UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO PARA SISTEMAS Y COMPONENTES NO ESTRUCTURALES DEL CAPÍTULO 14 DEL CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2002

INFORME DE TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA CIVIL

PREPARADO POR

ANDREA RAMÍREZ VILLALBA

MAYO 2009

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO PARA SISTEMAS Y COMPONENTES NO ESTRUCTURALES DEL CAPÍTULO 14 DEL CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2002

MIEMBROS DEL COMITÉ ASESOR

Ing. Roy Acuña Prado
Director

Ing. Carlos Fernández B
Asesor

Ing. Guillermo Santana, Ph.D.
Asesor

Ramírez Villalba, Andrea

Evaluación de los parámetros de diseño para sistemas y componentes no estructurales del capítulo 14 del Código Sísmico de Costa Rica 2002

Proyecto de graduación – Ingeniería Civil – San José, Costa Rica.

A. Ramírez V., 2009

RESUMEN DEL DIRECTOR

El capítulo 14 del Código Sísmico de Costa Rica 2002 plantea una metodología para el cálculo de la fuerza sísmica de diseño para los sistemas y componentes no estructurales. Esta es una metodología simplificada y, como tal, debe proveer valores conservadores para cubrir diversas condiciones de la estructura, del tipo de sito, de las propiedades del sistema o componente no estructural, del anclaje y de la ubicación dentro de la estructura.

Este proyecto de investigación hace un análisis cualitativo y cuantitativo entre la metodología simplificada propuesta en el capítulo 14 del CSCR 2002, las metodologías simplificadas propuestas en los códigos CSCR 1974, CSCR 1986, UBC 1997, BLUE BOOK 1999, IBC 2000, ASCE 7 2002, ASCE 7 2005, IBC 2006 y EURO CODE 1998, y la metodología del análisis estático propuesto en el CSCR 2002.

Mediante esta comparación se pretenden identificar los posibles aspectos a modificar de la metodología planteada en el capítulo 14 del CSCR 2002 para tomarlos en consideración en la próxima actualización de este código.

Se analizan los parámetros que afectan el cálculo de las fuerzas de diseño de los sistemas y componentes no estructurales: aceleración del terreno, factor de amplificación dinámica, factor de modificación de la respuesta, factor de importancia y variación en función de la altura

Roy Acuña Prado

DEDICATORIA

A mi mamá, que con su amor, esfuerzo, apoyo y ejemplo de superación me ha impulsado a realizar las metas que me he propuesto en la vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ing. Roy Acuña Prado, por su enseñanza y guía en la elaboración de esta investigación, y por la formación académica y profesional que me ha brindado. Extiendo el agradecimiento al Ing. Carlos Fernández y al Ing. Guillermo Santana cuyas explicaciones, comentarios y motivaciones fueron un gran aporte para este trabajo.

A mi mamá y hermanos por la confianza, amor y apoyo incondicional que me han dado a lo largo de mi vida. A mi abuelita, a mis sobrinos y demás miembros de mi familia por toda su comprensión, apoyo y cariño a lo largo de mi carrera.

A mis amigos y compañeros por su confianza y motivación. Por todos los gratos momentos que pasamos en la universidad y demás etapas de la vida.

A Walter por su comprensión, cariño y colaboración.

Gracias a Dios por la vida y las bendiciones que en ella me ha dado.

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS 10

ÍNDICE DE FIGURAS 11

1. INTRODUCCIÓN 12

1.1. PROBLEMA ESPECÍFICO 13

1.2. IMPORTANCIA 13

1.3. ANTECEDENTES 14

1.4. OBJETIVOS 15

1.4.1. OBJETIVO GENERAL 15

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES 16

1.5.1. ALCANCES 16

1.5.2. LIMITACIONES 16

2. MARCO TEÓRICO 17

2.1. SISTEMAS Y COMPONENTES NO ESTRUCTURALES 18

2.1.1. SISTEMAS Y COMPONENTES ARQUITECTÓNICOS 24

2.1.2. SISTEMAS Y COMPONENTES DE EQUIPAMIENTO Y MOBILIARIO 24

2.1.3. SISTEMAS Y COMPONENTES DE INSTALACIONES BÁSICAS 26

2.2. PROBLEMÁTICA DE LOS SISTEMAS Y COMPONENTES NO ESTRUCTURALES 26

2.2.1. ASPECTOS A EVALUAR SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA O COMPONENTE 27

2.2.2. TIPOS DE RIESGO 27

3. ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2002 30

3.1. CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2002 (SECCIÓN 14) 31

3.2. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SISTEMA O COMPONENTE X_P 35

3.3. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE MODIFICACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA O COMPONENTE R_P 37

3.4. DETERMINACIÓN DE LA ACELERACIÓN PICO EFECTIVA A_{EF} 39

3.4.1. ZONIFICACIÓN SÍSMICA 42

3.4.2. TIPO DE SITIO 45

3.5. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE IMPORTANCIA DEL SISTEMA O COMPONENTE 45

3.6. OMISIONES DE LA METODOLOGÍA DEL CAPÍTULO 14 DEL CSCR 2002 47

4. ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN OTROS CÓDIGOS 48

4.1. CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 1974 (SECCIÓN 11.4) 49

4.1.1. INTRODUCCIÓN 49

4.1.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE F_p 49

4.1.3. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO 50

4.2. CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 1986 (SECCIÓN 2.10) 52

4.2.1. INTRODUCCIÓN 52

4.2.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA 52

4.2.3. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO 55

4.3. UNIFORM BUILDING CODE - UBC 1997 (SECCIÓN 1632.2) 58

4.3.1. INTRODUCCIÓN 58

4.3.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA 58

4.3.3. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO 59

4.4. INTERNATIONAL BUILDING CODE - IBC 2000 (SECCIÓN 1621.1.4) 64

4.4.1. INTRODUCCIÓN 64

4.4.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA 64

4.4.3. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO 70

4.5. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - SEI/ASCE 7 2002 (SECCIÓN 9.6.1.3) 75

4.5.1. INTRODUCCIÓN 75

4.5.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA 75

4.5.3. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO 83

4.6. INTERNATIONAL BUILDING CODE - IBC 2006 (SECCIÓN 1613) 87

4.7. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - SEI/ASCE 7 2005 (SECCIÓN 13.3) 88

4.7.1. INTRODUCCIÓN 88

4.7.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA 88

4.7.3. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO 96

4.8. EURO CÓDIGO 1998 (SECCIÓN 4.3.5) 100

4.8.1. INTRODUCCIÓN 100

4.8.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA 100

5. COMPARACIÓN CUALITATIVA DE METODOLOGÍAS 103

5.1. CUADROS COMPARATIVOS DE CÓDIGOS 104

5.2. COMPARACIÓN CUALITATIVA CSCR 2002 Y ASCE 7 2005 109

5.2.1. H_X VRS ACELERACIÓN 109

5.2.2. F_P VRS ACELERACIÓN 112

5.2.3. FACTORES X_P Y R_P 114

6. COMPARACIÓN CUANTITATIVA DE METODOLOGÍAS 116

6.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO 118

6.1.1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO 118

6.1.2. DATOS DE ANÁLISIS POR EL MÉTODO ESTÁTICO 119

6.1.3. DATOS DE ANÁLISIS POR EL MÉTODO DINÁMICO 126

6.2. CÁLCULO DE LA FUERZA SÍSMICA LATERAL SOBRE SISTEMAS O COMPONENTES NO ESTRUCTURALES CONFORME UN MODELO Y CÓDIGOS INTERNACIONALES 129

6.2.1. CASO 1: EQUIPO DE ASCENSOR 130

6.2.2. CASO 2: DUCTOS DE TUBERÍA 132

6.2.3. CASO 3: ESTANTERÍA DE 2,5 METROS DE ALTURA 134

6.2.4. CASO 4: ELEMENTO DE FACHADA UNIDO A UN ENTREPISO 136

6.2.5. CASO 5: ELEMENTO DE FACHADA UNIDO A DOS ENTREPISOS 138

6.2.6. CASO 6: TAPIA 140

6.3. COMPARACIÓN DE COEFICIENTES SÍSMICOS 144

7. CONCLUSIONES 147

8. PROPUESTA DE MODIFICACIONES AL CAPÍTULO 14 DEL CSCR 2002 152

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS 154

9.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 155

9.2. REFERENCIAS ELECTRÓNICAS 157

9.2.1. CAPÍTULO 2 157

9.2.2. CAPÍTULO 3 157

9.2.3. CAPÍTULO 5 157

10. APÉNDICES **158**

10.1. APÉNDICE 1 – SIMBOLOGÍA – **159**

10.2. APÉNDICE 2 – GLOSARIO SEGÚN CSCR 2002 – **161**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 19

Tabla 3.1 33

Tabla 3.2 36

Tabla 3.3 38

Tabla 3.4 41

Tabla 3.5 46

Tabla 5.1 104

Tabla 5.2 107

Tabla 6.1 a 6.2 119

Tabla 6.3 120

Tabla 6.4 a 6.5 121

Tabla 6.6 a 6.7 122

Tabla 6.8 a 6.9 123

Tabla 6.10 a 6.11 124

Tabla 6.12 126

Tabla 6.13 127

Tabla 6.14 128

Tabla 6.15 131

Tabla 6.16 133

Tabla 6.17 135

Tabla 6.18 137

Tabla 6.19 139

Tabla 6.20 141

Tabla 6.21 142

Tabla 6.23 a 6.24 143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 18

Figura 2.2 19

Figura 2.3 a 2.8 21

Figura 2.9 a 2.14 22

Figura 2.15 a 2.20 23

Figura 2.21 24

Figura 2.22 24

Figura 2.23 a 2.26 28

Figura 2.27 a 2.32 29

Figura 3.1 39

Figura 3.2 42

Figura 3.3 42

Figura 3.4 a 3.4 44

Figura 5.1 110

Figura 5.2 111

Figura 5.3 113

Figura 6.1 118

CAPÍTULO -1-

1. INTRODUCCIÓN

1.1. *PROBLEMA ESPECÍFICO*

El actual Código Sísmico de Costa Rica es el recurso de primera mano empleado por los profesionales que realizan los diversos diseños de estructuras y sistemas no estructurales en nuestro país.

La creación de este código es relativamente joven en comparación a otros códigos similares a nivel internacional y se ha requerido mucho esfuerzo y dedicación para crear y adaptar a la realidad costarricense los parámetros de diseño que brinda.

El capítulo 14 del actual código presenta una metodología para la obtención de la fuerza correspondiente a las aceleraciones causadas por el sismo en el sistema o componente no estructural. La magnitud de estas fuerzas sísmicas laterales obtenida a partir de las ecuaciones 14.1 y 14.2 según diseñadores, difiere sustancialmente de la magnitud obtenida según el método estático y el método dinámico y en general de las fuerzas reales a las que se ve sometido el sistema o componente.

1.2. *IMPORTANCIA*

Costa Rica se ubica geográficamente en una zona de riesgo sísmico, esta condición obliga a los profesionales en ingeniería civil a incorporar medidas en sus cálculos y diseños que garanticen la estabilidad de las estructuras, así como de los sistemas y componentes no estructurales de manera que se pueda resguardar la seguridad de las personas y la protección de los bienes ante un evento sísmico.

El Código Sísmico de Costa Rica es el resultado de la recolección, síntesis y ordenamiento de parámetros, conceptos y metodologías para mitigar los efectos ocasionados por el sismo en las obras civiles.

Con el incremento de la investigación analítica y experimental en nuestro país se ha llegado a comprender cada vez más el fenómeno sísmico, lo cual motiva a proponer cambios en el actual código del 2002. Este proyecto de graduación pretende sugerir mejoras para el capítulo 14 del actual Código Sísmico 2002.

El crecimiento acelerado en el área de la construcción que se ha presentado en nuestro país, revela además la necesidad de garantizar que el Código Sísmico de Costa Rica suministre metodologías para cálculos de diseño que generen valores más precisos, con reducción de la incertidumbre asociada, de manera que se provea la seguridad adecuada para los sistemas y componentes no estructurales.

1.3. *ANTECEDENTES*

Existe abundancia de investigaciones y análisis de sistemas y componentes estructurales, más no es así en cuanto a los no estructurales.

Se ha determinado el factor de seguridad que se alcanza al aplicar las ecuaciones 14.1 y 14.2 del actual CSCR 2002, comparándolas con un análisis lineal dinámico en el proyecto de graduación de William Quesada (2006), "Evaluación analítica de los requerimientos del Código Sísmico de Costa Rica del 2002 para sistemas y componentes no estructurales".

También se ha identificado el daño por elementos no estructurales en edificios de ocupación normal. En el proyecto de graduación de Priscilla Paniagua (2006), "Riesgo sísmico no estructural en edificios de ocupación normal".

Sin embargo aún no se ha determinado la fuente de la incertidumbre asociada a dichas ecuaciones.

Fuera de nuestras fronteras se presentó en el "Seminario de diseño sísmico, desempeño y readecuación de componentes no estructurales", California (2003), un modelo simplificado de un edificio de tres pisos, considerando edificios que se mantienen en el rango elástico al presentarse un evento sísmico, con el fin de estimar las aceleraciones a las que se ven sometidos los componentes no estructurares.

Diversos códigos internacionales proponen metodologías y parámetros para el cálculo de las fuerzas sísmicas que soportan los sistemas y componentes no estructurales, considerando condiciones geológicas, geotécnicas y geográficas distintas a las presentes en nuestro país.

1.4. *OBJETIVOS*

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Revisar y evaluar la metodología propuesta en el capítulo 14 del CSCR 2002 para el cálculo de la fuerza sísmica en sistemas y componentes no estructurales.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el origen de los parámetros de diseño planteados en el capítulo 14 del CSCR 2002.
- Analizar la metodología propuesta para el cálculo de sistemas y componentes no estructurales en los códigos nacionales: CSCR 1974 y CSCR 1986 y en los códigos internacionales: UBC 1997, BLUE BOOK 1999, IBC 2000, ASCE 7 2002, ASEC 7 2005, IBC 2006 y EURO CODE 1999.
- Comparar las metodologías y parámetros para el cálculo de la fuerza sísmica en sistemas y componentes no estructurales de los códigos internacionales analizados, con énfasis en una comparación del CSCR 2002 y el ASCE 7 2005.
- Analizar cuantitativamente el cálculo de la fuerza sísmica sobre sistemas y componentes no estructurales a partir de los códigos internacionales: UBC 1997, IBC 2000, ASCE 7 2002 y ASCE 7 2005 y además mediante modelos simples de estructuras analizadas por el método estático.
- Proponer cambios para la próxima actualización de la metodología para el cálculo de la fuerza sísmica de diseño en sistemas y componentes no estructurales del Código Sísmico de Costa Rica.

1.5. *ALCANCES Y LIMITACIONES*

1.5.1. ALCANCES

- Verificar que la fuerza sísmica prescrita por el Código Sísmico de Costa Rica 2002 son aceptables de acuerdo con las fuerzas obtenidas de modelos estructurales.

- Analizar varios tipos de sistemas y componentes no estructurales como lo son: equipo de ascensor, ducto de tuberías, estanterías, elementos de fachada y tapias.

- Analizar el efecto de la altura sobre la fuerza sísmica del sistema o componente no estructural.

- Los cálculos realizados se enfocan en una estructura tipo marco y tipo muro, de ocupación normal, sobre un suelo tipo S3 y una sismicidad ZIII según los parámetros del Código Sísmica de Costa Rica 2002. Los análisis realizados con códigos internacionales se apegan en la medida de lo posible estas propiedades de la estructura.

- Verificar si las diferencias en el valor de la fuerza sísmica F_p se presentan no solo en las metodologías simplificadas, sino también en las fuerzas de diseño de las estructuras.

1.5.2. LIMITACIONES

- Este proyecto de graduación contempla únicamente la evaluación de los parámetros de cálculo empleados para la formulación de la fuerza sísmica lateral de diseño de sistemas y componentes no estructurales del capítulo 14 del Código Sísmico de Costa Rica 2002.

- No se pretende evaluar lo métodos a través de ensayos o de la verificación del comportamiento real de los elementos que hayan estado expuestos a movimientos sísmicos.

- No se estudia el comportamiento particular de los diferentes materiales de anclajes así como del sistema o componente no estructural.

CAPÍTULO -2-

2. MARCO TEÓRICO

2.1. *SISTEMAS Y COMPONENTES NO ESTRUCTURALES*

Los sistemas y componentes no estructurales son todos aquellos elementos que pertenecen al edificio y que están unidos a las partes estructurales quienes transmiten las cargas a las cimentaciones.

Según el CSCR 1974: “Los elementos no estructurales son aquellos que no contribuyen a la resistencia y rigidez de la estructura”.

A continuación se ilustra una comparación entre los sistemas y componentes no estructurales y los sistemas estructurales.

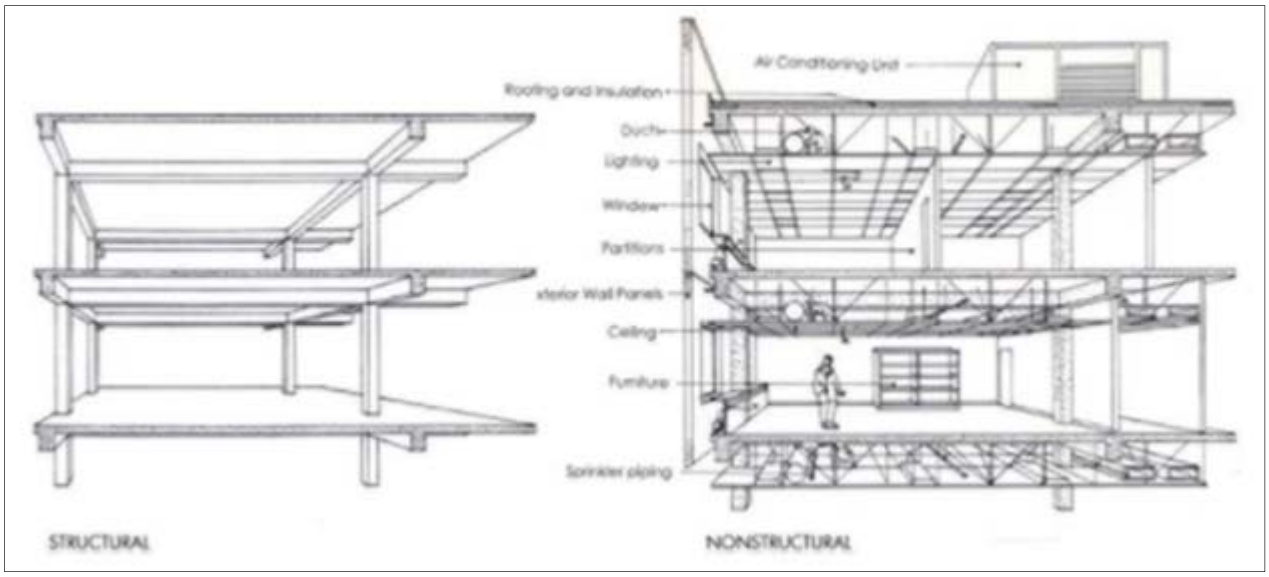


Figura 2.1: Sistemas estructurales y sistemas y componentes no estructurales
Fuente: FEMA 454

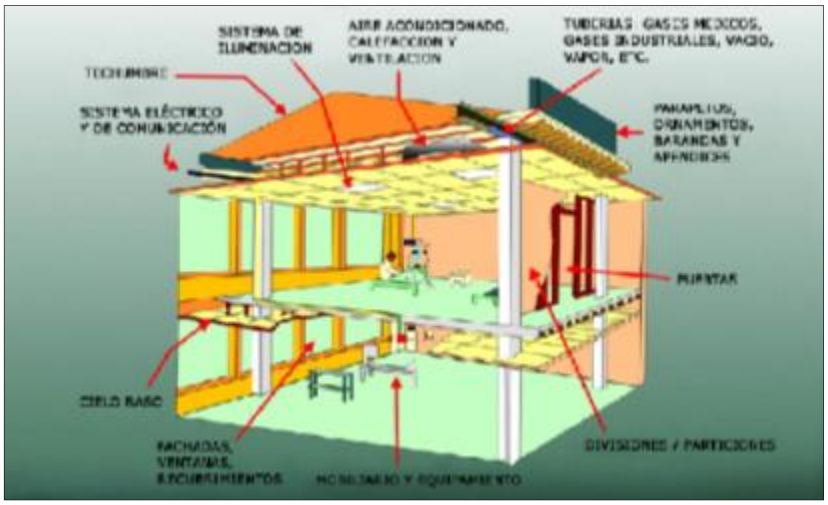


Figura 2.2: Sistemas y componentes no estructurales.

Fuente: Mitigación de desastres en instalaciones de salud: aspectos no estructurales. Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS.

Los sistemas y componentes no estructurales se agrupan en tres tipos: Arquitectónicos, de Equipos y Mobiliario y las Instalaciones Básicas. En la tabla que se muestra a continuación se enlistan los sistemas y componentes no estructurales más característicos:

TABLA # 2.1: CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS Y COMPONENTES NO ESTRUCTURALES

ARQUITECTONICOS	EQUIPOS Y MOBILIARIO	INSTALACIONES BASICAS
Techos y cubiertas	Equipo de comunicación	Gases médicos
Cielos rasos	Equipo médico	Gases industriales
Divisiones livianas	Equipo de laboratorio	Vacío
Tapias y muros exteriores	Equipo industrial	Vapor

Fachadas	Equipo de informática	Aire comprimido
Recubrimientos y enchapes	Equipo de oficina	Aire Acondicionado
Marquesinas, cornisas y voladizos	Equipo y mobiliario de áreas de servicio (cocinas, lavandería, almacenes, etc.)	Calefacción
Barandas, parapetos y pasamanos	Sustancias y material peligroso	Ventilación
Vidrios y ventanas	Suministros	Red de incendio
Puertas	Mobiliario en general	Agua potable
Postes y astas		Agua industrial
Chimeneas		Alcantarillado
Apéndices (letreros y señales y antenas)		Electricidad básica y sistemas de distribución de energía eléctrica
Luminarias		Electricidad de emergencia (planta eléctrica)
Junta de dilatación y juntas constructivas		Sistemas de telecomunicaciones (radio, teléfono)
Ornamentos		Otras tuberías circulación (elevadores, escaleras)

Fuente: Mitigación de desastres en instalaciones de salud: aspectos no estructurales. Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS.

A continuación se ilustran sistemas y componentes no estructurales:

Figura 2.3: Estantería
Fuente: Heriel S.A.

Figura 2.4: Estantería
Fuente: Heriel S.A.

Figura 2.5: Estantería
Fuente: Heriel S.A.

Figura 2.6: Estantería
Fuente: Heriel S.A.

Figura 2.7: Luminaria de supermercado
Fuente: El autor

Figura 2.8: Luminaria de sala de quirófanos
Fuente: Heriel S.A.

Figura 2.9: Sistemas de tuberías

Fuente: Heriel S.A.

Figura 2.10: Sistemas de tuberías

Fuente: El autor

Figura 2.11: Rótulo en azotea de edificio

Fuente: El autor

Figura 2.12: Rótulo en azotea de edificio

Fuente: El autor

Figura 2.13: Rótulo en fachada de edificio

Fuente: El autor

Figura 2.14: Rótulo en azotea de edificio

Fuente: El autor

Figura 2.15: Paneles eléctricos

Fuente: Heriel S.A.

Figura 2.16: Equipo de ascensor

Fuente: Heriel S.A.

Figura 2.17: Equipos de lavandería y paneles de control de hospital

Fuente: Heriel S.A.

Figura 2.18: Equipos de lavandería y tuberías de hospital

Fuente: Heriel S.A.

Figura 2.19: Equipos de hospital

Fuente: Heriel S.A.

Figura 2.20: Equipos de lavandería de hospital

Fuente: Heriel S.A.

