A.9-2
Coefficiente de amplificación dinámica, a_p , y coeficiente de capacidad de disipación de energía mínimo requerido, R_p , para elementos arquitectónicos y acabados

Elemento no estructural	a_p	Coeficiente de capacidad de disipación de energía, R_p , mínimo requerido		
		Grado de desempeño		
		Superior	Bueno	Bajo
Fachadas				
• paneles prefabricados apoyados arriba y abajo	1.0	3.0	1.5	1.5
• en vidrio apoyadas arriba y abajo	1.0	3.0	1.5	1.5
• lámina en yeso, con costillas de acero	1.0	1.5	1.5	1.5
• mampostería reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas arriba y abajo	1.0	3.0	1.5	1.5
• mampostería reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas solo abajo	2.5	3.0	1.5	1.5
• mampostería no reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas arriba y abajo	1.0	No permitido	No permitido	1.5 ⁽¹⁾
• mampostería no reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas solo abajo	2.5	No permitido	No permitido	1.5 ⁽¹⁾
• mampostería no reforzada, confinada por la estructura	1.0	No permitido	No permitido	1.5 ⁽²⁾
Muros que encierran puntos fijos y ductos de escaleras, ascensores, y otros	1.0	3.0	1.5	0.5 ⁽¹⁾
Muros divisorios y particiones				
• corredores en áreas públicas	1.0	3.0	1.5	0.5 ⁽¹⁾
• muros divisorios de altura total	1.0	1.5	1.5	0.5 ⁽¹⁾
• muros divisorios de altura parcial	2.5	1.5	1.5	0.5 ⁽¹⁾
Elementos en voladizo vertical				
• áticos, parapetos y chimeneas	2.5	3.0	1.5	1.5
Anclaje de enchapes de fachada	1.0	3.0	1.5	0.5
Altillos	1.5	3.0	1.5	1.5
Cielos rasos	1.0	1.5	1.5	No requerido
Anaqueles, estanterías y bibliotecas de más de 2.50 m de altura, incluyendo el contenido				
• Diseñadas de acuerdo al Título F	2.5	6.0	3.0	No requerido
• Otras	2.5	3.0	1.5	No requerido
Tejas	1.0			

Notas:

1. Debe verificarse que el muro no pierde su integridad al ser sometido a las derivas máximas calculadas para la estructura
2. Además de (1) debe verificarse que no interactúa adversamente con la estructura.

A.9.5.4 - FUERZAS DE VIENTO - Cuando las fuerzas de viento, positivas o negativas, sobrepasen $0.7F_p$ para muros no estructurales de fachada, estas fuerzas deben ser las empleadas en diseño del elemento no estructural, y sus anclajes deben diseñarse para resistir 1.4 veces las fuerzas de viento

A.9.5.5 - ANCLAJE DE LAS FACHADAS - Los anclajes y amarres de los muros no estructurales de fachada, a la estructura de la edificación y a los muros interiores, deben ser capaces de resistir las fuerzas sísmicas reducidas de diseño obtenidas por medio de la ecuación A.9-1 y además deben tener la suficiente ductilidad y capacidad de rotación para aceptar desplazamientos, en cada piso, entre su base y la parte superior, iguales a la deriva de diseño, calculada de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.6. El muro debe ser capaz de resistir la flexión que le imponen las fuerzas sísmicas reducidas de diseño actuando en una dirección perpendicular al plano del muro

A.9.5.6 - CAPACIDAD DE DEFORMACION - Los acabados y elementos arquitectónicos deben ser capaces de resistir, con el nivel de daño aceptable para el grado de desempeño correspondiente, las deformaciones dictadas por la deriva, calculada de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.6. En los elementos no estructurales y acabados colocados sobre elementos estructurales en voladizo debe tenerse en cuenta la deflexión vertical causada por la rotación en el apoyo del voladizo.

A.9.5.7 - FUERZAS SÍSMICAS EN LA DIRECCION PERPENDICULAR AL PLANO DEL MURO NO ESTRUCTURAL - En el diseño de los muros no estructurales ante fuerzas sísmicas perpendiculares al plano del muro debe verificarse que las deflexiones del muro causadas por estas fuerzas no excedan la capacidad de deformación del muro

A.9.5.8 - CIELOS RASOS - Deben tenerse en cuenta en el diseño de los sistemas de cielo raso la interacción de los elementos arquitectónicos, hidráulicos, mecánicos y eléctricos que se incorporen dentro de él.

A.9.6 - INSTALACIONES HIDRAULICAS, SANITARIAS, MECANICAS Y ELECTRICAS

A.9.6.1 - GENERAL - Los elementos no estructurales enumerados en la tabla A.9-3 y sus anclajes a la estructura deben diseñarse y detallarse de acuerdo con los requisitos de esta sección. Los cálculos y diseños de los elementos de instalaciones hidráulicas, sanitarias, mecánicas y eléctricas deben incluirse como parte de las memorias de diseño de cada uno de los sistemas. Puede hacerse un análisis del mecanismo de soporte de un componentes, de acuerdo con principios establecidos de dinámica estructural, para justificar una reducción de las fuerzas determinadas en A.9.6.2. Deben investigarse los estados de esfuerzos combinados tales como tensión y cortante en los pernos de anclaje, de acuerdo con principios establecidos de mecánica estructural

A.9.6.2 - FUERZAS SISMICAS DE DISEÑO - Los componentes hidráulicos, mecánicos y eléctricos y sus anclajes deben diseñarse para fuerzas sísmicas reducidas de diseño determinadas por medio de la ecuación A.9-1, empleando los coeficientes dados en la tabla A.9-3.