Figura 2.21: Antenas en azoteas
Fuente: El autor

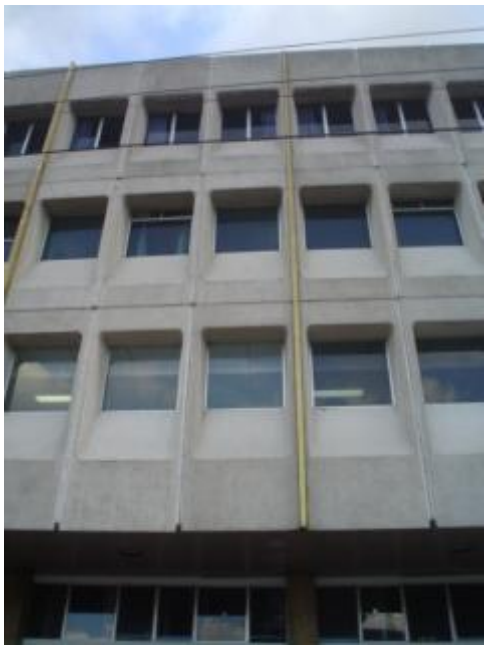


Figura 2.22: Elementos de fachada
Fuente: El autor

2.1.1. SISTEMAS Y COMPONENTES ARQUITECTÓNICOS

Este grupo está conformado por todos aquellos elementos arquitectónicos que forman parte del edificio.

Los sistemas y componentes arquitectónicos se deben evaluar en términos de las consecuencias funcionales y físicas de su falla. Las causas típicas de falla están asociadas a las conexiones, las dimensiones de las separaciones con otros elementos, la fragilidad propia del elemento y por supuesto la demanda a la que están sometidos de acuerdo con su ubicación en la estructura. Las fallas de estos sistemas y componentes se pueden clasificar en tres grupos: daño, desprendimiento y modificación de la respuesta de elementos estructurales y no estructurales.

2.1.2. SISTEMAS Y COMPONENTES DE EQUIPAMIENTO Y MOBILIARIO

Este grupo incluye todos aquellos componentes que no son parte de la edificación, pero q se encuentran distribuidos en su interior complementando las funciones q se realizan en cada ambiente.

El equipamiento es esencial en un edificio. Sin embargo, bajo los efectos de la acción sísmica puede representar peligro para las personas y para el funcionamiento del sistema, como los siguientes:

1. Impacto de objetos afilados.
2. Impacto de objetos sueltos que caen de una altura apreciable.
3. Impacto de objetos que se deslizan o ruedan por el piso.
4. Contacto directo con contaminantes o sustancias tóxicas.
5. Desconexión o averías de sistemas esenciales para mantener la vida.
6. Contacto con cables eléctricos expuestos, vapor o gases.
7. Imposibilidad de reponer aparatos o suministros esenciales.
8. Quedar atrapados.
9. Pérdida de función del equipo o sus dependientes.
10. Daño o pérdida económica.

Generalmente los equipos y el mobiliario son fabricados e instalados considerando sólo los requerimientos de su operación, detectándose en algunos la falta de apoyos o condiciones que impidan el volcamiento y el deslizamiento que produce la acción sísmica.

Para reducir los daños del equipamiento se deben usar elementos que controlen el deslizamiento y el volcamiento y que garanticen la estabilidad. Los elementos que se usen deben ser compatibles con las condiciones de operación de los equipos. Entre los elementos se pueden destacar: pernos de anclaje, stoppers o retenes, ganchos o placas que impidan el volcamiento, llaves de corte, conexiones flexibles, arriostramientos laterales, etc.

Para reducir las pérdidas y peligros asociados a suministros o contenidos se debe disponer de dispositivos que limiten el desplazamiento y vuelco como rejillas, barras, bases perforadas, etc. Estos elementos de amarre y fijación deben ser compatibles con el uso del equipo o contenido. Las estanterías deben estar apoyadas a las paredes, en su base y entre ellas, los suministros peligrosos se deben guardar en sitios donde no se puedan caer ni estén expuestos al impacto de otros objetos. Se deben tomar precauciones para que los materiales, fármacos, reactivos y productos químicos no se caigan de los estantes o repisas.

2.1.3. SISTEMAS Y COMPONENTES DE INSTALACIONES BÁSICAS

Incluye todas las instalaciones fijas, las cuales en caso de mal funcionamiento impiden la adecuada operación de la edificación.

Por ejemplo, en el caso de los hospitales se encuentra un número importante de tuberías, ductos y cables que forman parte de los sistemas de aire acondicionado, de abastecimiento de agua fría y caliente, vapor, gas industrial y gases médicos, tendido eléctrico y red de evacuación de desechos líquidos y sólidos. Todos estos elementos se distribuyen espacialmente de diferente forma, por ejemplo embebidos o adosados a los elementos de la estructura resistente o de algunos elementos arquitectónicos. El daño típico de estos elementos está asociado a los puntos de apoyo y conexión y daño a elementos estructurales y no estructurales que los sostienen.

Para evitar el daño de estos elementos se debe prestar atención a los apoyos, arriostres y refuerzos en las zonas de empalmes y de unión y a los detalles en las juntas de dilatación.

Los apoyos y arriostramientos deben estar debidamente detallados y espaciados para evitar su movimiento excesivo durante el evento sísmico y las tuberías y ductos deben ubicarse en elementos estructurales y no estructurales seguros.

2.2. *PROBLEMÁTICA DE LOS SISTEMAS Y COMPONENTES NO ESTRUCTURALES*

En el diseño de todo edificio sometido a movimientos sísmicos debe considerarse que los sistemas y componente no estructurales soporten los movimientos de la estructura, considerando que la excitación de estos elementos es mayor en los pisos superiores que inferiores y su seguridad se encuentra más comprometida que la de la estructura misma.

Según las experiencias de sismos recientes es común encontrar buen comportamiento sísmico en las estructuras; esto se debe principalmente a la calidad de los materiales como es el caso del concreto y el acero y al avance en el conocimiento en relación al diseño sismorresistente. Este avance se evidencia en códigos de diseño estructural, lo que no sucede con los sistemas y componentes no estructurales.

Es importante tomar en cuenta que en algunos casos el costo de los elementos no estructurales en los edificios es considerablemente mayor al costo de los elementos estructurales. Por ejemplo en el caso de los hospitales se estima que entre el 85% y el 90% del valor total de la obra corresponde a ellos.

Si se tiene en cuenta que debe mantenerse el servicio de la edificación durante y después de ocurrido un evento adverso como es el caso de los sismos; además de considerar la seguridad de sus ocupantes, el costo de reposición y de las pérdidas involucradas por la suspensión de sus funciones, es necesario considerar el diseño sísmico de los elementos no estructurales.

2.2.1. ASPECTOS A EVALUAR SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA O COMPONENTE

1. Elementos de soporte y anclaje
2. Ubicación del sistema o componente no estructural
3. Correcta instalación de los equipos
4. Materiales de los sistemas y componentes no estructurales, como de sus anclajes
5. Identificación de elementos de protección

2.2.2. TIPOS DE RIESGO

Los sistemas y componentes no estructurales evaluados serán clasificados como vulnerables según los siguientes tres tipos de riesgo:

- **Riesgo para la vida**
  Se clasificarán dentro de esta categoría los sistemas y componentes no estructurales que por su falla, pérdida, caída o desplazamiento presentarán riesgo para la vida o el deterioro de la salud de cualquiera de los ocupantes de la edificación.
- **Riesgo de pérdida del bien**
  Serán considerados dentro de esta clasificación aquellos elementos que en el caso de fallar o presentar daños causarían una pérdida importante para el patrimonio de la edificación, pero no afectarán de manera importante a los ocupantes ni al funcionamiento del establecimiento.
- **Riesgo de pérdida funcional**

Este tipo de riesgo lo sufrirán aquellos equipos, sistemas o componentes que dada la interrupción, escasez y/o pérdida de ellos pondrá en peligro el funcionamiento de la edificación y como consecuencia correrá peligro la vida de sus ocupantes y la población demandante en situación de emergencia o desastre.

Se puede dar que para un determinado sistema o componente pueden corresponder uno, dos o tres de estos tipos de riesgo. Cada tipo de riesgo en cada caso será evaluado por el impacto según sea, alto, mediano y bajo.

A continuación se ilustran ejemplos de daños en sistemas y componentes no estructurales:

Figura 2.23: Daños de estantería
Fuente: Heriel S.A.

Figura 2.24: Daños de estantería
Fuente: Guillermo Santana

Figura 2.25: Daños en estanterías
Fuente: Guillermo Santana

Figura 2.26: Daños en estanterías
Fuente: Guillermo Santana

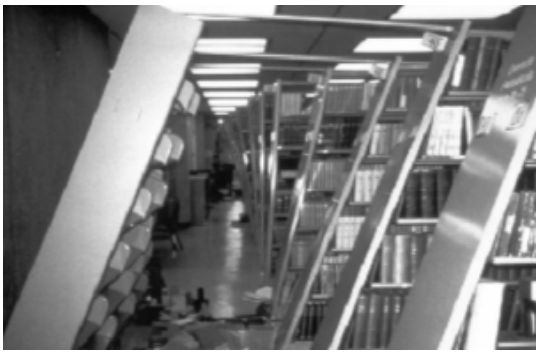


Figura 2.27: Daños en estanterías
Fuente: Guillermo Santana

Figura 2.28: Daños en luminarias
Fuente: Guillermo Santana

Figura 2.29: Daños en sistemas de cielo raso.
Fuente: el autor

Figura 2.30: Daños en cielos falsos.
Fuente: Guillermo Santana

Figura 2.31: Daños en elementos de fachada
Fuente: Guillermo Santana

Figura 2.32: Daños en elementos de fachada
Fuente: http://www.disaster-info.net/viento/spanish/noestructurales.htm#Proteccion_aberturas

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2002

3.1. *CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2002 (SECCIÓN 14)*

El capítulo 14 del Código Sísmico de Costa Rica 2002 (CSCR 2002) plantea la metodología para el cálculo de la fuerza sísmica lateral de diseño de todos los sistemas y componentes no estructurales instalados en pisos intermedios o techos con un peso mayor que 200 kg.

Esta fuerza debe ser utilizada para diseñar:

- Los sistemas y componentes, cuando su falla pueda causar una amenaza a la vida
- Los sistemas soportantes de los sistemas y componentes
- Los anclajes y conexiones que transfieren dicha fuerza al sistema sismorresistente.

Esta fuerza sísmica debe ser distribuida en el componente según la proporción de sus masas y aplicada en la dirección horizontal que resulte más crítica para el diseño; además se deben usar las combinaciones de carga especificadas en la sección 6.2 del CSCR 2002.

También se deben considerar los efectos del movimiento relativo de los puntos de anclaje a la estructura descritos en la tabla 7.2 de este código, en el diseño de los equipos soportados por edificaciones e instalaciones esenciales y riesgosas descritas en la tabla 4.1.

Además se permite el uso de datos experimentales u otra metodología de diseño para algún tipo particular de equipo o componente no estructural, siempre y cuando se tomen como valores mínimos los resultantes de la metodología presente en este código para el diseño del anclaje y conectores. Además, el momento de volcamiento utilizado en el diseño del componente no estructural no puede ser menor que el 80% de los valores que serían obtenidos con el uso de esta normativa.

El cálculo de la fuerza sísmica para sistemas y componentes no estructurales, planteado en el capítulo 14 del CSCR 2002, se realiza mediante diseño por resistencia, a diferencia de su código predecesor, el CSCR 1986 que presenta ciertas ambigüedades en la

metodología de diseño. Además el CSCR 2002 presenta una metodología más sencilla que la del CSCR 1986, debido a que no requiere el cálculo del cortante basal para el cálculo de la fuerza sísmica en el sistema o componente no estructural.

En términos generales, el cálculo de una fuerza sísmica se realiza partiendo de los principios de fuerzas inerciales planteados por Newton, en el que la fuerza es igual a la masa por la aceleración.

Según lo anterior, la fuerza sísmica planteada para el cálculo de sistemas y componentes no estructurales consiste en la multiplicación de tres factores, que son: el peso del sistema o componente no estructural, el factor de importancia y la aceleración a la que se ve sometido en un evento sísmico. Esta aceleración del componente es la aceleración pico efectiva del terreno donde se ubica la estructura sismorresistente soportante, multiplicada por un factor que la convierte en una aceleración del sistema o componente; este factor contempla la relación de alturas, la amplificación del sistema o componente y la modificación de la respuesta del sistema o componente.

A continuación se presenta la metodología desarrollada en este código:

Para los sistemas y componentes no estructurales, la fuerza sísmica lateral total de diseño, Fp, es determinada mediante la siguiente fórmula:

$$F_P = 4.0 * a_{ef} * I * W_P \qquad [14\text{-}1]$$

Alternativamente, *Fp* podría ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$F_P = \frac{X_P * a_{ef} * I}{R_P}\left(1 + 3\frac{h_x}{h_r}\right) W_P \qquad [14\text{-}2]$$

En todo caso, *Fp* debe satisfacer la siguiente condición:

$$0.7 * a_{ef} * I * W_P \leq F_P \leq 4.0 * a_{ef} * I * W_P \qquad [14\text{-}3]$$

Donde:

- F_p = fuerza sísmica lateral total de diseño.
- a_{ef} = aceleración pico efectiva correspondiente a la edificación, según capítulo 2.
- I = factor de importancia de la edificación, según tabla 4.1.

- W_p = peso total del sistema o componente en consideración.
- h_x = elevación del centro de masa del componente o elemento con respecto a la base del edificio, tal que hx ≥ 0.
- h_r = elevación del techo de la estructura con respecto a la base.
- X_p = factor de amplificación del sistema o componente, el cual varía entre 1.0 y 2.5. Se debe escoger un valor de X_p según la tabla 14.1. En forma alternativa, este factor puede ser determinado con base en las propiedades dinámicas o en datos empíricos del componente y de la estructura que lo sustenta. El valor no debe ser menor que 1.0.
- R_p = factor de modificación de la respuesta del componente según la tabla 14.1, excepto que R_p para anclajes debe ser igual a 1.5 para pernos de anclaje someros expansivos, anclajes químicos someros o anclajes someros colados en sitio. Anclajes someros son aquellos con una razón de empotramiento/diámetro menor que 8. Cuando los anclajes sean fabricados a partir de materiales no dúctiles o mediante el uso de adhesivos, X_p, debe ser igual a 1.0.

Los valores de X_p y R_p para los diversos sistemas y componentes se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 3.1: FACTORES PARA FUERZAS HORIZONTALES X_p Y R_p SEGÚN CSCR 2002

ELEMENTOS DE ESTRUCTURAS, COMPONENTES NO ESTRUCTURALES Y EQUIPO	X_p	R_p
1. Elementos de estructuras		
a. Paredes incluyendo lo siguiente: (1) Parapetos no arriostrados (en voladizo)	2.5	3.0
(2) Paredes exteriores a nivel del suelo o por encima de éste y parapetos arriostrados por encima de sus centros de gravedad	1.0	3.0
(3) Todas las paredes interiores sean o no de carga	1.0	3.0
b. Áticos y estructuras secundarias (excepto cuando sean una extensión de los sistemas sismorresistentes)	2.5	4.0
c. Conexiones para otros elementos estructurales prefabricados además de paredes	1.0	3.0
2. Componentes no estructurales		

a. Apéndices y ornamentos exteriores e interiores	2.5	3.0
b. Chimeneas, torres arriostradas apoyadas sobre o proyectándose por encima de techos (1) Arriostrados lateralmente o anclados al sistema estructural en un punto por debajo de sus centros de masa	2.5	3.0
(2) Arriostrados lateralmente o anclados al sistema estructural en un punto por encima de o en sus centros de masa	1.0	3.0
c. Rótulos y vallas comerciales	2.5	3.0
d. Estanterías (incluyendo sus contenidos) de más de 2m de alto	2.5	4.0
e. Gabinetes permanentes emplazados en el piso y libreras de más de 2 m de alto (incluyendo sus contenidos)	1.0	3.0
f. Anclajes y arriostres laterales para cielos suspendidos y luminarias	1.0	3.0
g. Sistemas de acceso a pisos	1.0	3.0
h. Tapias de mampostería o concreto de más de 2 m de alto	1.0	3.0
i. Particiones	1.0	3.0
3.Equipos		
a. Tanques y recipientes (y su contenido), incluyendo sistemas de apoyo	1.0	3.0
b. Equipo eléctrico, mecánico y de fontanería, incluyendo también la tubería y sistemas de conducción asociados	1.0	3.0
c. Cualquier equipo flexible arriostrado o anclado al sistema estructural desde un punto por debajo de su centro de masa	2.5	3.0
d. Anclaje de sistemas de energía de emergencia y de equipo vital de comunicaciones. Anclaje y sistemas de apoyo para estantería de baterías y tanques de combustible necesarios para la operación de equipo de emergencia	1.0	3.0
e. Recipientes provisionales con materiales peligrosos o inflamables	1.0	3.0
4.Otros equipos		
a. Compontes rígidos con material y anclajes dúctiles	1.0	3.0
b. Componentes rígidos con material y anclaje no-dúctiles	1.0	1.5
c. Componentes flexibles con material y anclajes dúctiles	1.0	3.0
d. Componentes flexibles con material y anclajes no-dúctiles	1.0	1.5

3.2. *DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SISTEMA O COMPONENTE X_P*

Según se explica en los comentarios del CSCR 2002: “El factor de amplificación dinámica del sistema o componente no estructural Xp representa la amplificación dinámica del componente con respecto al periodo fundamental T de la estructura”.

El factor de amplificación del sistema o componente se puede determinar con base en las propiedades dinámicas o en datos empíricos del componente y de estructura que lo sustenta. Alternativamente, el CSCR 2002 suministra la tabla 14.1, en la cual se debe escoger un valor de X_p, el cual varía entre 1.0 y 2.5. Este valor varía según la rigidez o flexibilidad del componente.

El CSCR 2002 define como elemento rígido al que, incluyendo sus elementos de sujeción (anclajes, arriostres y montaduras de apoyo), tiene un periodo menor o igual que 0,06 segundos, y como elemento flexible al que tiene un periodo mayor que 0,06 segundos.

Según esta metodología, X_p tiene un valor de 1.0 cuando se trata de componentes rígidos, y un valor de 2.5 cuando se trata de elementos flexibles, independientemente de si el anclaje es dúctil o rígido. El valor no puede ser menor que 1.0.

Si el factor de amplificación tiende a cero, quiere decir que la excitación es demasiado rápida. Usando la analogía del resorte, significa que el resorte no tiene tiempo para deformarse, o sea que la masa no llega a moverse. En general, si el periodo fundamental del componente es menor que 0.06 segundos, no se anticipa ninguna amplificación dinámica.

A continuación se presenta la clasificación presentada en el CSCR 2002:

TABLA 3.2: CLASIFICACIÓN DE COMPONENTES NO ESTRUCTURALES Y EQUIPO SEGÚN X_p

X_p	ELEMENTOS DE ESTRUCTURAS, COMPONENTES NO ESTRUCTURALES Y EQUIPO
1.0	***1. Elementos de estructuras*** - Paredes exteriores a nivel del suelo o por encima de éste y parapetos arriostrados por encima de sus centros de gravedad - Todas las paredes interiores sean o no de carga - Conexiones para otros elementos estructurales prefabricados además de paredes ***2. Componentes no estructurales*** - Chimeneas, torres arriostradas apoyadas sobre o proyectándose por encima de techos. Arriostrados lateralmente o anclados al sistema estructural en un punto por encima de o en sus centros de masa - Gabinetes permanentes emplazados en el piso y libreras de más de 2 m de alto (incluyendo sus contenidos) - Anclajes y arriostres laterales para cielos suspendidos y luminarias - Sistemas de acceso a pisos - Tapias de mampostería o concreto de más de 2 m de alto - Particiones ***3. Equipos*** - Tanques y recipientes (y su contenido), incluyendo sistemas de apoyo - Equipo eléctrico, mecánico y de fontanería, incluyendo también la tubería y sistemas de conducción asociados - Anclaje de sistemas de energía de emergencia y de equipo vital de comunicaciones. Anclaje y sistemas de apoyo para estantería de baterías y tanques de combustible necesarios para la operación de equipo de emergencia - Recipientes provisionales con materiales peligrosos o inflamables ***4. Otros equipos*** - Compontes rígidos con material y anclajes dúctiles - Componentes rígidos con material y anclaje no-dúctiles - Componentes flexibles con material y anclajes dúctiles - Componentes flexibles con material y anclajes no-dúctiles
2.5	***1. Elementos de estructuras*** - Parapetos no arriostrados (en voladizo) - Áticos y estructuras secundarias (excepto cuando sean una extensión de los sistemas sismorresistentes) ***2. Componentes no estructurales*** - Apéndices y ornamentos exteriores e interiores - Chimeneas, torres arriostradas apoyadas sobre o proyectándose por encima de techos. Arriostrados lateralmente o anclados al sistema estructural en un punto por debajo de sus centros de masa - Rótulos y vallas comerciales - Estanterías (incluyendo sus contenidos) de más de 2m de alto ***3. Equipos*** - Cualquier equipo flexible arriostrado o anclado al sistema estructural desde un punto por debajo de su centro de masa

3.3. *DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE MODIFICACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA O COMPONENTE R_P*

Según se explica en los comentarios del CSCR 2002: “El factor de modificación de la respuesta del componente Rp representa la capacidad de absorción de energía de la estructura interna del componente y de sus fijadores. De manera conceptual, el valor Rp considera tanto la sobrerresistencia como la ductilidad de la estructura interna del componente y la de sus fijadores”.

El factor de modificación de la respuesta del componente varía según la rigidez o ductilidad del anclaje. Es importante resaltar que la fuerza de diseño del anclaje es una función 1/Rp, por lo tanto, si el cuerpo del anclaje es dúctil, las fuerzas inducidas pueden ser reducidas por R_p=3.0, si el anclaje provisto se fabrica con materiales no-dúctiles o mediante el uso de adhesivos, se debe usar R_p=1.0, y si el anclaje es de pernos de anclaje someros expansivos, anclajes químicos someros y anclajes someros colados en sitio, entonces R_p=1.5. Se entiende como anclajes someros aquellos con una razón de empotramiento/diámetro menor que 8

De los comentarios al CSCR 2002 se tiene que Rp = 1.5 si se anticipa modo de falla frágil o de pandeo, Rp = 3.0 para detallado y materiales de ductilidad moderada y Rp = 4.0 para detallado y materiales de ductilidad alta.

El código sísmico de Costa Rica, suministra la tabla 14.1, en la cual se debe escoger un valor de R_p, el cual varía entre 1.5 y 4.0. A continuación se describe la clasificación presentada en este código:

TABLA 3.3: CLASIFICACIÓN DE COMPONENTES NO ESTRUCTURALES Y EQUIPO SEGÚN R_p

R_p	ELEMENTOS DE ESTRUCTURAS, COMPONENTES NO ESTRUCTURALES Y EQUIPO
1.5	***4. Otros equipos*** - Componentes rígidos con material y anclaje no-dúctiles - Componentes flexibles con material y anclajes no-dúctiles
3.0	***1 Elementos de estructuras*** - Parapetos no arriostrados (en voladizo) - Paredes exteriores a nivel del suelo o por encima de éste y parapetos arriostrados por encima de sus centros de gravedad - Todas las paredes interiores sean o no de carga - Conexiones para otros elementos estructurales prefabricados además de paredes ***2. Componentes no estructurales*** - Apéndices y ornamentos exteriores e interiores - Chimeneas, torres arriostradas apoyadas sobre o proyectándose por encima de techos. Arriostrados lateralmente o anclados al sistema estructural en un punto por encima de o en sus centros de masa - Chimeneas, torres arriostradas apoyadas sobre o proyectándose por encima de techos. Arriostrados lateralmente o anclados al sistema estructural en un punto por debajo de sus centros de masa - Rótulos y vallas comerciales - Gabinetes permanentes emplazados en el piso y libreras de más de 2 m de alto (incluyendo sus contenidos) - Anclajes y arriostres laterales para cielos suspendidos y luminarias - Sistemas de acceso a pisos - Tapias de mampostería o concreto de más de 2 m de alto - Particiones ***3. Equipos*** - Tanques y recipientes (y su contenido), incluyendo sistemas de apoyo - Equipo eléctrico, mecánico y de fontanería, incluyendo también la tubería y sistemas de conducción asociados - Cualquier equipo flexible arriostrado o anclado al sistema estructural desde un punto por debajo de su centro de masa - Anclaje de sistemas de energía de emergencia y de equipo vital de comunicaciones. Anclaje y sistemas de apoyo para estantería de baterías y tanques de combustible necesarios para la operación de equipo de emergencia - Recipientes provisionales con materiales peligrosos o inflamables ***4. Otros equipos*** - Compontes rígidos con material y anclajes dúctiles - Componentes flexibles con material y anclajes dúctiles
4.0	***1 Elementos de estructuras*** - Áticos y estructuras secundarias (excepto cuando sean una extensión de los sistemas sismorresistentes) ***2. Componentes no estructurales*** - Estanterías (incluyendo sus contenidos) de más de 2m de alto

3.4. *DETERMINACIÓN DE LA ACELERACIÓN PICO EFECTIVA A_{EF}*

La aceleración efectiva a_{ef} es el parámetro que ha sido designado para definir la demanda sísmica en el CSCR 2002, y evalúa el movimiento del terreno donde se dan los mayores valores espectrales de aceleración. El valor de a_{ef} presente en la ecuación 14-2 para sistemas y componentes no estructurales del CSCR 2002, es el mismo usado en el diseño de la estructura. En el caso de la ecuación 14-2 varía linealmente desde la aceleración a_{ef} del terreno hasta la aceleración $4.0a_{ef}$ del techo de la estructura.

En el CSCR 2002, el valor de la aceleración pico efectiva se maneja basándose en los resultados del análisis de los datos de aceleración en las estructuras, debidos a movimientos sísmicos severos ocurridos en California (Drake y Bachman, 1994, 1995 y 1996). El promedio de los datos registrados como una regresión lineal se muestra en la figura a continuación.

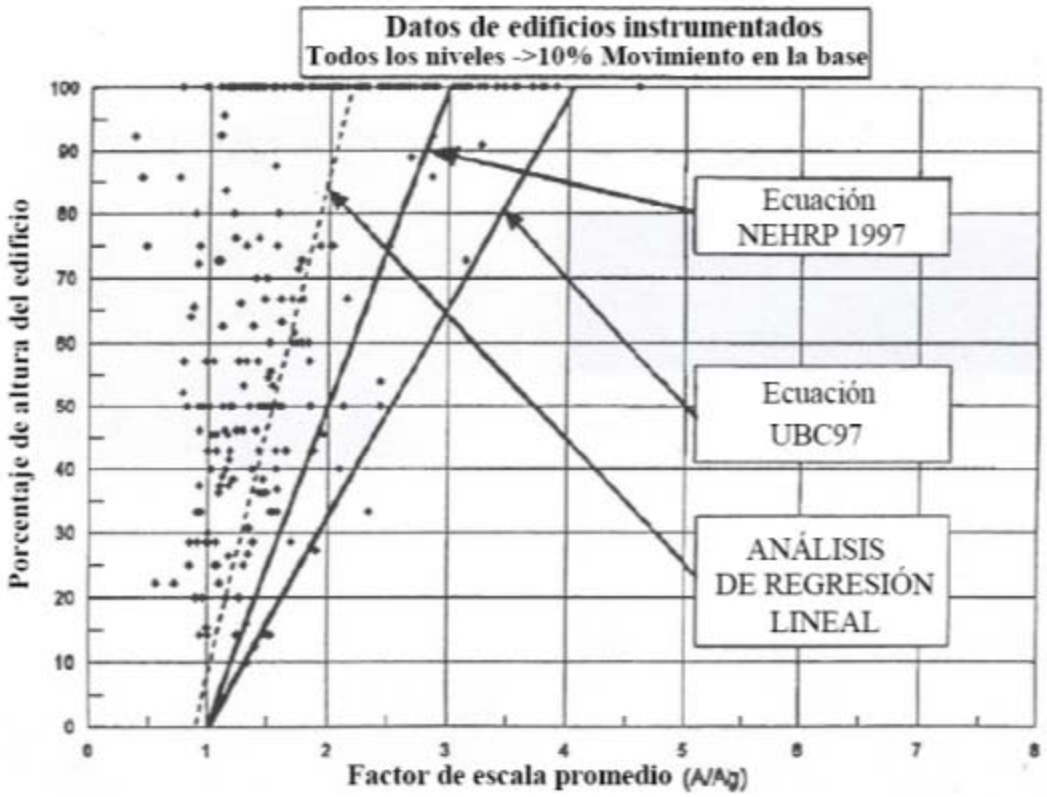


Figura 3.1: Variación de la aceleración en los niveles superiores de edificaciones instrumentadas para registrar los movimientos violentos del terreno. El CSCR 2002 utiliza la propuesta del UBC 1997

Fuente: Comentarios al capítulo 12 del CSCR 2002.

El análisis consistió en instrumentar distintas edificaciones. Cada punto del gráfico corresponde a un sistema o componente no estructural con propiedades características, ubicados en diferentes niveles de edificaciones, que a su vez poseen diversa cantidad de niveles y diversos arreglos estructurales.

Es de esta forma que este análisis considera tanto las propiedades de la estructura como las del sistema o componente no estructural, instrumentando edificaciones con ductilidades diferentes (tipo marco, tipo muro, tipo dual), con periodos diferentes (varía el número de niveles) y estudiando distintos sistemas y componentes no estructurales conectados a ellas, en diversos niveles de las edificaciones.

En el eje "y" del gráfico anterior se tiene la altura a la cual se ubica en sistema o componente no estructural en términos de porcentaje de altura del edificio, y en el eje "x" el factor adimensional que relaciona la aceleración del componente con la aceleración del terreno. Se puede notar que, a pesar de la dispersión de los valores, que los componentes ubicados en los niveles superiores de las edificaciones experimentan aceleraciones mayores que los que estén en los niveles inferiores.

La curva que se observa más hacia la derecha, corresponde a la ecuación que conforma el factor por el cual se multiplica la aceleración pico efectiva del terreno donde se ubica la estructura soportante y considera: la altura de la edificación, la altura en la cual se ubica el sistema o componente, la amplificación dinámica del sistema o componente no estructural y la modificación de la respuesta del sistema o componente no estructural. A continuación se presenta la ecuación de dicha curva, a la cual le llamaré C.

$$C = \left(1 + 3\frac{h_x}{h_r}\right) \cdot \frac{X_p}{R_p}$$

A raíz de esto, se puede replantear la ecuación 14.2 del CSCR 2002 de la siguiente manera:

$$F_p = \left[\left(1 + 3\frac{h_x}{h_r}\right) \cdot \frac{X_p}{R_p}\right] \cdot a_{ef} \cdot I \cdot W_p = C \cdot a_{ef} \cdot I \cdot W_p$$

Del análisis que se resume en el gráfico anterior se concluyó que el valor máximo razonable para la aceleración en el techo de la estructura es de cuatro veces el de la

aceleración del terreno. La ecuación 14-2 aproxima el promedio de los datos registrados más una desviación estándar que aproxima la aceleración en el techo a cuatro veces la aceleración del terreno, proporcionando así una cota superior para aproximadamente un 84% de los datos registrados.

La aceleración efectiva se define también como el valor de seudoaceleración que se vincula con la respuesta estructural y el potencial de daños de un sismo; en otras palabras, es la que actúa directamente en la estructura. Para fines estructurales este es un parámetro estable y adecuado, a diferencia de la aceleración pico registrada en los instrumentos, que no es un parámetro ingenieril representativo, debido a que aún en sismos muy pequeños han generado picos altos de aceleración cuyo contenido de energía no es relevante para las estructuras civiles (Laporte, 2006).

Como se explica en los comentarios del CSCR 2002, el concepto de aceleración efectiva originalmente propuesto por Newmark definía una magnitud de aceleración en función del movimiento del terreno en el rango de períodos de interés ingenieril. Newmark propuso un procedimiento para la construcción de espectros, que se basa en los valores pico del movimiento. Si no se cuenta con estos valores, él sugiere utilizar la aceleración pico y la correlación empírica: $\frac{v}{a} = \frac{122^{cm}/_{s}}{g}$ y $a \cdot \frac{d}{v^2} = 6$. El método convencional de construir espectros de respuesta requiere multiplicar la aceleración pico horizontal por una forma espectral normalizada (Laporte, 2006).

La aceleración pico efectiva planteada en el CSCR 2002 está dada para los diferentes sitios de cimentación, y se muestra en la tabla 2.2 de dicho código, la cual se muestra a continuación.

TABLA 3.4: ACELERACIÓN PICO EFECTIVA DE DISEÑO PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS Y PARA DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS Y TIPOS DE SITIO

Tipo de sitio	Zona II	Zona III	Zona IV
S1	0.20	0.30	0.40
S2	0.24	0.33	0.40
S3	0.28	0.36	0.44
S4	0.34	0.36	0.36

Esta tabla es una simplificación de la planteada en el Blue Book 99 y en el UBC 1997. Dicha simplificación responde a la zonificación y tipos de suelo presente en nuestro país.

A continuación se presenta la tabla 16 Q del UBC 1997, y en un recuadro rojo, los valores de interés para las condiciones sísmicas de Costa Rica.

TABLA 16-Q—COEFICIENTE DE SISMICIDAD C_a

TIPO DE PERFIL DE SUELO	FACTOR DE ZONA SÍSMICA, Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_a$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_a$
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	$0.40N_a$
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	$0.44N_a$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.36N_a$
S_F	Ver Nota al pie 1				

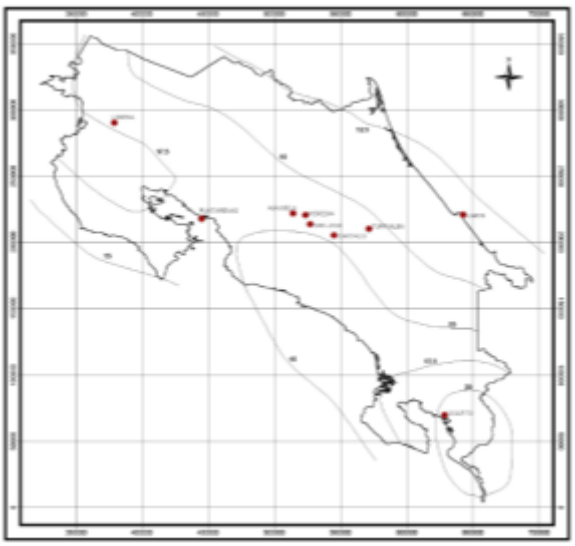
[1] Se deben realizar investigaciones geotécnicas y análisis de respuesta dinámica específicos del lugar para determinar los coeficientes de sismicidad para el Tipo de Perfil de Suelo S_F.

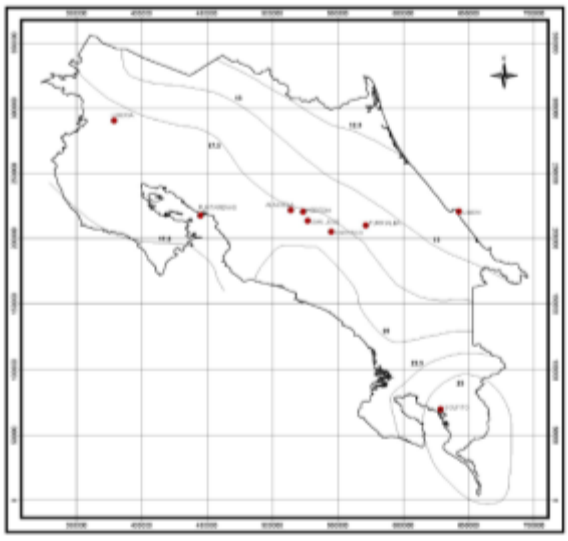
Figura 3.2: Tabla de aceleraciones pico efectivas del UBC 1997

Fuente: UBC 1997

3.4.1. ZONIFICACIÓN SÍSMICA

En el año de 1977 se realizó el primer estudio de amenaza sísmica en el país, a raíz de los fuertes sismos de 1972 en Managua, el estudio fue realizado por el John Blume Earthquake Engineering Research Center de la Universidad de Stanford, California, a cargo del Prof. Haresh C. Shah. El resultado de este estudio fueron los mapas de isoaceleración con periodos de 50, 100, 500 y 1000 años que se muestran a continuación:





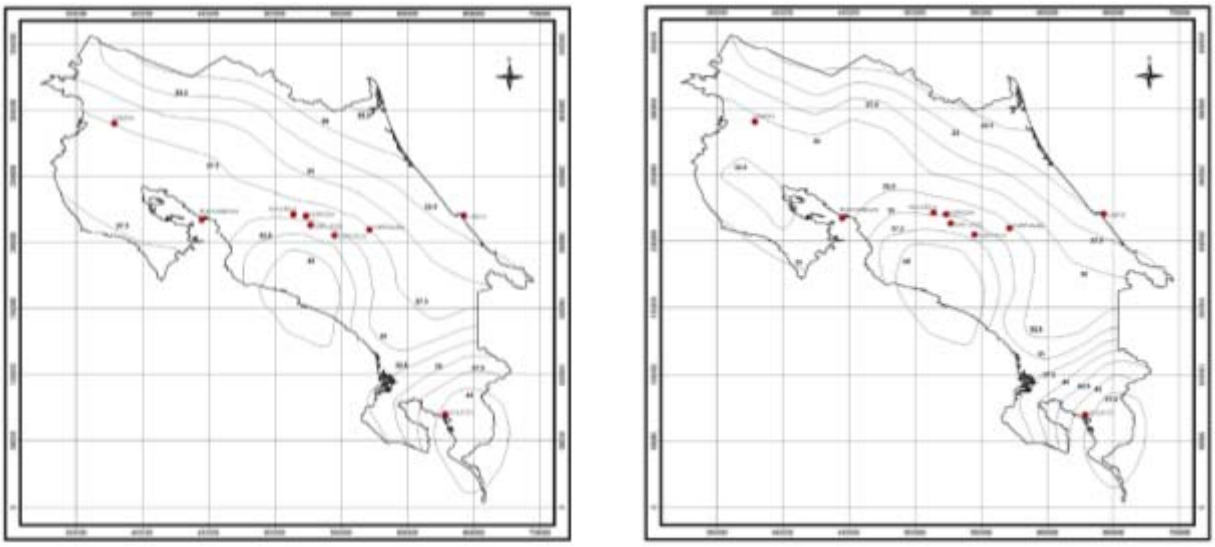


Figura 3.3: Mapas de isoaceleración del CSCR 1986.

Fuente: CSCR 1986

Posteriormente, estos mapas de isoaceleración fueron sometidos a revisión debido a los sismos ocurridos en el periodo de 1990-1991, entre estos destacaron los sismos de Golfo Dulce, Puriscal y Limón. El sismo de Limón presentó un nivel de amenaza sísmica en el litoral del Caribe costarricense que no estaba reflejado en las curvas de isoaceleración incorporadas en el CSCR 1986 (Santana, 1992).

A raíz de estos sismos, en 1994 el Centro Noruego de Investigación Sismológica NORSAR, dentro del estudio Reduction Disasters in Central America RONDICA, realizó un nuevo estudio de amenaza sísmica regional para Costa Rica, Los resultados se presentaron como mapas de isoaceleración para sitios de suelo rígido para probabilidades anuales de excedencia de 2.0×10^{-2}, 1.0×10^{-2}, 2.0×10^{-3} y 1.0×10^{-3} que corresponden respectivamente a períodos de retorno de 50, 100, 500 y 1000 años. Estos resultados fueron analizados por la Comisión Permanente de Estudio y Revisión del CSCR, y el análisis evidenció aceleraciones pico mayores a las del CSCR 1986.

En 1999 la Subcomisión de Demanda Sísmica de la Comisión Permanente de Estudio y Revisión del CSCR (Franz Sauter, Guillermo Santana y María Laporte) inicia la revisión y actualización de la sección 1.2 del CSCR 1986, lo cual da como resultado los mapas de zonificación sísmica que se muestran a continuación, desplazando los mapas de isoaceleración del CSCR 1986.

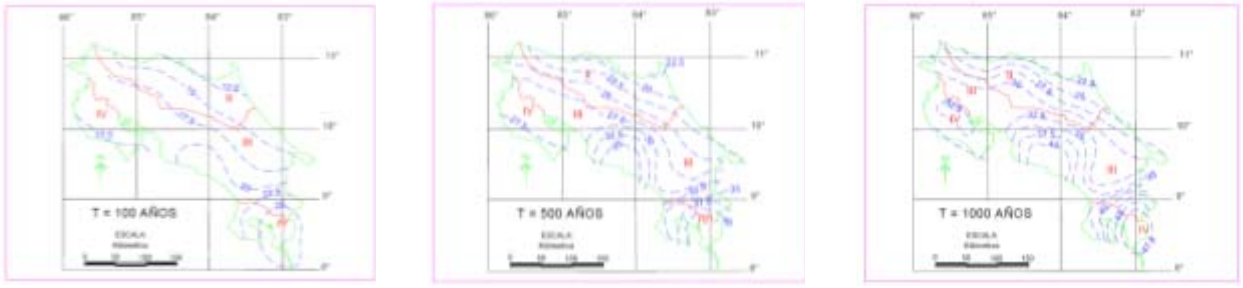


Figura3.4: Curvas de isoaceleración en roca, y zonificación sísmica CSCR 2002.

Fuente: Comentarios CSCR 2002

Este cambio se realizó considerando las tendencias de la época en países como Estados Unidos, Japón, Nueva Zelanda, Colombia, Venezuela, Perú, etc…

Otras consideraciones que se tuvieron fueron el tamaño del territorio nacional, las tendencias de las curvas de iso-amenaza (Laporte et al., 1994b) y la división administrativa del país.

A continuación se muestra el mapa actual de zonificación sísmica, producto del proceso descrito anteriormente:

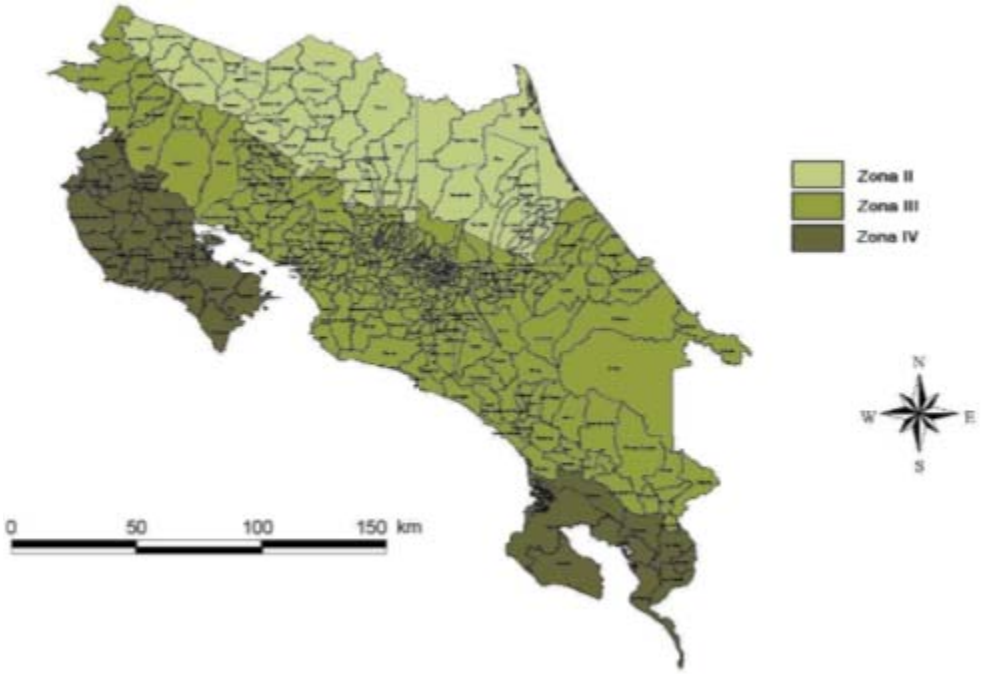


Figura 3.5: Zonificación sísmica.

Fuente: Comentarios CSCR 2002

3.4.2. TIPO DE SITIO

La clasificación de los tipos de cimentación de las estructuras sismorresistentes, se realiza con el fin de considerar los tipos de propagación de ondas sísmicas en el suelo para el cálculo de la demanda sísmica.

Según se aclara en los comentarios del CSCR 2002: “las cuatro categorías se escogieron con base en los perfiles de suelo propuestos por la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (tabla 104-2, SEAOC por sus siglas en inglés, 1999). Los tipos de sitio S1, S2, S3 y S4 corresponden respectivamente a los perfiles de suelo SB, SC, SD y SE. Sin embargo se consideró que el rango del valor N (de la prueba SPT) 15 – 50 Asociado al perfil SD es muy amplio por lo que los tipos de sitio S2 y S3 se caracterizaron en este rango, como se muestra en la tabla C2.1. También se excluyó la categoría SA (roca muy dura), definida por el SEAOC, por considerarse que no es un tipo de sitio común en Costa Rica.” (Comentarios CSCR 2002, 2007)

3.5. *DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE IMPORTANCIA DEL SISTEMA O COMPONENTE*

En vista de la necesidad de clasificar todas las estructuras según la importancia, riesgo de su ocupación y objetivos de desempeño, se les asigna un factor de importancia que defina la severidad sísmica para la cual se deben diseñar.

Los objetivos de desempeño de cada clasificación se presentan en la tabla 4.1 del CSCR 2002, los cuales se garantizan con los requisitos señalados en la tabla 4.2 del CSCR 2002 para cada categoría de edificación.

En el CSCR 2002, los factores de importancia que se presentan son los mismos tanto para los sistemas sismorresistentes como para los sistemas y componentes no estructurales. Por otro lado, en las modificaciones realizadas para dicho código se plantea una división entre los factores de importancia para los sistemas sismorresistentes I, y el factor de importancia de los sistemas y componentes no estructurales según la estructura en la que se encuentren I_p.

La propuesta para una nueva clasificación de los factores de importancia se presenta en la tabla a continuación:

TABLA 3.5: CLASIFICACIÓN DE COMPONENTES NO ESTRUCTURALES Y EQUIPO SEGÚN I

Grupo	Descripción	Ocupación o función de la edificación	Factor I	Factor Ip
A	Edificaciones e instalaciones esenciales	Hospitales e instalaciones que poseen áreas de cirugía o atención de emergencias. Estaciones de policía y bomberos. Garajes y refugios para vehículos o aviones utilizados para emergencias. Instalaciones y refugios en centros de preparación para emergencias. Terminales aeroportuarias y torres de control aéreo. Edificaciones y equipo en centros de telecomunicaciones y otras instalaciones requeridas para responder a una emergencia. Generadores de emergencia para instalaciones pertenecientes al Grupo A. Tanques de almacenamiento de agua y productos esenciales. Estructuras que contienen bombas u otros materiales o equipo para suprimir el fuego.	1.25	1.50
B	Edificaciones e instalaciones riesgosas	Obras e instalaciones utilizadas para la producción, almacenamiento y trasiego de sustancias o químicos tóxicos o explosivos. Obras que contienen o soportan sustancias tóxicas o explosivas. Obras cuya falla pueda poner en peligro otras edificaciones de los Grupos A y B.	1.25	1.50
C	Edificaciones de Ocupación especial	Edificaciones para actividades educativas con una capacidad mayor a 300 estudiantes. Edificios usados para colegios o educación para adultos con una capacidad mayor a 500 estudiantes. Edificios para centros de salud con 50 o más pacientes residentes incapacitados, pero no incluidas en el Grupo A. Todas las edificaciones con una ocupación mayor a 5000 personas no incluidas en los Grupos A o B. Edificaciones y equipo en estaciones de generación de energía, y otras instalaciones públicas no incluidas en el Grupo A y requeridas para mantener operación continua.	1.00	1.25
D	Edificaciones de ocupación normal	Todas las obras de habitación, oficinas, comercio o industria y cualquier otra edificación no especificada en los Grupos A, B, C o E.	1.00	1.25
E	Edificaciones misceláneas	Construcción agrícola y edificios de baja ocupación. Galpones y naves de almacenamiento de materiales no tóxicos y de baja ocupación. Tapias y muros de colindancia (ver nota). Obras e instalaciones provisionales para la construcción.	0.75	1.00

3.6. *OMISIONES DE LA METODOLOGÍA DEL CAPÍTULO 14 DEL CSCR 2002*

En la sección 14.1.a del CSCR 2002 se establece el peso mínimo del equipo y mobiliario para el cual se requiere el cálculo de la fuerza símica sobre el sistema o componente no estructural; pero no se establece un peso máximo del sistema o componente no estructural para el cual el diseño de la estructura deberá ser realizado considerando los efectos de la interacción entre la estructura y los elementos soportados.