A.9.6.3 - SOPORTES - Los sistemas de soporte deben diseñarse para las fuerzas sísmicas reducidas de diseño definidas en A.9.6.2 y de acuerdo con los requisitos correspondientes del material estructural del soporte, de acuerdo con lo establecido en el Título correspondiente al material estructural. Los soportes deben ser capaces de resistir los desplazamientos de la estructura inducidos por los movimientos sísmicos, calculados de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.6.

A.9.6.4 - EMPATES CON LAS REDES DE SERVICIOS PUBLICOS - Deben disponerse conexiones flexibles en los empates con las redes de servicios públicos en todos los casos en los cuales el empate está localizado en un lugar donde la estructura se puede desplazar con respecto al terreno como consecuencia de los movimientos sísmicos. El empate flexible debe ser capaz de resistir, sin daño, unos desplazamientos calculados como lo indica el Capítulo A.6.

A.9.6.5 - INTERRUPTORES AUTOMATICOS - En los empates con las redes de servicios públicos de electricidad y de gas, en edificaciones que pertenezcan al grupo de uso IV, localizadas en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, debe colocarse, del lado de la edificación, un interruptor automático. El interruptor automático debe activarse cuando se presente una aceleración horizontal del terreno mayor que $0.5 A_s$.

A.9.6.6 - ASCENSORES EN EDIFICACIONES DEL GRUPO DE USO IV - En las edificaciones del grupo de uso IV localizadas en zonas de amenaza sísmica alta, el diseño, construcción y montaje de los ascensores debe realizarse cumpliendo los requisitos de la norma ANSI/ASME A 17.1 "American National Standard Safety Code for Elevators and Escalators", incluyendo el Apéndice F

TABLA A.9-3
Coefficiente de amplificación dinámica, a_p , y coeficiente de capacidad de disipación de energía mínimo requerido, R_p , para elementos hidráulicos, mecánicos o eléctricos^a

Elemento no estructural	a_p b	Coeficiente de capacidad de disipación de energía, R_p , mínimo requerido		
		Grado de desempeño		
		Superior	Bueno	Bajo
Sistemas de protección contra el fuego	2.5	3.0	1.5	1.5
Plantas eléctricas de emergencia	1.0	1.5	1.5	No requerido
Maquinaria de ascensores, guías y rieles del ascensor y el contrapeso	1.0	3.0	1.5	No requerido
Equipo en general <ul style="list-style-type: none"> • Calderas, hornos, incineradores, calentadores de agua y otros equipos que utilicen combustibles, y sus chimeneas y escapes. • Sistemas de comunicación • Ductos eléctricos, cárcamos y bandejas de cables^c • Equipo eléctrico, transformadores, subestaciones, motores, etc. • Bombas hidráulicas • Tanques, condensadores, intercambiadores de calor, equipos de presión • Empates con las redes de servicios públicos 	1.0	3.0	1.5	No requerido
Maquinaria de producción industrial	1.0	3.0	1.5	0.5
Sistemas de tuberías <ul style="list-style-type: none"> • Tuberías de gases y combustibles • Tuberías del sistema contra incendio • Otros sistemas de tuberías^d 	2.5 2.5 2.5	3.0 3.0 1.5	1.5 1.5 No requerido	1.5 1.5 No requerido
Sistemas de aire acondicionado, calefacción y ventilación, y sus ductos ^e	1.0	3.0	1.5	No requerido
Paneles de control y gabinetes eléctricos		1.5	1.5	No requerido
Luminarias y sistemas de iluminación ^f	1.0	1.5	1.5	No requerido

Notas:

- a Véase las exenciones en A 9 1.3.
- b. Los valores de a_p dados son para la componente horizontal. Para la componente vertical deben incrementarse en un 33%
- c No hay necesidad de disponer soportes sísmicos para las bandejas de cables eléctricos en las siguientes situaciones: (1) Ductos y bandejas de cables colgados de soportes individuales que tienen 300 mm o menos de longitud (2) En espacios para equipos mecánicos y calderas, donde el ducto tiene menos de 30 mm de diámetro interior. (3) Cualquier ducto eléctrico de menos de 65 mm de diámetro interior, localizado en otros espacios.
- d. No hay necesidad de disponer soportes sísmicos para las tuberías en las siguientes situaciones: (1) Tuberías colgadas de soportes individuales que tienen 300 mm o menos de longitud. (2) En espacios para equipos mecánicos y calderas, donde la tubería tiene menos de 30 mm de diámetro interior (3) Cualquier tubería de menos de 65 mm de diámetro interior, localizado en otros espacios
- e. No hay necesidad de disponer soportes sísmicos para los ductos de calefacción, ventilación y aire acondicionado en las siguientes situaciones. (1) Ductos colgados de soportes individuales que tienen 300 mm o menos de longitud. (2) Ductos que tienen una sección con un área menor de 0.60 m².
- f. Las luminarias dispuestas como péndulos deben diseñarse utilizando un valor de a_p igual a 1.5. El soporte vertical debe diseñarse con un factor de seguridad igual a 4.0.