Además, la metodología propuesta en el capítulo 14 de CSCR 2002 no considera la ductilidad y el periodo de la estructura. Claramente las fuerzas de diseño de una estructura y, por lo tanto, de un sistema o componente no estructural anclado a ella, varían según la ductilidad y el periodo relacionado, porque estos parámetros definen el valor del FED, que sí se utiliza en el cálculo de las fuerzas de diseño de la estructura. Esta metodología no incluye el FED, incluido en el cálculo del coeficiente sísmico para el cálculo de la fuerza sobre el elemento.

Esta condición produce que se calcule la misma fuerza sísmica sobre el elemento en caso de que esté ubicado en una estructura de marcos, regular y bien detallada, o en una estructura de muros, irregular y poco dúctil, a pesar de que las fuerzas de diseño de las estructuras son muy diferentes.

El capítulo 14 del CSCR 2002 carece de una clasificación detallada de los sistemas y componentes no estructurales, en relación con los códigos más recientes, lo cual promueve a que se utilicen valores de X_p y R_p poco representativos para el sistema o componente que se diseñe.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN OTROS CÓDIGOS

4.1. *CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 1974 (SECCIÓN 11.4)*

4.1.1. INTRODUCCIÓN

La metodología planteada en este código presenta el concepto básico que se plantea en los códigos que se analizaran posteriormente. La fuerza sísmica del sistema o componente no estructural se calcula multiplicando el peso del sistema o componente por un coeficiente sísmico, que en este caso se le denomina $C_p = factor\ para\ partes\ de\ edificios$. El inconveniente es que este coeficiente sísmico es muy rígido en cuanto a la altura del sistema o componente dentro de la estructura. Además no permite la posibilidad de variación con respecto al factor de importancia, ductilidad y periodo de la estructura, tampoco varía con respecto a la aceleración del terreno.

Adicionalmente en el cálculo del coeficiente sísmico de la estructura soportante del sistema o componente no estructural se determina a partir de un coeficiente sísmico del suelo y un coeficiente de uso del edificio.

4.1.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE F_P

Esta sección establece que el diseño de las fuerzas sísmicas de partes de edificios o estructuras y sus anclajes, así como los elementos flexibles de oscilación vertical (periodos de oscilación mayor a 0.1 seg), como voladizos, marquesinas, tuberías, maquinaria, etc, deberán diseñarse para fuerzas sísmicas de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$F_P = C_P \cdot W_P$$

Tabla 11.1 Factor C_p para partes de edificios		
Parte del edificio	Dirección de la fuerza	C_p
Sobre el suelo: Paredes, particiones y mampostería que no trabajen en voladizo; tapias de concreto	Normal a la superficie plana	0.20
Sobre el suelo: Paredes y muros en voladizo (Excepto muros de retención)	Normal a la superficie plana	1.00
En edificios: Paredes y mampostería externas al edificio, colocados en el nivel *i*	Normal a la superficie plana	$1.5C_{pi}^{*}$
En edificios: Paredes, particiones y mampostería dentro del edificio, colocados en el nivel *i*.	Normal a la superficie plana	$1.2C_{pi}^{*}$
Casetas y otras construcciones en el nivel superior del edifio (nivel *N*)	Normal a la superficie plana	$1.2C_{pi}^{*}$
Rótulos, apendices y ornamentos; tanto interiores como exteriores	Cualquier dirección horizontal	1.00
Uniones para elementos estructurales prefabricados (excepto paredes), con la fuerza aplicada al centro de gravedad del conjunto	Cualquier dirección horizontal	0.50
Uniones para tableros exteriores	Cualquier dirección horizontal	2.00
Pisos y techos actuando como diafragmas	Cualquier dirección horizontal	0.15
Equipo rigido o soportado rigidamente, tal como calderas, motores, generadores, bombas, etc. unido o formando parte de un edificio	Cualquier dirección horizontal	0.50
Equipo flexible o soportado flexiblemente, tal como tuberías, tanques elevados, etc. con un período de oscilación del equipo y su sistema soportante mayor a 0.1 seg. y unido, formando parte, o estando dentro de un edificio.	Cualquier dirección horizontal	1.00
	Dirección vertical	0.67
Marquesinas, balcones exteriores, salientes de techo	Dirección vertical	0.67
Tanques junto con la masa efectiva de su contenido, colocados sobre el suelo y fuera del edificio	Dirección horizontal	0.20

Donde$C^{*}{}_{\mathrm{pi}} = \alpha C \eta_{\mathrm{i}}$ para el método 1 de análisis y$C^{*}{}_{\mathrm{pi}} = \alpha C_1 \eta_{\mathrm{i1}}$ C'pi=αC1ŋi1 para el método 2 de análisis, que corresponden al método de análisis estático y dinámico respectivamente.

4.1.3. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO

Los valores de C_p están dados en la tabla 11.1. La distribución de estas fuerzas se hará de acuerdo a la distribución de la masa.

En el capítulo 7 se tiene el método 1 de análisis, donde se calcula el cortante total a nivel de la base definido por:

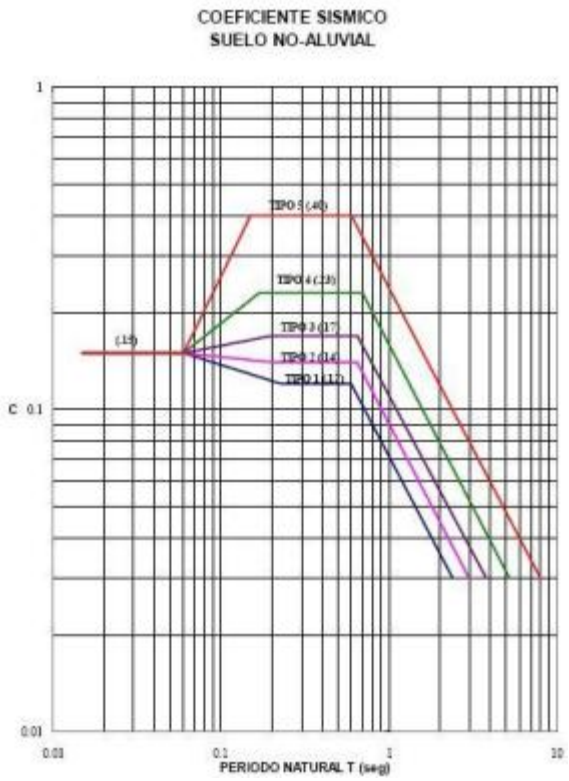
$$V_t = aCW_t$$

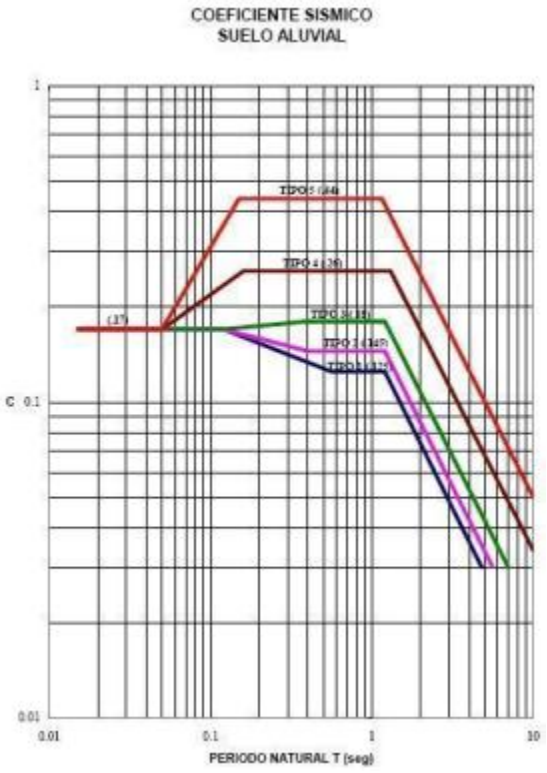
Donde:

- W_t= peso total de acuerdo al artículo 6.1.
- a= coeficiente de uso del edificio según la tabla 3.1.

Tabla 3.1	
Grupo	Coeficiente de uso α
A	1.2
B	1.0
C	0.7

- *C*= coeficiente sísmico, definido en el capítulo 5 y según la figura 5.1





4.2. *CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 1986 (SECCIÓN 2.10)*

4.2.1. INTRODUCCIÓN

El cálculo de la fuerza sísmica para sistemas y componentes no estructurales planteado en este código, es mucho más detallado que el expuesto en el código predecesor. Incluye el cálculo del cortante basal de la estructura, lo cual genera un detallado trabajo numérico, pero a la vez permite considerar la ductilidad y periodo de la estructura. Considera además la variación de la altura del componente en la estructura, una constante para componentes arquitectónicos y mecánicos y un factor de amplificación relacionado a la respuesta del sistema o componente eléctrico o mecánico.

Adicionalmente en el cálculo del coeficiente sísmico de la estructura soportante del sistema o componente no estructural se determina a partir de la aceleración máxima esperada en el sitio $a_{máx}$, un factor de reducción que multiplica la aceleración máxima del terreno R y el factor de amplificación dinámica correspondiente al periodo natural de vibración T de la estructura.

4.2.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA

Este capítulo establece que los sistemas y componentes arquitectónicos deberán diseñarse para resistir las fuerzas sísmicas aplicadas en el centro de masa del componente por la siguiente fórmula:

$$F_p = \left[\frac{2h_i}{H + h_1}\frac{V_t}{W_t} + a_{máx}\right] X_p W_p$$

Donde:

- F_p = fuerza sísmica aplicada en centro de masa de un sistema o componente arquitectónico
- X_p = constante componentes arquitectónicos (T. 2.10.1)
- $a_{máx}$ = aceleración máxima definida para el sitio y uso del edificio (2.4.1)
- h_i = altura del nivel i en el cual se encuentra el sistema o componente del edificio, para sistemas o componentes colocados en el terreno bajo el nivel de base, se tomará h_i=0.

- h_1 = elevación del primer nivel
- H = atura total del edificio
- V_t = cortante total en la base del edificio, producido por fuerzas sísmicas
- W_t = peso total del edificio en la base, utilizado en el cálculo de las fuerzas sísmicas
- W_p = peso del componente arquitectónico en consideración

Además los sistemas y componentes mecánicos y eléctricos así como sus soportes y anclajes deberán diseñarse para resistir las fuerzas sísmicas aplicadas en el centro de masa del componente por la siguiente fórmula:

$$F_p = \left[\frac{2h_i}{H + h_1}\frac{V_t}{W_t} + a_{máx}\right]\beta X_c W_c$$

Donde:

- F_c = fuerza sísmica aplicada en centro de masa de un sistema o componente eléctrico o mecánico
- X_c = constante componentes mecánicos (T. 2.10.2)
- β = factor de amplificación relacionado a la respuesta de un sistema o componente eléctrico o mecánico (2.10.9)
- $a_{máx}$ = aceleración máxima definida para el sitio y uso del edificio (2.4.1)
- h_i = altura del nivel i en el cual se encuentra el sistema o componente del edificio, para sistemas o componentes colocados en el terreno bajo el nivel de base, se tomará h_i=0.
- h_1 = elevación del primer nivel
- H = atura total del edificio
- V_t = cortante total en la base del edificio, producido por fuerzas sísmicas
- W_t = peso total del edificio en la base, utilizado en el cálculo de las fuerzas sísmicas
- W_c = peso del componente mecánico en consideración

Además, el factor de de amplificación de soporte se determina de la siguiente manera:

1. Para anclajes fijos al edificio, excepto en su nivel de base o bajo este: $\beta = 1$

2. Para sistemas montados sobre apoyos flexibles:

$$Si\text{: } {}^{T_c}/_{T_1} < 0.6 \; o \;\; {}^{T_c}/_{T_1} > 1.4, \qquad \beta = 1$$

$$Si: 0.6 < {}^{T_c}/_{T_1} < 1.4, \qquad \beta = 2$$

Si el sistema está apoyado en el terreno o sobre una base en contacto directo con este: $\beta = 2$

Donde:

- V_t = periodo fundamental del edificio, calculado según los principios de la dinámica estructural ó según la sección 2.6.9 y 2.6.11 de este código.
- T_c = periodo fundamental del componente, calculado de acuerdo con principios establecidos de la dinámica estructural. En ausencia de estos podrá usarse la ecuación $T_c = 2\pi\sqrt{{}^{W_c}/_{gK}}$
- g = aceleración de la gravedad.
- K = rigidez de los soportes del sistema.

A continuación se presentan las tablas de X_p:

TABLA 2.10.1 Coeficiente sísmico para componentes arquitectónicos X_p	
COMPONENTE	FACTOR X_p
Apéndices	
Muros exteriores no cargados	1.2
Elementos anclados a muros o techos	2.0
Enchapes	1.5
Elementos de cubierta y techos	1.2
Recipientes y componentes misceláneos	1.0
Divisiones y Muros	
De escalera y ascensores	1.3
De conductos verticales	1.2
De corredores de salida incluyendo el cielo raso	1.2
De corredores privados	1.0
Separaciones de áreas de altura completa	1.0
Otros componentes arquitectónicos anclados al cieloraso, las paredes o el piso	1.2

TABLA 2.10.2 Coeficiente sísmico para componentes mecánicos o eléctricos X_c	
COMPONENTES	FACTOR X_c
Sistemas eléctricos de emergencia.	2.0
Sistemas de detección de fuego y humo.	2.0
Sistemas de extinción de fuego.	2.0
Componentes de sistemas de seguridad humana.	2.0
Calderas, hornos, incineradores, calentadores de agua y otros equipos que usen fuentes combustibles de energía o fuentes de alta temperatura.	2.0
Sistemas de comunicación	1.5
Sistemas primarios de cables eléctricos	2.0
Centros de control de motores eléctricos, dispositivos de control de motores, dispositivos de distibución, transformadores y subestaciones	1.5
Equipos rotantes o reciprocantes	1.5
Equipos presionizados	2.0
Maquinaria de manufactura y proceso	1.2
Conductos y tuberías de sistemas de distribución	1.2
Pantallas y tableros eléctricos	1.5
Fajas transportadoras de material	1.2
Lámparas	1.5

4.2.3. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO

En la sección 3.5.2.3 de este código se establece que el cortante total en la base de la estructura está dado por:

$$V = C \cdot W$$

Donde:

- V = cortante total a nivel base
- W = peso total considerando el 100% de la carga permanente y el 15 % de la carga temporal, excepto en techos donde se usará el 0% de la carga permanente.
- C = coeficiente sísmico calculado según la sección 2.4.1, por medio de la ecuación:

$$C = Ra_{máx}FAD$$

Donde:

- R = factor de reducción, que multiplica la aceleración máxima del terreno ($a_{máx}$), para estimar el promedio espacial de la aceleración efectiva que ocurre en la base de la estructura. Para todos los casos: R = 0,80.

- $a_{máx}$ = aceleración máxima esperada en el sitio, expresada como fracción de la gravedad, obtenida de los mapas de isoaceleración, directamente o por medio de interpolación lineal, considerando el periodo de retorno para el cual debe ser diseñada la estructura, según las propiedades de ductilidad y amortiguamiento de la tabla 2.4.1 y según la importancia de la estructura y aceleración asociada al periodo de retorno del capítulo 1.2.

TABLA 2.4.1. Valores de ductilidad y amortiguamiento para los tipos estructurales.

TIPO	DUCTILIDAD μ	AMORTIGUAMIENTO
1	6	.05
2	4	.05
3	2	.07
4	1.2	.10
5	1	.05

TABLA 1.2.1. Probabilidades de excedencia recomendadas

Capacidad para resistir deformaciones inelásticas	Importancia de las estructuras			
	Muy grande	Grande	Usual	Poca
NINGUNA ($\mu = 1$)	.05 - .10	.10 - .15	.15 - .25	.25 - .40
POCA ($1 < \mu \leq 3.5$)	.10 - .15	.15 - .25	.25 - .40	.40 - .60
ADECUADA ($\mu > 3.5$)	.15 - .25	.25 - .40	.40 - .60	.60 - .75

NOTA: Para efectos de ilustración y guía, se presentan algunos ejemplos de importancia en estructuras:

Muy grande: Represa y tanque de oscilación de un gran proyecto hidroeléctrico, contenedor de un reactor nuclear.
Grande: Puente de una carretera muy importante, puerto principal, hospital, tanque de gran capacidad para almacenamiento de combustibles.
Usual: La mayoría de los edificios y puentes.
Poca: Construcciones rurales, puentes de caminos de penetración, estructuras provisionales.

- FAD = factor de amplificación dinámica, correspondiente al periodo natural de vibración T de la estructura, al sitio de cimentación y al tipo estructural, según las figuras 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3. El tipo estructural incluye las propiedades de ductilidad y amortiguamiento señalados en la tabla 2.4.1, no permitiéndose reducciones adicionales por estos conceptos.

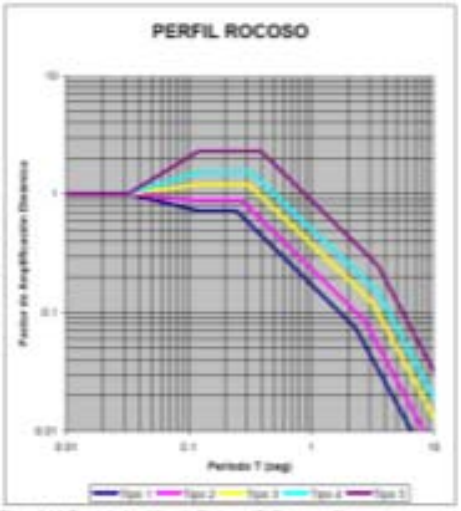


Figura 2.4.1. Factor de Amplificación Dinámica (FAD), para perfil rocoso.

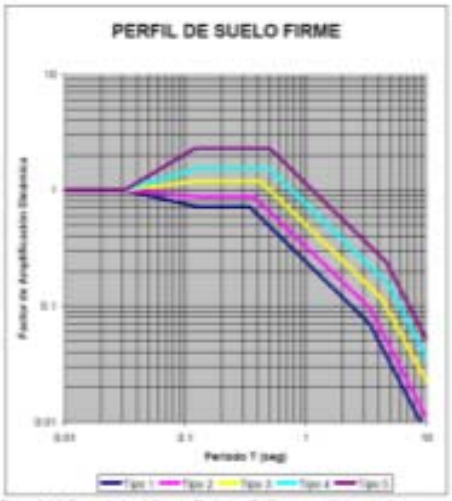


Figura 2.4.2. Factor de Amplificación Dinámica (FAD), para perfil de suelo firme.

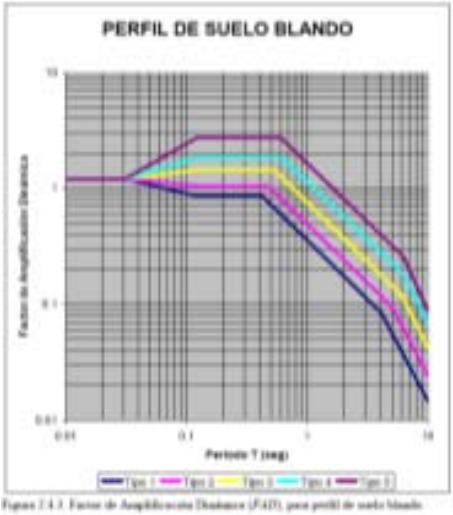


Figura 2.4.3. Factor de Amplificación Dinámica (FAD), para perfil de suelo blando.

4.3. *UNIFORM BUILDING CODE - UBC 1997 (SECCIÓN 1632.2)*
SEAOC - BLUE BOOK 1999 (SECCIÓN 107.2)

4.3.1. INTRODUCCIÓN

La metodología del capítulo 14 del CSCR 2002, al igual que la metodología del UBC 1997, se basan en la el cálculo de la fuerza sísmica para sistemas y componentes no estructurales planteado en la sección 107.2 del BLUE BOOK 1999. La metodología y los parámetros del UBC 1997 son una copia exacta de los planteados en el BLUE BOOK 1999. En el caso del CSCR 2002, se presentan algunas diferencias que se explican a continuación.

4.3.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA

Estas secciones presentan la misma metodología empleada en el CSCR 2002 analizada en el capítulo anterior de este documento, con las siguientes variaciones:

- En estos códigos internacionales, I_p = factor de importancia del componente, este puede ser igual a 1.00 o a 1.50, según la tabla 16 K, en la que es establece que:

  - I_p = 1.5 Instalaciones esenciales y peligrosas
  - I_p = 1.0 Estructuras misceláneas y para destinos especiales y estándar

TABLA 16-K—CATEGORÍA DE DESTINO

CATEGORÍA DE TENENCIA	DESTINO O FUNCIONES DE LA ESTRUCTURA	FACTOR DE IMPORTANCIA SÍSMICA, I	FACTOR DE IMPORTANCIA[1] SÍSMICA, I_p	FACTOR DE IMPORTANCIA SÍSMICA, I_w
1. Instalaciones esenciales[3]	Destinos del Grupo I, División 1 que tienen áreas para cirugía y tratamientos de emergencia Estaciones de bomberos y policía Garajes y cocheras para vehículos y naves aéreas de emergencia Estructuras y refugios en centros de preparación para emergencias Torres de control de aviación Estructuras y equipos en centros de comunicación del gobierno y otras instalaciones requeridas para respuestas de emergencia Equipos de generación de energía de reserva para instalaciones de la Categoría 1 Tanques u otras estructuras que albergan, contienen o soportan agua u otros materiales para combatir incendios o equipos requeridos para protección de estructuras de las Categorías 1, 2 o 3	1.25	1.50	1.15
2. Instalaciones peligrosas	Destinos del Grupo H, Divisiones 1, 2, 6 y 7 y las estructuras de las mismas que albergan o contienen productos químicos o sustancias tóxicas o explosivas Estructuras que no forman parte de edificaciones que albergan, soportan o contienen cantidades de sustancias tóxicas o explosivas las cuales, si estuvieran contenidas dentro de una edificación harían que dicha edificación se clasificara como Destino del Grupo H, Divisiones 1, 2 o 7	1.25	1.50	1.15
3. Estructuras para destinos especiales[3]	Destinos de Grupo A, Divisiones 1, 1 y 2.1 Edificaciones que contienen destinos del Grupo E, Divisiones 1 y 3 con capacidad mayor de 300 estudiantes Edificaciones que contienen destinos del Grupo B utilizadas para educación superior o de adultos con capacidad mayor de 300 estudiantes Destinos del Grupo I, Divisiones 1 y 2 con 50 o más pacientes residentes incapacitados, pero no incluidos en la Categoría 1 Destinos del Grupo I, División 3 Todas las estructuras con un número de ocupantes mayor de 5,000 personas Estructuras y equipo en estaciones de generación de energía y otras instalaciones de servicios públicos no incluidos en las Categorías 1 o 2 anteriores, pero requeridas para operación continua	1.00	1.00	1.00
4. Estructuras para destinos estándar[2]	Todas las estructuras que contienen destinos o tienen funciones no indicadas en las Categorías 1, 2 o 3 y las torres de destinos del Grupo U	1.00	1.00	1.00
5. Estructuras misceláneas	Destinos del Grupo U excepto las torres	1.00	1.00	1.00

[1] El límite de I_p para conexiones de paneles en la Sección 1633.2.4 será 1.0 para todo el conector.
[2] Los requisitos de observación estructural están dados en la Sección 1702.
[3] Para el anclaje de maquinarias y equipos requeridos para sistemas de seguridad de vida, el valor de I_p debe considerarse 1.5.

- En estos códigos internacionales, h_x = elevación de la unión componente – estructura respecto al nivel del suelo y no se debe considerar h_x menor de 0.0. A diferencia del CSCR 2002 donde h_x = elevación del centro de masa del componente.

- El CSCR 2002 utiliza la aceleración pico efectiva correspondiente a la edificación para tres zonas sísmica y cuatro tipos de suelo y estos códigos internacionales consideran para su coeficiente de sismicidad C_a, para seis tipos de suelo y cinco zonas sísmicas. Adicionalmente consideran un coeficiente de sismicidad C_v referente a la velocidad.

- El CSCR 2002 incluye el apartado 14.2.d, que no se incluye en estos códigos internacionales. Este apartado presenta ambigüedades debido a dice que: "Las fuerzas y factores de modificación de respuesta de componentes en conectores para paneles y diafragmas exteriores, deben ser calculadas conforme el capítulo 4". Las ambigüedades se presentan porque la metodología del capítulo 14 incluye los factores para el cálculo de la fuerza sísmica de diafragmas exteriores (tapias) y por otro lado el capítulo 4 del CSCR 2002, no plantea ninguna metodología de cálculo para fuerzas sísmicas, lo que plantea es la clasificación de las estructuras y sus componentes.

4.3.3. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO

En la sección 1630.2 se describe el Procedimiento de fuerza lateral. Donde el esfuerzo de corte basal total de diseño en una dirección se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$V = \frac{C_V I}{RT} W \qquad \text{Ecuación 30-4}$$

Este no debe exceder lo siguiente:

$$V = \frac{2.5 C_a I}{R} W \qquad \text{Ecuación 30-5}$$

Pero tampoco debe ser menor que:

$$V = 0.11 C_a I W \qquad \text{Ecuación 30-6}$$

Por otro lado, para la zona sísmica 4, el esfuerzo cortante basal no debe ser menor que:

$$V = \frac{0.8ZN_V I}{R} W \qquad \text{Ecuación 30.7}$$

Donde:

- W = la carga muerta sísmica total definida en la sección 1630.1.1, donde se establece que W es todo el peso muerto más:
  - Al menos el 25% de la carga viva por piso en áreas utilizadas para almacenamiento.
  - En los edificios de oficinas o otros donde se vayan a utilizar particiones, se deberá utilizar una carga no menor de 0.48 kN/m2.
  - El peso total del equipo permanente.
- C_a y C_v = coeficientes de sismicidad que se obtienen de las tablas 16-Q y 16-R respectivamente.

TABLA 16-Q—COEFICIENTE DE SISMICIDAD C_a

TIPO DE PERFIL DE SUELO	FACTOR DE ZONA SÍSMICA, Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_a$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_a$
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	$0.40N_a$
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	$0.44N_a$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.36N_a$
S_F	Ver Nota al pie 1				

[1] Se deben realizar investigaciones geotécnicas y análisis de respuesta dinámica específicos del lugar para determinar los coeficientes de sismicidad para el Tipo de Perfil de Suelo S_F.

TABLA 16-R—COEFICIENTE DE SISMICIDAD C_V

TIPO DE PERFIL DE SUELO	FACTOR DE ZONA SÍSMICA, Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_v$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_v$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	$0.56N_v$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	$0.64N_v$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$0.96N_v$
S_F	Ver Nota al pie 1				

[1] Se deben realizar investigaciones geotécnicas y análisis de respuesta dinámica específicos del lugar para determinar los coeficientes de sismicidad para el Tipo de Perfil de Suelo S_F.

Donde:

- Z = factor de zona sísmica de la tabla 16-I.
- S_A S_B S_C S_D S_E S_F = tipos de perfil de suelo que se establecen en la tabla 16-J.

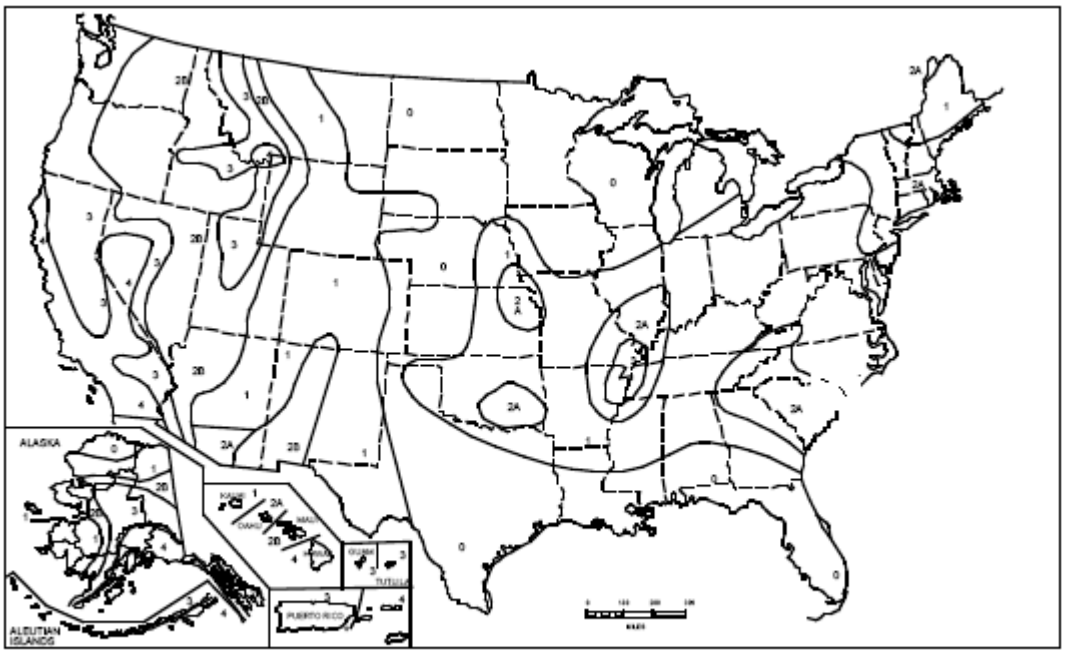


FIGURA 16-2—MAPA DE ZONAS SÍSMICAS DE LOS ESTADOS UNIDOS
Para áreas fuera de los Estados Unidos, véase el Apéndice del Capítulo 16.

TABLA 16-I—FACTOR DE ZONA SÍSMICA Z

ZONA	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

NOTA: La zona debe determinarse del mapa de zonas sísmicas de la Figura 16-2.

TABLA 16-J—TIPO DE PERFILES DE SUELOS

TIPO DE PERFIL DE SUELOS	NOMBRE DEL PERFIL DE SUELOS /DESCRIPCIÓN GENÉRICA	PROPIEDADES DE SUELO PROMEDIO PARA LOS 30 m. (100 ft) SUPERIORES DEL PERFIL DEL SUELO		
		Velocidad de onda de cortante, $\overline{V}_s$ pies/segundo (m/s)	Ensayo estándar de penetración, $\overline{N}$ (o $\overline{N}_{CH}$ para capas de suelo sin cohesión) (golpes por pie)	Resistencia al cortante sin desagüe, Su psf (kPa)
S_A	Roca dura	> 5,000 (1,500)	—	—
S_B	Roca	2,500 to 5,000 (760 to 1,500)		
S_C	Suelo muy denso y roca blanda	1,200 to 2,500 (360 to 760)	> 50	> 2,000 (100)
S_D	Perfil de suelo rígido	600 to 1,200 (180 to 360)	15 to 50	1,000 a 2,000 (50 a 100)
S_E[1]	Perfil de suelo sólido	< 600 (180)	< 15	< 1,000 (50)
S_F	Suelos que requiere evaluación específica del lugar. Vease la Sección 1629.3.1.			

[1] El suelo de perfil Tipo S_E también incluye cualquier perfil de suelo con más de 3 048 mm (10 ft) de arcilla blanda definida como un suelo con un índice de plasticidad, $PI > 20$, $w_{mc} \geq 40$ por ciento y $s_u < 24$ kPa (500 psf). El Índice de Plasticidad, PI, y el contenido de humedad, w_{mc}, deben determinarse de acuerdo con las normas nacionales aprobadas.

- T = periodo de vibración elástico fundamental, en segundos, de la estructura en la dirección considerada.
- I = factor de importancia que se obtiene de la tabla 16-K

TABLA 16-K—CATEGORÍA DE DESTINO

CATEGORÍA DE TENENCIA	DESTINO O FUNCIONES DE LA ESTRUCTURA	FACTOR DE IMPORTANCIA SÍSMICA, I	FACTOR DE IMPORTANCIA[1] SÍSMICA, I_p	FACTOR DE IMPORTANCIA SÍSMICA, I_w
1. Instalaciones esenciales[2]	Destinos del Grupo I, División 1 que tienen áreas para cirugía y tratamientos de emergencia Estaciones de bomberos y policía Garajes y cocheras para vehículos y naves aéreas de emergencia Estructuras y refugios en centros de preparación para emergencias Torres de control de aviación Estructuras y equipos en centros de comunicación del gobierno y otras instalaciones requeridas para respuestas de emergencia Equipos de generación de energía de reserva para instalaciones de la Categoría 1 Tanques u otras estructuras que albergan, contienen o soportan agua u otros materiales para combatir incendios o equipos requeridos para protección de estructuras de las Categorías 1, 2 ó 3	1.25	1.50	1.15
2. Instalaciones peligrosas	Destinos del Grupo H, Divisiones 1, 2, 6 y 7 y las estructuras de las mismas que albergan o contienen productos químicos o sustancias tóxicas o explosivas Estructuras que no forman parte de edificaciones que albergan, soportan o contienen cantidades de sustancias tóxicas o explosivas las cuales, si estuvieran contenidas dentro de una edificación, harían que dicha edificación se clasificara como Destino del Grupo H, Divisiones 1, 2 ó 7	1.25	1.50	1.15
3. Estructuras para destinos especiales[3]	Destinos de Grupo A, Divisiones 1, 2 y 2.1 Edificaciones que contienen destinos del Grupo E, Divisiones 1 y 3 con capacidad mayor de 300 estudiantes Edificaciones que contienen destinos del Grupo B utilizadas para educación superior o de adultos con capacidad mayor de 500 estudiantes Destinos del Grupo I, Divisiones 1 y 2 con 50 o más pacientes residentes incapacitados, pero no incluidos en la Categoría 1 Destinos del Grupo I, División 3 Todas las estructuras con un número de ocupantes mayor de 5,000 personas Estructuras y equipo en estaciones de generación de energía y otras instalaciones de servicios públicos no incluidos en las Categorías 1 ó 2 anteriores, pero requeridas para operación continua	1.00	1.00	1.00
4. Estructuras para destinos estándar[3]	Todas las estructuras que contienen destinos o tienen funciones no indicadas en las Categorías 1, 2 ó 3 y las torres de destinos del Grupo U	1.00	1.00	1.00
5. Estructuras misceláneas	Destinos del Grupo U excepto las torres	1.00	1.00	1.00

[1] El límite de I_p para conexiones de paneles en la Sección 1633.2.4 será 1.0 para todo el conector.
[2] Los requisitos de observación estructural están dados en la Sección 1702.
[3] Para el anclaje de maquinarias y equipos requeridos para sistemas de seguridad de vida, el valor de I_p debe considerarse 1.5.

- N_v = factor de cercanía a la fuente, según tablas 16-T y 16-U.

TABLA 16-T—FACTOR DE CERCANÍA A LA FUENTE N_v[1]

TIPO DE LUGAR DE ORIGEN DEL SISMO	DISTANCIA MÁS PRÓXIMA AL LUGAR DE ORIGEN CONOCIDO DEL SISMO[2,3]			
	≤2 km	5 km	10 km	≥15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

[1] El Factor de Cercanía a la fuente puede basarse en la interpolación lineal de valores para distancias diferentes a las que se muestran en la tabla.
[2] La ubicación y tipo de fuentes sísmicas por utilizarse para el diseño deben establecerse en base a datos geotécnicos aprobados (p.ej., los mapas más recientes de las fallas activas de United States Geological Survey o de California Division of Mines and Geology).
[3] La distancia más próxima al lugar de origen del sismo debe considerarse como la distancia mínima entre el lugar y el área descrita por la proyección vertical a la fuente en la superficie (es decir, la proyección superficial del plano de falla). La proyección superficial no necesita incluir partes a la fuente a profundidades de 10 km o mayores. En el diseño debe utilizarse el mayor valor del Factor de Cercanía a la fuente considerando todas las fuentes.

TABLA 16-U—TIPO DE LUGAR DE ORIGEN DEL SISMO[1]

TIPO DE LUGAR DE ORIGEN DEL SISMO	DESCRIPCIÓN A LA FUENTE DEL SISMO	DEFINICIÓN A LA FUENTE DEL SISMO[2]	
		Magnitud del momento máximo, M	Proporción de deslizamiento, SR (mm/año)
A	Fallas que pueden producir eventos de gran magnitud y que tienen una alta relación de actividad sísmica.	$M \geq 7.0$	$SR \geq 5$
B	Otras fallas además de los Tipos A y C	$M \geq 7.0$ $M < 7.0$ $M \geq 6.5$	$SR < 5$ $SR > 2$ $SR < 2$
C	Fallas que no pueden producir eventos de gran magnitud y que tienen una relación de actividad sísmica relativamente baja	$M < 6.5$	$SR \leq 2$

[1] Las fuentes de subducción deben evaluarse sobre una base específica para cada lugar.
[2] Tanto las condiciones de magnitud del momento máximo como de proporción de deslizamiento deben ser satisfechas simultáneamente cuando se determina el tipo de lugar de origen del sismo.

- R = coeficiente de la sobreresistencia inherente y capacidad de ductilidad global de los sistemas resistentes a fuerzas laterales, según las tablas 16-N o 16-P.

TABLA 16-P—FACTORES *R* Y Ω_o PARA ESTRUCTURAS NO EDILICIAS

TIPO DE ESTRUCTURAS	R	Ω_o
1. Recipientes, incluyendo tanques y esferas presurizadas, sobre patas con o sin arriostramiento.	2.2	2.0
2. Silos de hormigón vaciados en el lugar y chimeneas con muros continuos a la cimentación.	3.6	2.0
3. Estructuras en voladizo de masa distribuidas como pilas, chimeneas, silos y depósitos verticales soportados en faldones.	2.9	2.0
4. Torres de cerchas (independientes o contraventeadas), pilas, chimeneas contraventeadas.	2.9	2.0
5. Estructuras del tipo de columnas en voladizo.	2.2	2.0
6. Torres de enfriamiento.	3.6	2.0
7. Tolvas y depósitos, sobre patas con o sin arriostramiento.	2.9	2.0
8. Estantes de almacenamiento.	3.6	2.0
9. Señalización y carteleras.	3.6	2.0
10. Estructuras de atracciones y monumentos.	2.2	2.0
11. Todas las demás estructuras autosoportadas no incluidas en ningún otro tipo.	2.9	2.0

TABLA 16-N—SISTEMAS ESTRUCTURALES[1]

SISTEMA ESTRUCTURAL BÁSICO[2]	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS RESISTENTES A LAS FUERZAS LATERALES	*R*	w_o	ALTURA LÍMITE PARA LAS ZONAS SÍSMICAS 3 Y 4 (ft) x304.8 para mm
1. Sistema de muros de carga	1. Muros de estructuras ligeras con paneles de cortante			
	a. Muros de paneles estructurales de madera para estructuras de 3 pisos o menos	5.5	2.8	65
	b. Todos los demás muros con estructuras livianas	4.5	2.8	65
	2. Muros de cortante			
	a. Hormigón	4.5	2.8	160
	b. Albañilería	4.5	2.8	160
	3. Muros de carga de estructuras de acero ligero con arriostramiento sólo para tensión	2.8	2.2	65
	4. Estructuras arriostradas donde los arriostres trasmiten cargas por gravedad	4.4	2.2	160
	a. Acero	2.8	2.2	—
	b. Hormigón[3]			
	c. Maderos estructurales	2.8	2.2	65
2. Sistema de estructura de la edificación	1. Estructura de acero arriostrada excéntricamente (EBF)	7.0	2.8	240
	2. Muros de estructuras ligeras con paneles de cortante			
	a. Muros de paneles estructuales de madera para estructuras de 3 pisos o menos	6.5	2.8	65
	b. Todos los demás muros con estructuras livianas	5.0	2.8	65
	3. Muros de cortante	5.5	2.8	240
	a. Hormigón	5.5	2.8	160
	b. Albañilería			
	4. Estructuras comunes arriostradas	5.6	2.2	160
	a. Acero	5.6	2.2	—
	b. Hormigón[3]	5.6	2.2	65
	c. Maderos estructurales			
	5. Estructuras especiales arriostradas concéntricamente	6.4	2.2	240
	a. Acero			
3. Sistema de estructura resistente a los momentos	1. Estructuras especiales resistentes a los momentos (SMRF)			
	a. Acero	8.5	2.8	N.L.
	b. Hormigón[4]	8.5	2.8	N.L.
	2. Estructuras de muros de albañilería resistentes a los momentos (MMRWF)	6.5	2.8	160
	3. Estructuras intermedias de hormigón resistentes a los momentos (IMRF)[5]	5.5	2.8	—
	4. Estructuras comunes resistentes a los momentos (OMRF)			
	a. Acero[6]	4.5	2.8	160
	b. Hormigón[7]	3.5	2.8	—
	5. Estructuras de acero con cerchas especiales para momentos (STMF)	6.5	2.8	240
4. Sistemas dobles	1. Muros de cortante			
	a. Hormigón con SMRF	8.5	2.8	N.L.
	b. Hormigón con OMRF en acero	4.2	2.8	160
	c. Hormigón con IMRF[5] en hormigón	6.5	2.8	160
	d. Albañilería con SMRF	5.5	2.8	160
	e. Albañilería con OMRF en acero	4.2	2.8	160
	f. Albañilería con IMRF[5] en hormigón	4.2	2.8	—
	g. Albañilería con MMRWF en albañilería	6.0	2.8	160
	2. EBF en acero			
	a. Con SMRF en acero	8.5	2.8	N.L.
	b. Con OMRF en acero	4.2	2.8	160
	3. Estructuras comunes arriostradas			
	a. Acero con SMRF en acero	6.5	2.8	N.L.
	b. Acero con OMRF en acero	4.2	2.8	160
	c. Hormigón con SMRF[3] en hormigón	6.5	2.8	—
	d. Hormigón con IMRF[3] en hormigón	4.2	2.8	—
	4. Estructuras especiales arriostradas concéntricamente			
	a. Acero con SMRF en acero	7.5	2.8	N.L.
	b. Acero con OMRF en acero	4.2	2.8	160
5. Sistemas de edificación de columnas en voladizo	1. Elementos de columnas en voladizo	2.2	2.0	35[7]
6. Sistemas de interacción de estructuras y muros de cortante	1. Hormigón[8]	5.5	2.8	160
7. Sistemas indefinidos	Véase las Secciones 1629.6.7 y 1629.9.2	—	—	—

N.L. — no limite
[1] Véase en la Sección 1630.4 las combinaciones de sistemas estructurales.
[2] Los sistemas estructurales básicos se definen en la Sección 1629.6.
[3] Prohibido en las Zonas Sísmicas 3 y 4.
[4] Incluye hormigón prefabricado de acuerdo con la Sección 1921.2.7.
[5] Prohibido en las Zonas Sísmicas 3 y 4, excepto cuando lo permite la Sección 1634.2.
[6] Las estructuras comunes resistentes a los momentos en la Zona Sísmica 1 que cumplen los requisitos de la Sección 2211.6 pueden utilizar un valor *R* de 8.
[7] Altura total de la edificación incluyendo columnas en voladizo
[8] Prohibido en las Zonas Sísmicas 2A, 2B, 3 y 4. Véase la Sección 1633.2.7.

4.4. *INTERNATIONAL BUILDING CODE - IBC 2000 (SECCIÓN 1621.1.4)*

4.4.1. INTRODUCCIÓN

La ecuación principal, así como los rangos máximos y mínimos para la fuerza sísmica sobre sistemas y componentes no estructurales, planteados en este código difieren de lo planteado en el CSCR 2002. Por otro lado los parámetros que considera se mantienen invariables, estos parámetros son: la variación de la altura del sistema o componente en el edificio, el factor de importancia del edificio, el factor de modificación de la respuesta del sistema o componente y el factor de amplificación del sistema o componente. Además de que se varió ligeramente la ecuación para el cálculo de F_p, existen dos diferencias adicionales importantes: el CSCR 2002 considera la aceleración pico efectiva de la estructura y el IBC 2000 considera la aceleración espectral de diseño en periodo corto; además el IBC 2000 presenta una clasificación más detallada de los sistemas y componentes no estructurales, ofreciendo así más valores para los factores de modificación de la respuesta de amplificación del sistema o componente.

Adicionalmente en el cálculo del coeficiente sísmico de la estructura soportante del sistema o componente no estructural se determina a partir de la aceleración de diseño en periodo corto S_{DS}, el factor de modificación de respuesta de la estructura R, factor de importancia de ocupación I_E y el periodo fundamental de la estructura T.

4.4.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA

Según la sección 1621.1.4 del IBC 2000, las fuerzas sísmicas, F_p, se determinan por medio de:

$$F_p = \frac{0.4 a_p S_{DS} W_P}{\frac{R_P}{I_P}} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) \qquad \text{Ecuación 16.67}$$

Y los valores de F_p deben ser mayores que los obtenidos por:

$$F_p = 0.3 S_{DS} I_P W_P \qquad \text{Ecuación 16.68}$$

Y menores que los obtenidos por:

$$F_p = 1.6 S_{DS} I_P W_P \qquad \text{Ecuación 16.69}$$

Donde:

- F_p = fuerza sísmica de diseño, aplicada en el centro de gravedad del componente y distribuida según la distribución de su masa.
- W_p = peso de operación del componente.
- z = elevación del punto de anclaje del componente en la estructura. Para elementos a nivel de la base o debajo de esta, la altura se debe tomar como 0. Para objetos que se encuentren sobre el techo, z no se debe tomar mayor que la altura de este, h.
- H = altura promedio del techo de la estructura, relativo a la base de la misma.
- I_p = factor de importancia del componente, este puede ser igual a 1.00 o a 1.50, según la sección 1621.1.6, en la que es establece que:
  - I_p = 1.5 Componente de seguridad cuya función es requerida luego de un sismo.
  - I_p = 1.5 Componente que contiene material peligroso o inflamable en cantidades que exceden lo dictado para sistemas abiertos en el capítulo 4.
  - I_p = 1.5 Estantes de almacenaje en lugares abiertos al público en general.
  - I_p = 1.5 componentes necesarios para que la edificación continúe funcionando.
  - I_p = 1.0 el resto de los componentes.
- a_p = factor de amplificación del componente, que varía de 1.00 a 2.50 y se toma de las tablas 1621.2 y 1621.3.
- R_p = factor de modificación de respuesta del componente, este puede ser igual a 1.00 o a 1.50, según las tablas 1621.2 y 1621.3.

TABLE 1621.3
MECHANICAL AND ELECTRICAL COMPONENTS COEFFICIENTS

MECHANICAL AND ELECTRICAL COMPONENT OR ELEMENT	Component Amplification Factor (a_P)[a]	Component Response Mofiification Factor *Rp*
1. General mechanical		
a. Boilers and furnaces	1.0	2.5
b. Pressure vessels on skirts and free-standing	2.5	2.5
c. Stacks	2.5	2.5
d. Cantilevered chimneys	2.5	2.5
e. Other	1.0	2.5
2. Manufacturing and process machinery		
a. General	1.0	2.5
b. Conveyors (nonpersonnel)	2.5	2.5
3. Piping systems		
a. High deformability elements and attachments	1.0	3.5
b. Limited deformability elements and attachments	1.0	2.5
c. Low deformability elements or attachments	1.0	1.25
4. HVAC system equipment		
a. Vibration isolated	2.5	2.5
b. Nonvibration isolated	1.0	2.5
c. Mounted in-line with ductwork	1.0	2.5
d. Other	1.0	2.5
5. Elevator components	1.0	2.5
6. Escalator components	1.0	2.5
7. Trussed towers (free-standing or guyed)	2.5	2.5
8. General electrical		
a. Distributed systems (bus ducts, conduit, cable tray)	1.0	3.5
b. Equipment	1.0	2.5

a. Where justified by detailed dynamic analyses, a lower value of a_p is permitted, but shall not be less than 1. The reduced value of a_p shall be between 2.5, assigned to flexible or flexibly attached equipment, and 1, assigned to rigid or rigidly attached equipment.

TABLE 1621.2
ARCHITECTURAL COMPONENTS COEFFICIENTS

ARCHITECTURAL COMPONENT OR ELEMENT	Component Amplification Factor a_p[a]	Component Response Modification Factor R_p
1. Interior nonstructural walls and partitions (see also Section 1621.2.7)		
a. Plain (unreinforced) masonry walls	1.0	1.25
b. Other walls and partitions	1.0	2.5
2. Cantilever elements (unbraced or braced to structural frame below its center of mass)		
a. Parapets and cantilever interior nonstructural walls	2.5	2.5
b. Chimneys and stacks when laterally braced or supported by the structural frame	2.5	2.5
3. Cantilever elements (braced to structural frame above its center of mass)		
a. Parapets	1.0	2.5
b. Chimneys and stacks	1.0	2.5
c. Exterior nonstructural walls	1.0	2.5
4. Exterior nonstructural wall elements and connections (see also Section 1621.2.3)		
a. Wall element	1.0	2.5
b. Body of wall panel connections	1.0	2.5
c. Fasteners of the connecting system	1.25	1.0
5. Veneer		
a. Limited deformability elements and attachments	1.0	2.5
b. Low deformability elements or attachments	1.0	1.25
6. Penthouses (except when framed by an extension of the building frame)	2.5	3.5
7. Ceilings (see also Section 1621.2.5)	1.0	2.5
8. Cabinets		
a. Storage cabinets and laboratory equipment	1.0	2.5
9. Access floors (see also Section 1621.2.6)		
a. Special access floors (designed in accordance with Section 1621.2.6.1)	1.0	2.5
b. All other	1.0	1.25
10. Appendages and ornamentations	2.5	2.5
11. Signs and billboards	2.5	2.5
12. Other rigid components		
a. High deformability elements and attachments	1.0	3.5
b. Limited deformability elements and attachments	1.0	2.5
c. Low deformability materials and attachments	1.0	1.25
13. Other flexible components		
a. High deformability elements and attachments	1.0	3.5
b. Limited deformability elements and attachments	2.5	2.5
c. Low deformability materials and attachments	2.5	1.25

- S_{DS} = aceleración de respuesta espectral de diseño en periodo corto, según se determina en la sección 1615.1.3, en la que es establece que:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \qquad \text{Ecuación 16-18}$$

Donde:

$$S_{MS} = F_a S_s \qquad \text{Ecuación 16-16}$$

Donde:

- S_{MS} = es la aceleración de respuesta espectral para periodo corto del mayor sismo considerado. Y se calcula de la siguiente manera
- S_s = aceleración espectral por zona, para periodos cortos. Según se define en los mapas de la sección 1615.1.

FIGURE 1615(1)
MAXIMUM CONSIDERED EARTHQUAKE GROUND MOTION FOR
THE CONTERMINOUS UNITED STATES OF 0.2 SEC SPECTRAL RESPONSE
ACCELERATION (5 PERCENT OF CRITICAL DAMPING), SITE CLASS B

- F_a = coeficiente de sitio definido en la tabla 1615.1.2 (1).

TABLE 1615.1.2(1)
VALUES OF SITE COEFFICIENT F_a AS A FUNCTION OF SITE CLASS AND MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT SHORT PERIODS (S_S)[a]

SITE CLASS	MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT SHORT PERIODS				
	$S_S \le 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S \ge 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	Note b
F	Note b	Note b	Note b	Note b	Note b

a. Use straight line interpolation for intermediate values of mapped spectral acceleration at short period, S_S.
b. Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed to determine appropriate values.

TABLE 1615.1.1
SITE CLASS DEFINITIONS

SITE CLASS	SOIL PROFILE NAME	AVERAGE PROPERTIES IN TOP 100 feet, AS PER SECTION 1615.1.5		
		Soil shear wave velocity, $\overline{v}_s$, (ft/s)	Standard penetration resistance, $\overline{N}$	Soil undrained shear strength, $\overline{s}_u$, (psf)
A	Hard rock	$\overline{v}_s > 5{,}000$	Not applicable	Not applicable
B	Rock	$2{,}500 < \overline{v}_s \le 5{,}000$	Not applicable	Not applicable
C	Very dense soil and soft rock	$1{,}200 < \overline{v}_s \le 2{,}500$	$\overline{N} > 50$	$\overline{s}_u \ge 2{,}000$
D	Stiff soil profile	$600 \le \overline{v}_s \le 1{,}200$	$15 \le \overline{N} \le 50$	$1{,}000 \le \overline{s}_u \le 2{,}000$
E	Soft soil profile	$\overline{v}_s < 600$	$\overline{N} < 15$	$\overline{s}_u < 1{,}000$
E	—	Any profile with more than 10 feet of soil having the following characteristics: 1. Plasticity index $PI > 20$; 2. Moisture content $w \ge 40\%$, and 3. Undrained shear strength $s_u < 500$ psf		
F	—	Any profile containing soils having one or more of the following characteristics: 1. Soils vulnerable to potential failure or collapse under seismic loading such as liquefiable soils, quick and highly sensitive clays, collapsible weakly cemented soils. 2. Peats and/or highly organic clays ($H > 10$ feet of peat and/or highly organic clay where H = thickness of soil) 3. Very high plasticity clays ($H > 25$ feet with plasticity index $PI > 75$) 4. Very thick soft/medium stiff clays ($H > 120$ ft)		

For SI: 1 foot = 304.8 mm, 1 square foot = 0.0929 m², 1 pound per square foot = 0.0479 kPa.

Además en la sección 1621.1.1 se establece que a los elementos no estructurales se les debe asignar la misma categoría de diseño sísmico que la asignada a la estructura en la que se encuentran. Estas categorías de diseño se definen en la sección 1616, en la que se muestran las siguientes tablas donde la categoría de diseño sísmico para cada grupo de uso sísmico está basada en la aceleración de respuesta espectral en periodo corto, S_{DS}, y en la aceleración de respuesta espectral en periodo de un segundo S_{D1}.

TABLE 1616.3(1)
SEISMIC DESIGN CATEGORY BASED ON SHORT PERIOD RESPONSE ACCELERATIONS

VALUE OF S_{DS}	SEISMIC USE GROUP		
	I	II	III
$S_{DS} < 0.167g$	A	A	A
$0.167g \le S_{DS} < 0.33g$	B	B	C
$0.33g \le S_{DS} < 0.50g$	C	C	D
$0.50g \le S_{DS}$	D[a]	D[a]	D[a]

a. Seismic Use Groups I and II structures located on sites with mapped maximum considered earthquake spectral response acceleration at 1-second period, S_1, equal to or greater than 0.75g, shall be assigned to Seismic Design Category E, and Seismic Use Group III structures located on such sites shall be assigned to Seismic Design Category F.

TABLE 1616.3(2)
SEISMIC DESIGN CATEGORY BASED ON 1 SECOND PERIOD RESPONSE ACCELERATION

VALUE OF S_{D1}	SEISMIC USE GROUP		
	I	II	III
$S_{D1} < 0.067g$	A	A	A
$0.067g \le S_{D1} < 0.133g$	B	B	C
$0.133g \le S_{D1} < 0.20g$	C	C	D
$0.20g \le S_{D1}$	D[a]	D[a]	D[a]

a. Seismic Use Groups I and II structures located on sites with mapped maximum considered earthquake spectral response acceleration at 1-second period, S_1, equal to or greater than 0.75g, shall be assigned to Seismic Design Category E, and Seismic Use Group III structures located on such sites shall be assigned to Seismic Design Category F.

Por otro lado los grupos de uso sísmico están definidos en la tabla 1604.5 y se mencionan también en la sección 1616.2.

TABLE 1604.5
CLASSIFICATION OF BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES FOR IMPORTANCE FACTORS

CATEGORY[a]	NATURE OF OCCUPANCY	SEISMIC FACTOR I_E	SNOW FACTOR I_S	WIND FACTOR I_W
I	Buildings and other structures except those listed in Categories II, III and IV	1.00	1.0	1.00
II	Buildings and other structures that represent a substantial hazard to human life in the event of failure including, but not limited to: • Buildings and other structures where more than 300 people congregate in one area • Buildings and other structures with elementary school, secondary school or day-care facilities with capacity greater than 250 • Buildings and other structures with a capacity greater than 500 for colleges or adult education facilities • Health care facilities with a capacity of 50 or more resident patients but not having surgery or emergency treatment facilities • Jails and detention facilities • Any other occupancy with an occupant load greater than 5,000 • Power-generating stations, water treatment for potable water, waste water treatment facilities and other public utility facilities not included in Category III • Buildings and other structures not included in Category III containing sufficient quantities of toxic or explosive substances to be dangerous to the public if released	1.25	1.1	1.15
III	Buildings and other structures designated as essential facilities including, but not limited to: • Hospitals and other health care facilities having surgery or emergency treatment facilities • Fire, rescue and police stations and emergency vehicle garages • Designated earthquake, hurricane or other emergency shelters • Designated emergency preparedness, communication, and operation centers and other facilities required for emergency response • Power-generating stations and other public utility facilities required as emergency back-up facilities for Category III structures • Structures containing highly toxic materials as defined by Section 307 where the quantity of the material exceeds the maximum allowable quantity of Table 307.7(2) • Aviation control towers, air traffic control centers and emergency aircraft hangars • Buildings and other structures having critical national defense functions • Water treatment facilities required to maintain water pressure for fire suppression	1.50	1.2	1.15
IV	Buildings and other structures that represent a low hazard to human life in the event of failure including, but not limited to: • Agricultural facilities • Certain temporary facilities • Minor storage facilities	1.00	0.8	0.87[b]

a. "Category" is equivalent to "Seismic Use Group" for the purposes of Section 1616.2.
b. In hurricane-prone regions with V>100 miles per hour, I_w shall be 0.77.

Los siguientes componentes no estructurales están exentos de los requerimientos de este capítulo:

- Todos los componentes de la categoría de diseño A

- Componentes arquitectónicos de la categoría de diseño sísmico B, más no los parapetos soportados por muros de carga o de corte. Y siempre y cuando el factor de importancia del componente sea igual a 1.0.
- Componentes eléctricos y mecánicos de la categoría de diseño de sísmico B.
- Componentes eléctricos y mecánicos de la categoría de diseño de sísmico C para los que el factor de importancia del componente sea igual a 1.0.
- Componentes eléctricos y mecánicos de cualquiera de las categorías de diseño de sísmico, para los que el factor de importancia del componente sea igual a 1.0, con conexiones flexibles entre los componentes y sus ductos, tuberías y conductos asociados, y que estén montados a 1.22 m o menos del nivel de piso y no pesen más de 1780 N. Además que no sean esenciales para que la estructura continúe funcionando.
- Componentes eléctricos y mecánicos de las categorías de diseño de sísmico D, E y F para los que el factor de importancia del componente sea igual a 1.0, con conexiones flexibles entre los componentes y sus ductos, tuberías y conductos asociados. Además que pesen 89 N o menos.

En el caso de las estructuras en las categorías de diseño D, E y F, si el peso combinado de los componentes soportados y las estructuras misceláneas con componentes flexibles de características dinámicas, excede el 25% del peso de la estructura, el diseño de la estructura deberá ser realizado considerando los efectos de la interacción entre la estructura y los elementos soportados.

4.4.3. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO

La sección 1617.4 muestra el procedimiento para obtener la fuerza lateral equivalente para el diseño sísmico de edificios, donde el cortante sísmico en la base se obtiene a partir de:

$$V = C_s W \qquad \text{Ecuación 16-34}$$

Donde:

- C_s = coeficiente de respuesta sísmica.
- W = peso sísmico efectivo de la estructura.

El coeficiente de respuesta sísmica se obtiene a partir de:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_E}\right)} \qquad \text{Ecuación 16-35}$$

Donde:

- I_E = factor de importancia de ocupación, según se determina en la sección 1616.2.
- S_{DS} = aceleración de respuesta espectral, según se determina en la sección 1615.1.3.

El valor del coeficiente de respuesta sísmica no debe ser mayor a:

$$C_S = \frac{S_{D1}}{\left(\frac{R}{I_E}\right)T} \qquad \text{Ecuación 16-36}$$

Pero tampoco debe ser menor que:

$$C_S = 0.044 S_{DS} I_E \qquad \text{Ecuación 16-37}$$

Para estructuras de las categorías de diseño sísmico E o F y para las estructuras cuya respuesta espectral de 1-segundo, S1, es igual o mayor que 0.6g, el valor del coeficiente de respuesta sísmica no debe ser menor que:

$$C_S = \frac{0.5 S_1}{\left(\frac{R}{I_E}\right)} \qquad \text{Ecuación 16-38}$$

Donde:

- S_{D1} = aceleración de respuesta espectral de diseño para periodo de 1-segundo, según se determina en la sección 1615.1.3. Y se calcula de forma similar al S_{DS}.
- S_1 = aceleración de respuesta espectral para periodo de 1-segundo ante el máximo sismo considerado, según se determina en la sección 1615.1.
- R = factor de modificación de respuesta, según la tabla 1617.6.

TABLE 1617.6
DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEMS

BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEM	DETAILING REFERENCE SECTION	RESPONSE MODIFICATION COEFFICIENT, R^a	SYSTEM OVER-STRENGTH FACTOR, $\Omega_0{}^g$	DEFLECTION AMPLIFICATION FACTOR, $C_d{}^b$	SYSTEM LIMITATIONS AND BUILDING HEIGHT LIMITATIONS (FEET) BY SEISMIC DESIGN CATEGORY[C] AS DETERMINED IN SECTION 1616.3				
					A or B	C	D[d]	E[e]	F[e]
1. Bearing Wall Systems									
A. Ordinary steel braced frames	(14)[j] 2211	4	2	3½	NL	NL	160	160	160
B. Special reinforced concrete shear walls	1910.2.4	5½	2½	5	NL	NL	160	160	160
C. Ordinary reinforced concrete shear walls	1910.2.3	4½	2½	4	NL	NL	NP	NP	NP
D. Detailed plain concrete shear walls	1910.2.2	2½	2½	2	NL	NP	NP	NP	NP
E. Ordinary plain concrete shear walls	1910.2.1	1½	2½	1½	NL	NP	NP	NP	NP
F. Special reinforced masonry shear walls	2106.1.1.5	5	2½	3½	NL	NL	160	160	100
G. Intermediate reinforced masonry shear walls	2106.1.1.4	3½	2½	2¼	NL	NL	NP	NP	NP
H. Ordinary reinforced masonry shear walls	2106.1.1.2	2½	2½	1¾	NL	160	NP	NP	NP
I. Detailed plain masonry shear walls	2106.1.1.3	2	2½	1¾	NL	NP	NP	NP	NP
J. Ordinary plain masonry shear walls	2106.1.1.1	1½	2½	1¼	NL	NP	NP	NP	NP
K. Light frame walls with shear panels—wood structural panels/sheet steel panels	2306.4.1/ 2211	6	3	4	NL	NL	65	65	65
L. Light frame walls with shear panels—all other materials	2306.4.5	2	2 ½	2	NL	NL	35	NP	NP
2. Building Frame Systems									
A. Steel eccentrically braced frames, moment-resisting, connections at columns away from links	(15)[j]	8	2	4	NL	NL	160	160	100
B. Steel eccentrically braced frames, nonmoment resisting, connections at columns away from links	(15)[j]	7	2	4	NL	NL	160	160	100
C. Special steel concentrically braced frames	(13)[j]	6	2	5	NL	NL	160	160	100
D. Ordinary steel concentrically braced frames	(14)[j]	5	2	4½	NL	NL	160	100	100
E. Special reinforced concrete shear walls	1910.2.4	6	2½	5	NL	NL	160	160	100
F. Ordinary reinforced concrete shear walls	1910.2.3	5	2½	4½	NL	NL	NP	NP	NP
G. Detailed plain concrete shear walls	1910.2.2	3	2½	2½	NL	NP	NP	NP	NP
H. Ordinary plain concrete shear walls	1910.2.1	2	2½	2	NP	NP	NP	NP	NP
I. Composite eccentrically braced frames	(14)[k]	8	2	4	NL	NL	160	160	100

TABLE 1617.6—continued
DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEMS

BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEM	DETAILING REFERENCE SECTION	RESPONSE MODIFICATION COEFFICIENT, R^a	SYSTEM OVER-STRENGTH FACTOR, $\Omega_0{}^g$	DEFLECTION AMPLIFICATION FACTOR, $C_d{}^b$	SYSTEM LIMITATIONS AND BUILDING HEIGHT LIMITATIONS (FEET) BY SEISMIC DESIGN CATEGORY[C] AS DETERMINED IN SECTION 1616.3				
					A or B	C	D[d]	E[e]	F[e]
J. Composite concentrically braced frames	(13)[k]	5	2	4½	NL	NL	160	160	100
K. Ordinary composite braced frames	(12)[k]	3	2	3	NL	NL	NP	NP	NP
L. Composite steel plate shear walls	(17)[k]	6½	2½	5½	NL	NL	160	160	100
M. Special composite reinforced concrete shear walls with steel elements	(16)[k]	6	2½	5	NL	NL	160	160	100
N. Ordinary composite reinforced concrete shear walls with steel elements	(15)[k]	5	2½	4½	NL	NL	NP	NP	NP
O. Special reinforced masonry shear walls	2106.1.1.5	5½	2½	4	NL	NL	160	160	100
P. Intermediate reinforced masonry shear walls	2106.1.1.4	4	2½	2½	NL	NL	NP	NP	NP
Q. Ordinary reinforced masonry shear walls	2106.1.1.2	3	2½	2¼	NL	160	NP	NP	NP
R. Detailed plain masonry shear walls	2106.1.1.3	2½	2½	2¼	NL	NP	NP	NP	NP
S. Ordinary plain masonry shear walls	2106.1.1.1	1½	2½	1¼	NL	NP	NP	NP	NP
T. Light frame walls with shear panels—wood structural panels/sheet steel panels	2306.4.1/ 2211	6½	2½	4½	NL	NL	65	65	65
U. Light frame walls with shear panels—all other materials	2306.4.5	2½	2½	2½	NL	NL	35	NP	NP
3. Moment-resisting Frame Systems									
A. Special steel moment frames	(9)[j]	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
B. Special steel truss moment frames	(12)[j]	7	3	5½	NL	NL	160	100	NP
C. Intermediate steel moment frames	(10)[j]	6	3	5	NL	NL	160	100	NP[h]
D. Ordinary steel moment frames	(11)[j]	4	3	3½	NL	NL	35[h]	NP[h,i]	NP[h,i]
E. Special reinforced concrete moment frames	(21.1)[l]	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
F. Intermediate reinforced concrete moment frames	(21.1)[l]	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
G. Ordinary reinforced concrete moment frames	(21.1)[l]	3	3	2½	NL	NP	NP	NP	NP
H. Special composite moment frames	(9)[k]	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
I. Intermediate composite moment frames	(10)[k]	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
J. Composite partially restrained moment frames	(8)[k]	6	3	5½	160	160	100	NP	NP
K. Ordinary composite moment frames	(11)[k]	3	3	2½	NL	NP	NP	NP	NP
L. Masonry wall frames	2108.9.6 2106.1.1.6	5½	3	5	NL	NL	160	160	100

TABLE 1617.6—continued
DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEMS

BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEM	DETAILING REFERENCE SECTION	RESPONSE MODIFICATION COEFFICIENT, R[a]	SYSTEM OVER-STRENGTH FACTOR, Ω_0[g]	DEFLECTION AMPLIFICATION FACTOR, C_d[b]	SYSTEM LIMITATIONS AND BUILDING HEIGHT LIMITATIONS (FEET) BY SEISMIC DESIGN CATEGORY[c] AS DETERMINED IN SECTION 1616.3				
					A or B	C	D[d]	E[e]	F[e]
4. Dual Systems with Special Moment Frames									
A. Steel eccentrically braced frames, moment-resisting connections, at columns away from links	(15)[j]	8	2½	4	NL	NL	NL	NL	NL
B. Steel eccentrically braced frames, nonmoment-resisting connections, at columns away from links	(15)[j]	7	2½	4	NL	NL	NL	NL	NL
C. Special steel concentrically braced frames	(13)[j]	8	2½	6½	NL	NL	NL	NL	NL
D. Ordinary steel concentrically braced frames	(14)[j]	6	2½	5	NL	NL	NL	NL	NL
E. Special reinforced concrete shear walls	1910.2.4	8	2½	6½	NL	NL	NL	NL	NL
F. Ordinary reinforced concrete shear walls	1910.2.3	7	2½	6	NL	NL	NP	NP	NP
G. Composite eccentrically braced frames	(14)[k]	8	2½	4	NL	NL	NL	NL	NL
H. Composite concentrically braced frames	(13)[k]	6	2½	5	NL	NL	NL	NL	NL
I. Composite steel plate shear walls	(17)[k]	8	2½	6½	NL	NL	NL	NL	NL
J. Special composite reinforced concrete shear walls with steel elements	(16)[k]	8	2½	6½	NL	NL	NL	NL	NL
K. Ordinary composite reinforced concrete shear walls with steel elements	(15)[k]	7	2½	6	NL	NL	NP	NP	NP
L. Special reinforced masonry shear walls	2106.1.1.5	7	3	6½	NL	NL	NL	NL	NL
M. Intermediate reinforced masonry shear walls	2106.1.1.4	6½	3	5½	NL	NL	NP	NP	NP
5. Dual Systems with Intermediate Moment Frames									
A. Special steel concentrically braced frames[f]	(13)[j]	6	2½	5	NL	NL	160	100	NP
B. Ordinary steel concentrically braced frames[f]	(14)[j]	5	2½	4½	NL	NL	160	100	NP
C. Special reinforced concrete shear walls	1910.2.4	6	2½	5	NL	NL	160	100	100
D. Ordinary reinforced concrete shear walls	1910.2.3	5½	2½	4½	NL	NL	NP	NP	NP
E. Ordinary reinforced masonry shear walls	2106.1.1.2	3	3	2½	NL	160	NP	NP	NP
F. Intermediate reinforced masonry shear walls	2106.1.1.4	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
G. Composite concentrically braced frames	(13)[k]	5	2½	4½	NL	NL	160	100	NP
H. Ordinary composite braced frames	(12)[k]	4	2½	3	NL	NL	NP	NP	NP
I. Ordinary composite reinforced concrete shear walls with steel elements	(15)[k]	5½	2½	4½	NL	NL	NP	NP	NP

TABLE 1617.6—continued
DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEMS

BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEM	DETAILING REFERENCE SECTION	RESPONSE MODIFICATION COEFFICIENT, R[a]	SYSTEM OVER-STRENGTH FACTOR, Ω_0[g]	DEFLECTION AMPLIFICATION FACTOR, C_d[b]	SYSTEM LIMITATIONS AND BUILDING HEIGHT LIMITATIONS (FEET) BY SEISMIC DESIGN CATEGORY[c] AS DETERMINED IN SECTION 1616.3				
					A or B	C	D[d]	E[e]	F[e]
J. Shear wall-frame interactive system with ordinary reinforced concrete moment frames and ordinary reinforced concrete shear walls	21.1[l] 1910.2.3	5½	2½	5	NL	NP	NP	NP	NP
6. Inverted Pendulum Systems									
A. Cantilevered column systems		2½	2	2½	NL	NL	35	35	35
B. Special steel moment frames	(9)[j]	2½	2	2½	NL	NL	NL	NL	NL
C. Ordinary steel moment frames	(11)[j]	1¼	2	2½	NL	NL	NP	NP	NP
D. Special reinforced concrete moment frames	21.1[l]	2½	2	1¼	NL	NL	NL	NL	NL
7. Structural steel systems not specifically detailed for seismic resistance	AISC—ASD AISC—LRFD AISI AISC—HSS	3	3	3	NL	NL	NP	NP	NP

For SI: 1 foot = 304.8 mm, 1 pound per square foot = 0.0479 KN/m².

a. Response modification coefficient, R, for use throughout.

b. Deflection amplification factor, C_d.

c. NL = not limited and NP = not permitted.

d. See Section 1617.6.4.1 for a description of building systems limited to buildings with a height of 240 feet or less.

e. See Section 1617.6.4.1 for building systems limited to buildings with a height of 160 feet or less.

f. Ordinary moment frame is permitted to be used in lieu of intermediate moment frame in Seismic Design Categories B and C.

g. The tabulated value of the overstrength factor, Ω_0, may be reduced by subtracting ½ for structures with flexible diaphragms but shall not be taken as less than 2.0 for any structure.

h. Steel ordinary moment frames and intermediate moment frames are permitted in single story buildings up to a height of 60 feet, when the moment joints of field connections are constructed of bolted end plates and the dead load of the roof does not exceed 15 pounds per square foot. The dead weight of the portion of walls more than 35 feet above the base shall not exceed 15 pounds per square foot.

i. Steel ordinary moment frames are permitted in buildings up to a height of 35 feet, where the dead load of the walls, floors and roof does not exceed 15 pounds per square foot.

j. AISC Seismic Part I or Part III, Section number.

k. AISC Seismic Part II, Section number.

l. ACI 318, Section number.

- T = el periodo fundamental del edificio, en segundos, según se determina en la sección 1617.4.2, donde se muestra que una aproximación del periodo fundamental del edificio, se puede obtener de la siguiente ecuación, siempre y cuando las estructuras no excedan doce pisos de altura y que las mismas estén compuestas por sistemas sismorresistentes conformados completamente por marcos de concreto o acero y que la altura de cada piso sea de al menos 3 m.

$$T_a = 0.1N \qquad \text{Ecuación 16-40}$$

Donde:

- N = es el número de pisos.
- T_a = es una aproximación del periodo fundamental de la estructura.

4.5. *AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - SEI/ASCE 7 2002 (SECCIÓN 9.6.1.3)*

4.5.1. INTRODUCCIÓN

Este código presenta las mismas ecuaciones que el IBC 2000, mantienen invariables, los parámetros de: la variación de la altura del sistema o componente en el edificio, el factor de importancia del edificio, el factor de modificación de la respuesta del sistema o componente y el factor de amplificación del sistema o componente. La única diferencia de este código con el IBC 2000 es que el ASCE 7 2002 posee mayor detalle en la clasificación de los sistemas y componentes no estructurales, brindando más valores de a_p y R_p. En este código el rango de valores de R_p es de 1 a 5, mientras que en el CSCR 2002 el rango de R_p es de 1 a 4.

Adicionalmente en el cálculo del coeficiente sísmico de la estructura soportante del sistema o componente no estructural se determina a partir de la aceleración de diseño en periodo corto S_{DS}, el factor de modificación de respuesta de la estructura R y el periodo fundamental de la estructura T.

4.5.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA

Según esta sección, la fuerza sísmica Fp se determina según la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{0.4 a_p S_{DS} W_P}{\frac{R_P}{I_P}} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) \qquad \text{Ecuación 9.6.1.3-1}$$

F_p no se deberá tomar mayor que:

$$F_{p=} 1.6 S_{DS} I_P W_P \qquad \text{Ecuación 9.6.1.3-2}$$

F_p no se deberá tomar menor que:

$$F_p = 0.3 S_{DS} I_P W_P \qquad \text{Ecuación 9.6.1.3-3}$$

- F_p = fuerza sísmica de diseño aplicada al centro de gravedad del componente y distribuida según la distribución de su masa.
- W_p = peso de operación del componente.

- z = elevación del punto de anclaje del componente en la estructura con respecto a la base. Para elementos a nivel de la base o debajo de esta, la altura se debe tomar como 0. El valor de z/h no debe exceder 1.0.
- h = altura promedio del techo de la estructura, con respecto a la base de la misma.
- I_p= factor de importancia del componente, este varia de 1.00 a 1.50, según la sección 9.6.1.5, en la que se establece que Ip, tendrá un valor asignado de 1.5 en los siguientes casos:
    - Componente cuyo funcionamiento es requerido, con propósitos de seguridad, luego de un evento sísmico. Esto incluye elementos del sistema de rociadores anti-incendio.
    - El componente que contiene material peligroso.
    - Estantes en estructuras abiertas al público.
    - El componente que se encuentra dentro de una estructura del grupo de uso sísmico III, según este código, y que sea requerido para que las instalaciones continúen operando de forma adecuada.

  Todos los otros componentes tendrán un factor Ip, asignado igual a 1.0.
- a_p = factor de amplificación del componente, que varía de 1.00 a 2.50 y se toma de las tablas 9.6.2.2 o 9.6.3.2.
- R_p = factor de modificación de respuesta del componente, que varía de 1.50 a 5.00, según las tablas 9.6.2.2 o 9.6.3.2.

TABLE 9.6.2.2
ARCHITECTURAL COMPONENT COEFFICIENTS

Architectural Component or Element	a_p[a]	R_p[b]
Interior Nonstructural Walls and Partitions		
Plain (unreinforced) masonry walls	1	1.5
All other walls and partitions	1	2.5
Cantilever Elements (Unbraced or Braced to Structural Frame Below Its Center of Mass)		
Parapets and cantilever interior nonstructural walls	2.5	2.5
Chimneys and stacks when laterally braced or supported by the structural frame	2.5	2.5
Cantilever Elements (Braced to Structural Frame Above Its Center of Mass)		
Parapets	1.0	2.5
Chimneys and stacks	1.0	2.5
Exterior nonstructural walls	1.0[b]	2.5
Exterior Nonstructural Wall Elements and Connections		
Wall element	1	2.5
Body of wall panel connections	1	2.5
Fasteners of the connecting system	1.25	1
Veneer		
Limited deformability elements and attachments	1	2.5
Low deformability elements and attachments	1	2.5
Penthouses (Except when Framed by an Extension of the Building Frame)	2.5	3.5
Ceilings		
All	1	2.5
Cabinets		
Storage cabinets and laboratory equipment	1	2.5
Access Floors		
Special access floors (designed in accordance with Section 9.6.2.7.2)	1	2.5
All other	1	1.5
Appendages and Ornamentations	2.5	2.5
Signs and Billboards	2.5	2.5
Other Rigid Components		
High deformability elements and attachments	1	3.5
Limited deformability elements and attachments	1	2.5
Low deformability materials and attachments	1	1.5
Other Flexible Components	2.5	3.5
High deformability elements and attachments	2.5	2.5
Limited deformability elements and attachments	2.5	1.5
Low deformability materials and attachments		

[a] A lower value for a_p shall not be used unless justified by detailed dynamic analysis. The value for a_p shall not be less than 1.00. The value of $a_p = 1$ is for equipment generally regarded as rigid and rigidly attached. The value of $a_p = 2.5$ is for equipment generally regarded as flexible or flexibly attached. See Section 9.2.1 for definitions of rigid and flexible.

[b] Where flexible diaphragms provide lateral support for walls and partitions, the design forces for anchorage to the diaphragm shall be as specified in Section 9.5.2.6.

TABLE 9.6.3.2
MECHANICAL AND ELECTRICAL COMPONENTS SEISMIC COEFFICIENTS

Mechanical and Electrical Component or Element[b]	a_p[a]	R_p
General Mechanical Equipment		
Boilers and furnaces	1.0	2.5
Pressure vessels on skirts and free-standing	2.5	2.5
stacks	2.5	2.5
Cantilevered chimneys	2.5	2.5
Other	1.0	2.5
Manufacturing and Process Machinery		
General	1.0	2.5
Conveyors (non-personnel)	2.5	2.5
Piping Systems		
High deformability elements and attachments	1.0	3.5
Limited deformability elements and attachments	1.0	2.5
Low deformability elements and attachments	1.0	1.5
HVAC Systems		
Vibration isolated	2.5	2.5
Nonvibration isolated	1.0	2.5
Mounted in-line with ductwork	1.0	2.5
Other	1.0	2.5
Elevator Components	1.0	2.5
Escalator Components	1.0	2.5
Trussed Towers (free-standing or guyed)	2.5	2.5
General Electrical		
Distribution systems (bus ducts, conduit, cable tray)	2.5	5.0
Equipment	1.0	2.5
Lighting Fixtures	1.0	1.5

[a] A lower value for a_p shall not be used unless justified by detailed dynamic analyses. The value for a_p shall not be less than 1.00. The value of $a_p = 1$ is for equipment generally regarded as rigid or rigidly attached. The value of $a_p = 2.5$ is for equipment generally regarded as flexible or flexibly attached. See Section 9.2.2 for definitions of rigid and flexible.
[b] Components mounted on vibration isolation systems shall have a bumper restraint or snubber in each horizontal direction. The design force shall be taken as $2F_p$ if the maximum clearance (air gap) between the equipment support frame and restraint is greater than 1/4 in. If the maximum clearance is specified on the construction documents to be not greater than 1/4 in., the design force may be taken as F_p.

- S_{DS} = aceleración espectral, en periodo corto, según se determina en la sección 9.4.1.2.5, en la que es establece que:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \qquad \text{Ecuación 9.4.1.2.5-1}$$

Donde:

- S_{MS} = es la aceleración de respuesta espectral para periodo corto del mayor sismo considerado. Y se calcula de la siguiente manera:

$$S_{MS} = F_a S_s \qquad \text{Ecuación 9.4.1.2.4-1}$$

Donde:

- S_s = aceleración de respuesta espectral en periodo corto por zona para el máximo sismo considerado. Según se define en los mapas 9.4.1.1a hasta el 9.4.1.1j.

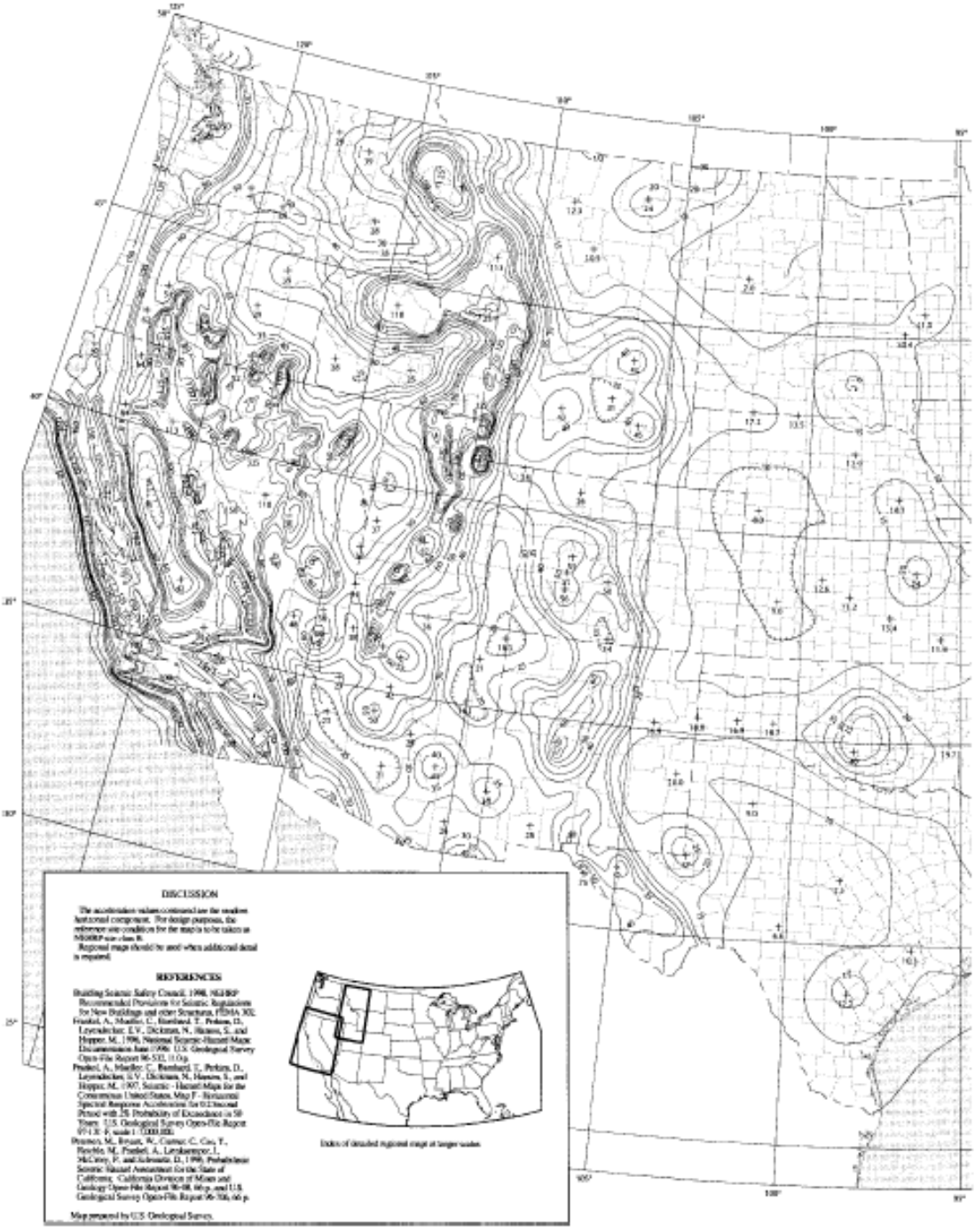


FIGURE 9.4.1.1(a)
MAXIMUM CONSIDERED EARTHQUAKE GROUND MOTION FOR CONTERMINOUS UNITED STATES. OF 0.2 s SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION (5% OF CRITICAL DAMPING), SITE CLASS B

- F_a = coeficiente de sitio definido en la tabla 9.4.1.2.4a.

TABLE 9.4.1.2.4a
VALUES OF F_a AS A FUNCTION OF SITE CLASS AND MAPPED SHORT PERIOD MAXIMUM CONSIDERED EARTHQUAKE SPECTRAL ACCELERATION

Site Class	Mapped Maximum Considered Earthquake Spectral Response Acceleration at Short Periods				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of S_S.
[a] Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed except that for structures with periods of vibration equal to or less than 0.5-seconds, values of F_a for liquefiable soils may be assumed equal to the values for the site class determined without regard to liquefaction in Step 3 of Section 9.4.1.2.2.

TABLE 9.4.1.2
SITE CLASSIFICATION

Site Class	$\overline{v}_s$	$\overline{N}$ or $\overline{N}_{ch}$	$\overline{s}_u$
A Hard rock	>5000 ft/s (>1500 m/s)	not applicable	not applicable
B Rock	2500 to 5000 ft/s (760 to 1500 m/s)	not applicable	not applicable
C Very dense soil and soft rock	1200 to 2500 ft/s (370 to 760 m/s)	> 50	> 2000 psf (> 100 kPa)
D Stiff soil	600 to 1200 ft/s (180 to 370 m/s)	15 to 50	1000 to 2000 psf (50 to 100 kPa)
E Soil	<600 ft/s (<180 m/s)	<15	<1000 psf (<50 kPa)
	Any profile with more than 10 ft of soil having the following characteristics: —Plasticity index PI > 20, —Moisture content $w \geq 40\%$, and —Undrained shear strength $\overline{s}_u < 500$ psf		
F Soils requiring site-specific evaluation		1. Soils vulnerable to potential failure or collapse 2. Peats and/or highly organic clays 3. Very high plasticity clays 4. Very thick soft/medium clays	

Además, en la sección 9.6 se establece el criterio de diseño mínimo para componentes no estructurales en general, que están permanentemente unidos a estructuras.

Los criterios de diseño expuestos en esta sección establecen niveles mínimos de fuerza estática equivalente y demandas de desplazamientos relativos para el diseño de componentes y sus anclajes

En esta sección se establece que a los elementos no estructurales se les debe asignar la misma categoría de diseño sísmico que la asignada a la estructura en la que se encuentran. Estas categorías de diseño se definen en la sección 9.4.2, en la que se muestran las siguientes tablas donde la categoría de diseño sísmico para cada grupo de uso sísmico está basada en la aceleración de respuesta espectral en periodo corto, $S_{DS,}$ y en la aceleración de respuesta espectral en periodo de un segundo S_{D1}.

TABLE 9.4.2.1a
SEISMIC DESIGN CATEGORY BASED ON SHORT PERIOD RESPONSE ACCELERATIONS

Value of S_{DS}	Seismic Use Group		
	I	II	III
$S_{DS} < 0.167g$	A	A	A
$0.167g \leq S_{DS} < 0.33g$	B	B	C
$0.33g \leq S_{DS} < 0.50g$	C	C	D
$0.50g \leq S_{DS}$	D[a]	D[a]	D[a]

[a] Seismic Use Group I and II structures located on sites with mapped maximum considered earthquake spectral response acceleration at 1-second period, S_1, equal to or greater than 0.75g shall be assigned to Seismic Design Category E and Seismic Use Group III structures located on such sites shall be assigned to Seismic Design Category F.

TABLE 9.4.2.1b
SEISMIC DESIGN CATEGORY BASED ON 1-SECOND PERIOD RESPONSE ACCELERATIONS

Value of S_{D1}	Seismic Use Group		
	I	II	III
$S_{D1} < 0.067g$	A	A	A
$0.067g \leq S_{D1} < 0.133g$	B	B	C
$0.133g \leq S_{D1} < 0.20g$	C	C	D
$0.20g \leq S_{D1}$	D[a]	D[a]	D[a]

[a] Seismic Use Group I and II structures located on sites with mapped maximum considered earthquake spectral response acceleration at 1-second period, S_1, equal to or greater than 0.75g shall be assigned to Seismic Design Category E and Seismic Use Group III structures located on such sites shall be assigned to Seismic Design Category F.

Estos grupos de uso sísmico están definidos según su categoría de ocupación en la tabla 9.1.3 que se muestra a continuación:

TABLE 9.1.3
SEISMIC USE GROUP

		Seismic Use Group		
		I	II	III
Occupancy Category (Table 1-1)	I	X		
	II	X		
	III		X	
	IV			X

Finalmente estas categorías de ocupación se definen en la tabla 1-1, la cual se muestra a continuación:

TABLE 1-1
CLASSIFICATION OF BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES FOR FLOOD, WIND, SNOW, EARTHQUAKE, AND ICE LOADS

Nature of Occupancy	Category
Buildings and other structures that represent a low hazard to human life in the event of failure including, but not limited to: Agricultural facilities Certain temporary facilities Minor storage facilities	I
All buildings and other structures except those listed in Categories I, III, and IV	II
Buildings and other structures that represent a substantial hazard to human life in the event of failure including, but not limited to: Buildings and other structures where more than 300 people congregate in one area Buildings and other structures with day care facilities with capacity greater than 150 Buildings and other structures with elementary school or secondary school facilities with capacity greater than 250 Buildings and other structures with a capacity greater than 500 for colleges or adult education facilities Health care facilities with a capacity of 50 or more resident patients but not having surgery or emergency treatment facilities Jails and detention facilities Power generating stations and other public utility facilities not included in Category IV Buildings and other structures not included in Category IV (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, hazardous waste, or explosives) containing sufficient quantities of hazardous materials to be dangerous to the public if released. Buildings and other structures containing hazardous materials shall be eligible for classification as Category II structures if it can be demonstrated to the satisfaction of the authority having jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.2 that a release of the hazardous material does not pose a threat to the public.	III
Buildings and other structures designated as essential facilities including, but not limited to: Hospitals and other health care facilities having surgery or emergency treatment facilities Fire, rescue, ambulance, and police stations and emergency vehicle garages Designated earthquake, hurricane, or other emergency shelters Designated emergency preparedness, communication, and operation centers and other facilities required for emergency response Power generating stations and other public utility facilities required in an emergency Ancillary structures (including, but not limited to, communication towers, fuel storage tanks, cooling towers, electrical substation structures, fire water storage tanks or other structures housing or supporting water, or other fire-suppression material or equipment) required for operation of Category IV structures during an emergency Aviation control towers, air traffic control centers, and emergency aircraft hangars Water storage facilities and pump structures required to maintain water pressure for fire suppression Buildings and other structures having critical national defense functions Buildings and other structures (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, hazardous waste, or explosives) containing extremely hazardous materials where the quantity of the material exceeds a threshold quantity established by the authority having jurisdiction. Buildings and other structures containing extremely hazardous materials shall be eligible for classification as Category II structures if it can be demonstrated to the satisfaction of the authority having jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.2 that a release of the extremely hazardous material does not pose a threat to the public. This reduced classification shall not be permitted if the buildings or other structures also function as essential facilities.	IV

La sección 9.6 también establece requerimientos para aquellas estructuras misceláneas soportadas por otras estructuras cuyo peso sea igual o menor al 25% del peso combinado de la estructura miscelánea y la estructura soportante.

Los siguientes componentes no estructurales están exentos de los requerimientos de este capítulo:

- Todos los componentes de la categoría de diseño A
- Componentes arquitectónicos de la categoría de diseño sísmico B, más no los parapetos soportados por muros de carga o de corte. Y siempre y cuando el factor de importancia del componente sea igual a 1.0.
- Componentes eléctricos y mecánicos de la categoría de diseño de sísmico B.
- Componentes eléctricos y mecánicos de la categoría de diseño de sísmico C para los que el factor de importancia del componente sea igual a 1.0.
- Componentes eléctricos y mecánicos de las categorías de diseño de sísmico D, E y F para los que el factor de importancia del componente sea igual a 1.0, con conexiones flexibles entre los componentes y sus ductos, tuberías y conductos asociados, y que estén montados a 1.22 m o menos del nivel de piso y no pesen más de 1780 N.
- Componentes eléctricos y mecánicos de las categorías de diseño de sísmico D, E y F para los que el factor de importancia del componente sea igual a 1.0, con conexiones flexibles entre los componentes y sus ductos, tuberías y conductos asociados. Además que pesen 89 N o menos, y para el caso de sistemas de distribución, que estos pesen 73 N/m o menos.

4.5.3. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO

La sección 9.5.5 muestra el procedimiento para obtener la fuerza lateral equivalente para el diseño sísmico.

El cortante sísmico en la base se obtiene a partir de:

$$V = C_s W \qquad \text{Ecuación 9.5.5.2-1}$$

Donde:

- C_s = coeficiente de respuesta sísmica.
- W = toda la carga permanente más las cargas descritas en la sección 9.5.3.

El coeficiente de respuesta sísmica se obtiene a partir de:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \qquad \text{Ecuación 9.5.5.2.1-1}$$

Donde:

- S_{DS} = aceleración de respuesta espectral de periodo corto, según se determina en la sección 9.4.1.2.5.
- R = factor de modificación de respuesta, según la tabla 9.5.2.2.

TABLE 9.5.2.2 — continued
DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR BASIC SEISMIC FORCE-RESISTING SYSTEMS

Basic Seismic Force-Resisting System	Response Modification Coefficient, R[a]	System Over-strength Factor, Ω_0[g]	Deflection Amplification Factor, C_d[b]	Structural System Limitations and Building Height (ft) Limitations[c]				
				Seismic Design Category				
				A&B	C	D[d]	E[e]	F[e]
Detailed plain masonry shear walls	2 1/2	2 1/2	2 1/4	NL	160	NP	NP	NP
Ordinary plain masonry shear walls	1 1/2	2 1/2	1 1/4	NL	NP	NP	NP 65	NP
Light-framed walls sheathed with wood structurall panels rated for shear resistance or steel sheets	6 1/2	2 1/2	4 1/4	NL	NL	65	65	65
Light-framed walls with shear panels of all other materials	2 1/2	2 1/2	2 1/2	NL	NL	35	NP	NP
Moment Resisting Frame Systems								
Special steel moment frames	8	3	5 1/2	NL	NL	NL	NL	NL
Special steel truss moment frames	7	3	5 1/2	NL	NL	160	100	NP
Intermediate steel moment frames	4.5	3	4	NL	NL	35[h]	NP[h,i]	NP[h,i]
Ordinary steel moment frames	3.5	3	3	NL	NL	NP[h,i]	NP[h,i]	NP[h,i]
Special reinforced concrete moment frames	8	3	5 1/2	NL	NL	NL	NL	NL
Intermediate reinforced concrete moment frames	5	3	4 1/2	NL	NL	NP	NP	NP
Ordinary reinforced concrete moment frames	3	3	2 1/2	NL	NP	NP	NP	NP
Special composite moment frames	8	3	5 1/2	NL	NL	NL	NL	NL
Intermediate cornposite moment frames	5	3	4 1/2	NL	NL	NP	NP	NP
Composite partially restrained moment frames	6	3	5 1/2	160	160	100	NP	NP
Ordinary composite moment frames	3	3	2 1/2	NL	NP	NP	NP	NP
Special masonry moment frames	5 1/2	3	5	NL	NL	160	160	100
Dual Systems with Special Moment Frames Capable of Resisting at Least 25% of Prescribed Seismic Forces								
Steel eccentrically braced frames, moment resisting connections, at columns away from links	8	2 1/2	4	NL	NL	NL	NL	NL
Steel eccentrically braced frames, non-moment resisting connections, at columns away from links	7	2 1/2	4	NL	NL	NL	NL	NL
Special steel concentrically braced frames	8	2 1/2	6 1/2	NL	NL	NL	NL	NL
Special reinforced concrete shear walls	8	2 1/2	6 1/2	NL	NL	NL	NL	NL
Ordinary reinforced concrete shear walls	7	2 1/2	6	NL	NL	NP	NP	NP
Composite eccentrically braced frames	8	2 1/2	4	NL	NL	NL	NL	NL
Composite concentrically braced frames	6	2 1/2	5	NL	NL	NL	NL	NL
Composite steel plate shear walls	8	2 1/2	6 1/2	NL	NL	NL	NL	NL
Special composite reinforced concrete shear walls with steel elements	8	2 1/2	6 1/2	NL	NL	NL	NL	NL

TABLE 9.5.2.2 — continued
DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR BASIC SEISMIC FORCE-RESISTING SYSTEMS

Basic Seismic Force-Resisting System	Response Modification Coefficient, R[a]	System Over-strength Factor, W_0[g]	Deflection Amplification Factor, C_d[b]	Structural System Limitations and Building Height (ft) Limitations[c]				
				Seismic Design Category				
				A&B	C	D[d]	E[e]	F[e]
Ordinary composite reinforced concrete shear walls with steel elements	7	2½	6	NL	NL	NP	NP	NP
Special reinforced masonry shear walls	7	3	6½	NL	NL	NL	NL	NL
Intermediate reinforced masonry shear walls	6	2½	5	NL	NL	NL	NL	NL
Ordinary steel concentrically braced frames	6	2½	5	NL	NL	NL	NL	NL
Dual Systems with Intermediate Moment Frames Capable of Resisting at Least 25% of Prescribed Seismic Forces								
Special steel concentrically braced frames[f]	4½	2½	4½	NL	NL	35	NP	NP[h,i]
Special reinforced concrete shear walls	6	2½	5	NL	NL	160	100	100
Ordinary reinforced masonry shear walls	3	3	2½	NL	160	NP	NP	NP
Intermediate reinforced masonry shear walls	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
Composite concentrically braced frames	5	2½	4½	NL	NL	160	100	NP
Ordinary composite braced frames	4	2½	3	NL	NL	NP	NP	NP
Ordinary composite reinforced concrete shear walls with steel elements	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
Ordinary steel concentrically braced frames	5	2½	4½	NL	NL	160	100	NP
Ordinary reinforced concrete shear walls	5½	2½	4½	NL	NL	NP	NP	NP
Inverted Pendulum Systems and Cantilevered Column Systems								
Special steel moment frames	2½	2	2½	NL	NL	NL	NL	NL
Ordinary steel moment frames	1½	2	2½	NL	NL	NP	NP	NP
Special reinforced concrete moment frames	2½	2	1½	NL	NL	NL	NL	NL
Structural Steel Systems Not Specifically Detailed for Seismic Resistance	3	3	3	NL	NL	NP	NP	NP

[a] Response modification coefficient, R, for use throughout the standard. Note R reduces forces to a strength level, not an allowable stress level.
[b] Deflection amplification factor, C_d, for use in Sections 9.5.3.7.1 and 9.5.3.7.2
[c] NL = Not Limited and NP = Not Permitted. For metric units use 30 m for 100 ft and use 50 m for 160 ft. Heights are measured from the base of the structure as defined in Section 9.2.1.
[d] See Section 9.5.2.2.4.1 for a description of building systems limited to buildings with a height of 240 ft (75 m) or less.
[e] See Sections 9.5.2.2.4 and 9.5.2.2.4.5 for building systems limited to buildings with a height of 160 ft (50 m) or less.
[f] Ordinary moment frame is permitted to be used in lieu of intermediate moment frame in Seismic Design Categories B and C.
[g] The tabulated value of the overstrength factor, W_0, may be reduced by subtracting ½ for structures with flexible diaphragms but shall not be taken as less than 2.0 for any structure.
[h] Steel ordinary moment frames and intermediate moment frames are permitted in single-story buildings up to a height of 60 ft, when the moment joints of field connections are constructed of bolted end plates and the dead load of the roof does not exceed 15 psf.
[i] Steel ordinary moment frames are permitted in buildings up to a height of 35 ft where the dead load of the walls, floors, and roofs does not exceed 15 psf.
[k] Steel ordinary concentrically braced frames are permitted in single-story buildings up to a height of 60 ft when the dead load of the roof does not exceed 15 psf and in penthouse structures.

- I = factor de importancia de ocupación, según se determina en la sección 9.1.4.

TABLE 9.1.4
OCCUPANCY IMPORTANCE FACTORS

Seismic Use Group	I
I	1.0
II	1.25
III	1.5

El valor del coeficiente de respuesta sísmica no debe ser mayor a:

$$C_S = \frac{S_{D1}}{\left(\frac{R}{I}\right)T} \qquad \text{Ecuación 9.5.5.2.1-2}$$

Pero tampoco debe ser menor que:

$$C_S = 0.044 S_{DS} I \qquad \text{Ecuación 9.5.5.2.1-3}$$

Para estructuras de las categorías de diseño sísmico E o F, el valor del coeficiente de respuesta sísmica no debe ser menor que:

$$C_S = \frac{0.5 S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)} \qquad \text{Ecuación 9.5.5.2.1-4}$$

Donde:

- S_{D1} = aceleración de respuesta espectral de diseño para periodo de 1-segundo, en unidades de g-segundo, según se determina en la sección 9.4.1.2.5. Y se calcula de forma similar al S_{DS}.
- S_1 = aceleración de respuesta espectral para periodo de 1-segundo ante el máximo sismo considerado, según se determina en la sección 9.4.1.
- T = el periodo fundamental del edificio, en segundos, según se determina en la sección 9.5.5.3, donde se muestra que una aproximación del periodo fundamental del edificio, se puede obtener de la siguiente ecuación, siempre y cuando las estructuras no excedan doce pisos de altura y que las mismas estén compuestas por sistemas sismorresistentes conformados completamente por marcos de concreto o acero y que la altura de cada piso sea de al menos 3 m.

$$T_a = 0.1N \qquad \text{Ecuación 9.5.5.3.2-1a}$$

Donde:

- N = es el número de pisos.
- T_a = es una aproximación del periodo fundamental de la estructura.

4.6. *INTERNATIONAL BUILDING CODE - IBC 2006 (SECCIÓN 1613)*

El código refiere al ASCE 7, e indica que tanto los elementos estructurales como los no estructurales que están anclados o adheridos a los estructurales deben diseñarse tomando en cuenta lo dictado en el ASCE 7.

Luego de esto, el código muestra ciertas definiciones, seguidas por una sección dedicada a los valores del movimiento sísmico del suelo, así como tablas y mapas para determinarlos.

4.7. *AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - SEI/ASCE 7 2005 (SECCIÓN 13.3)*

4.7.1. INTRODUCCIÓN

Este código presenta las mismas ecuaciones que el ASCE 7 2005, mantienen invariables, los parámetros de: la variación de la altura del sistema o componente en el edificio, el factor de importancia del edificio, el factor de modificación de la respuesta del sistema o componente y el factor de amplificación del sistema o componente. La única diferencia de este código con el ASCE 7 2002 es que el ASCE 7 2005 posee aún más detalle en la clasificación de los sistemas y componentes no estructurales, brindando más valores de a_p y R_p. En este código el rango de valores de R_p es de 1 a 12, mientras que en el ASCE 7 2002 el rango de R_p es de 1 a 5 y en el CSCR 2002 el rango de R_p es de 1 a 4.

Adicionalmente en el cálculo del coeficiente sísmico de la estructura soportante del sistema o componente no estructural se determina a partir de la aceleración de diseño en periodo corto S_{DS}, el factor de modificación de respuesta de la estructura R y el periodo fundamental de la estructura T.

4.7.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA

En esta sección se presenta la metodología para el cálculo de la fuerza sísmica de diseño: la fuerza sísmica de diseño Fp, deberá ser aplicada al centro de gravedad del componente y distribuida según la distribución de su masa. Esta fuerza se determina según la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{0.4 a_p S_{DS} W_P}{\frac{R_P}{I_P}} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) \qquad \text{Ecuación 13.3-1}$$

F_p no se deberá tomar mayor que:

$$F_{p=} 1.6 S_{DS} I_P W_P \qquad \text{Ecuación 13.3-2}$$

Y F_p no se deberá tomar menor que:

$$F_p = 0.3 S_{DS} I_P W_P \qquad \text{Ecuación 13.3-3}$$

Donde:

- F_p = fuerza de diseño sísmico.
- W_p = peso de operación del componente.
- Z = elevación del punto de anclaje del componente en la estructura con respecto a la base. Para elementos a nivel de la base o debajo de esta, la altura se debe tomar como 0. El valor de z/h no debe exceder 1.0.
- H = altura promedio del techo de la estructura, con respecto a la base de la misma.
- I_p = factor de importancia del componente, este puede ser igual a 1.00 o a 1.50. Este factor, $I_{p,}$, tendrá un valor asignado de 1.5 en los siguientes casos:
    - Componente cuyo funcionamiento es requerido, con propósitos de seguridad, luego de un evento sísmico. Esto incluye elementos del sistema de rociadores anti-incendio.
    - El componente que contiene material peligroso.
    - El componente se encuentra dentro de o anclado a, una estructura que tiene categoría de ocupación 4, según este código, y este es requerido para que las instalaciones continúen operando de forma adecuada.

  Todos los otros componentes tendrán un factor Ip, asignado igual a 1.0.
- R_p = factor de modificación de respuesta del componente, que varía de 1.00 a 12 según las tablas 13.5-1 y 13.6-1.
- a_p = factor de amplificación del componente, que varía de 1.00 a 2.50 y se toma de las tablas 13.5-1 y 13.6-1.

TABLE 13.5-1 COEFFICIENTS FOR ARCHITECTURAL COMPONENT

Architectural Component or Element	a_p[a]	R_p[b]
Interior Nonstructural Walls and Partitions[b]		
Plain (unreinforced) masonry walls	1.0	1.5
All other walls and partitions	1.0	2.5
Cantilever Elements (Unbraced or braced to structural frame below its center of mass)		
Parapets and cantilever interior nonstructural walls	2.5	2.5
Chimneys and stacks where laterally braced or supported by the structural frame	2.5	2.5
Cantilever Elements (Braced to structural frame above its center of mass)		
Parapets	1.0	2.5
Chimneys and Stacks	1.0	2.5
Exterior Nonstructural Walls[b]	1.0[b]	2.5
Exterior Nonstructural Wall Elements and Connections[b]		
Wall Element	1.0	2.5
Body of wall panel connections	1.0	2.5
Fasteners of the connecting system	1.25	1.0
Veneer		
Limited deformability elements and attachments	1.0	2.5
Low deformability elements and attachments	1.0	1.5
Penthouses (except where framed by an extension of the building frame)	2.5	3.5
Ceilings		
All	1.0	2.5
Cabinets		
Storage cabinets and laboratory equipment	1.0	2.5
Access Floors		
Special access floors (designed in accordance with Section 13.5.7.2)	1.0	2.5
All other	1.0	1.5
Appendages and Ornamentations	2.5	2.5
Signs and Billboards	2.5	2.5
Other Rigid Components		
High deformability elements and attachments	1.0	3.5
Limited deformability elements and attachments	1.0	2.5
Low deformability materials and attachments	1.0	1.5
Other Flexible Components		
High deformability elements and attachments	2.5	3.5
Limited deformability elements and attachments	2.5	2.5
Low deformability materials and attachments	2.5	1.5

[a] A lower value for a_p shall not be used unless justified by detailed dynamic analysis. The value for a_p shall not be less than 1.00. The value of $a_p = 1$ is for rigid components and rigidly attached components. The value of $a_p = 2.5$ is for flexible components and flexibly attached components. See Section 11.2 for definitions of rigid and flexible.

[b] Where flexible diaphragms provide lateral support for concrete or masonry walls and partitions, the design forces for anchorage to the diaphragm shall be as specified in Section 12.11.2.

TABLE 13.6-1 SEISMIC COEFFICIENTS FOR MECHANICAL AND ELECTRICAL COMPONENTS

MECHANICAL AND ELECTRICAL COMPONENTS	a_p[a]	R_p[b]
Air-side HVAC, fans, air handlers, air conditioning units, cabinet heaters, air distribution boxes, and other mechanical components constructed of sheet metal framing.	2.5	6.0
Wet-side HVAC, boilers, furnaces, atmospheric tanks and bins, chillers, water heaters, heat exchangers, evaporators, air separators, manufacturing or process equipment, and other mechanical components constructed of high-deformability materials.	1.0	2.5
Engines, turbines, pumps, compressors, and pressure vessels not supported on skirts and not within the scope of Chapter 15.	1.0	2.5
Skirt-supported pressure vessels not within the scope of Chapter 15.	2.5	2.5
Elevator and escalator components.	1.0	2.5
Generators, batteries, inverters, motors, transformers, and other electrical components constructed of high deformability materials.	1.0	2.5
Motor control centers, panel boards, switch gear, instrumentation cabinets, and other components constructed of sheet metal framing.	2.5	6.0
Communication equipment, computers, instrumentation, and controls.	1.0	2.5
Roof-mounted chimneys, stacks, cooling and electrical towers laterally braced below their center of mass.	2.5	3.0
Roof-mounted chimneys, stacks, cooling and electrical towers laterally braced above their center of mass.	1.0	2.5
Lighting fixtures.	1.0	1.5
Other mechanical or electrical components.	1.0	1.5
VIBRATION ISOLATED COMPONENTS AND SYSTEMS[b]		
Components and systems isolated using neoprene elements and neoprene isolated floors with built-in or separate elastomeric snubbing devices or resilient perimeter stops.	2.5	2.5
Spring isolated components and systems and vibration isolated floors closely restrained using built-in or separate elastomeric snubbing devices or resilient perimeter stops.	2.5	2.0
Internally isolated components and systems.	2.5	2.0
Suspended vibration isolated equipment including in-line duct devices and suspended internally isolated components.	2.5	2.5
DISTRIBUTION SYSTEMS		
Piping in accordance with ASME B31, including in-line components with joints made by welding or brazing.	2.5	12.0
Piping in accordance with ASME B31, including in-line components, constructed of high or limited deformability materials, with joints made by threading, bonding, compression couplings, or grooved couplings.	2.5	6.0
Piping and tubing not in accordance with ASME B31, including in-line components, constructed of high-deformability materials, with joints made by welding or brazing.	2.5	9.0
Piping and tubing not in accordance with ASME B31, including in-line components, constructed of high- or limited-deformability materials, with joints made by threading, bonding, compression couplings, or grooved couplings.	2.5	4.5
Piping and tubing constructed of low-deformability materials, such as cast iron, glass, and nonductile plastics.	2.5	3.0
Ductwork, including in-line components, constructed of high-deformability materials, with joints made by welding or brazing.	2.5	9.0
Ductwork, including in-line components, constructed of high- or limited-deformability materials with joints made by means other than welding or brazing.	2.5	6.0
Ductwork, including in-line components, constructed of low-deformability materials, such as cast iron, glass, and nonductile plastics.	2.5	3.0
Electrical conduit, bus ducts, rigidly mounted cable trays, and plumbing.	1.0	2.5
Manufacturing or process conveyors (nonpersonnel).	2.5	3.0
Suspended cable trays.	2.5	6.0

[a] A lower value for a_p is permitted where justified by detailed dynamic analyses. The value for a_p shall not be less than 1.0. The value of a_p equal to 1.0 is for rigid components and rigidly attached components. The value of a_p equal to 2.5 is for flexible components and flexibly attached components.
[b] Components mounted on vibration isolators shall have a bumper restraint or snubber in each horizontal direction. The design force shall be taken as $2F_p$ if the nominal clearance (air gap) between the equipment support frame and restraint is greater than 0.25 in. If the nominal clearance specified on the construction documents is not greater than 0.25 in., the design force is permitted to be taken as F_p.

- S_{DS} = aceleración espectral, en periodo corto, según se determina en la sección 11.4.4, en la que es establece que:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \qquad \text{Ecuación 11.4-3}$$

Donde:

- S_{MS} = es la aceleración de respuesta espectral para periodo corto del mayor sismo considerado. Y se calcula de la siguiente manera:

$$S_{MS} = F_a S_s \qquad \text{Ecuación 11.4-1}$$

Donde:

- S_s = aceleración de respuesta espectral por zona para el máximo sismo considerado, para periodos cortos. Según se define en los mapas 22.1 a 22.14.

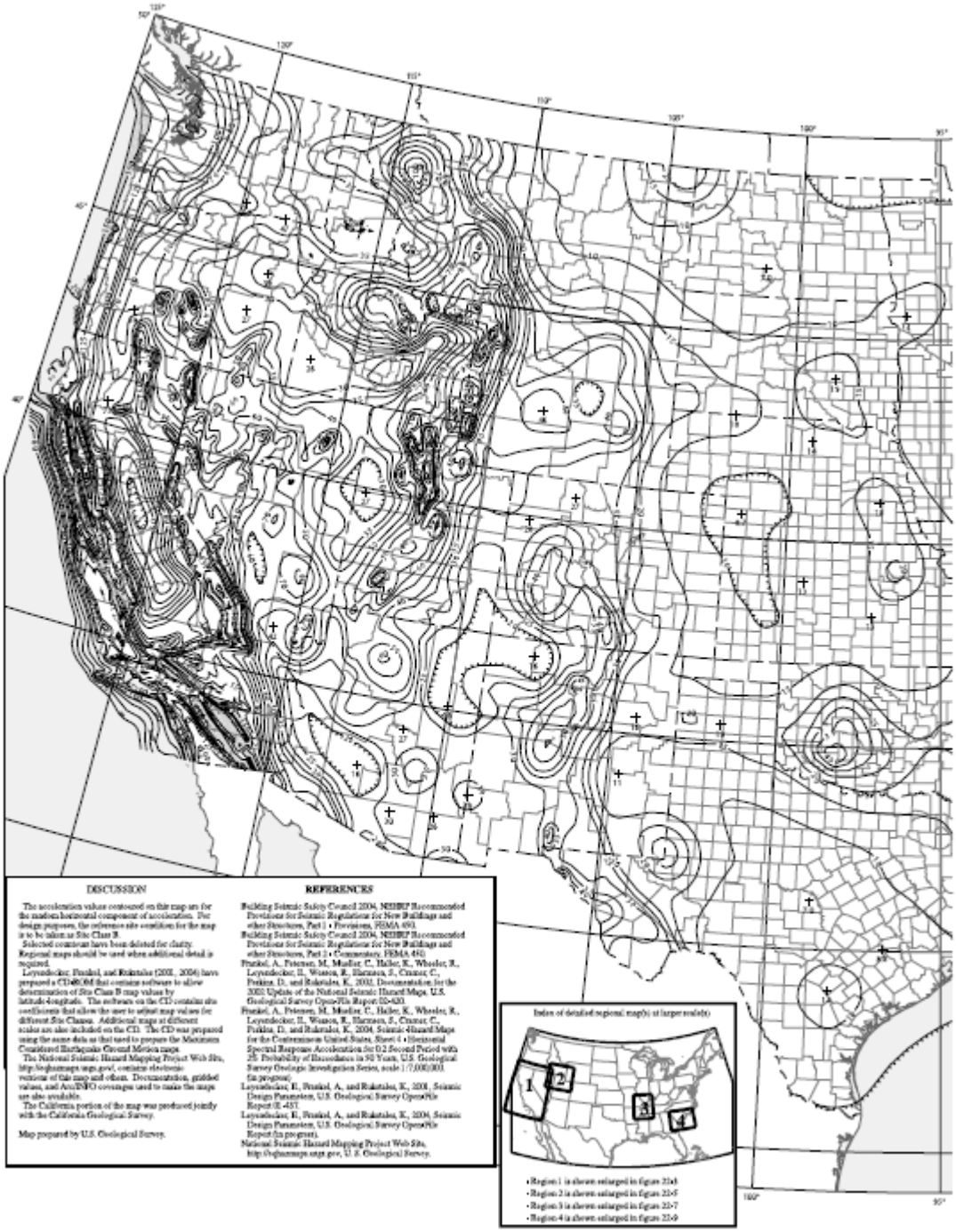


FIGURE 22-1 MAXIMUM CONSIDERED EARTHQUAKE GROUND MOTION FOR THE CONTERMINOUS UNITED STATES OF 0.2 SEC SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION (5% OF CRITICAL DAMPING), SITE CLASS B

- F_a = coeficiente de sitio definido en la tabla 11.4-1.

TABLE 11.4-1 SITE COEFFICIENT, F_a

Site Class	Mapped Maximum Considered Earthquake Spectral Response Acceleration Parameter at Short Period				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	See Section 11.4.7				

NOTE: Use straight-line interpolation for intermediate values of S_S.

TABLE 20.3-1 SITE CLASSIFICATION

Site Class	$\bar{v}_s$	$\bar{N}$ or $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$
A. Hard rock	>5,000 ft/s	NA	NA
B. Rock	2,500 to 5,000 ft/s	NA	NA
C. Very dense soil and soft rock	1,200 to 2,500 ft/s	>50	>2,000 psf
D. Stiff soil	600 to 1,200 ft/s	15 to 50	1,000 to 2,000 psf
E. Soft clay soil	<600 ft/s	<15	<1,000 psf
	Any profile with more than 10 ft of soil having the following characteristics: - Plasticity index PI > 20, - Moisture content $w \geq 40\%$, and - Undrained shear strength $\bar{s}_u$ < 500 psf		
F. Soils requiring site response analysis in accordance with Section 21.1	See Section 20.3.1		

For SI: 1 ft/s = 0.3048 m/s 1 lb/ft^2 = 0.0479 kN/m^2

Además, en el capítulo 13 de Requerimientos de diseño sísmico para componentes no estructurales, se establece el criterio de diseño mínimo para componentes no estructurales que están permanentemente unidos a estructuras y para sus soportes y anclajes.

Se indica que los a los elementos no estructurales se les debe asignar la misma categoría de diseño sísmico que la asignada a la estructura en la que se encuentran. Estas categorías se definen para cada categoría de ocupación con respecto a la aceleración de respuesta espectral de periodo corto, S_{DS}, en la tabla 11.6-1 También se definen para cada categoría de ocupación con respecto a la aceleración de respuesta espectral de periodo de un segundo, S_{D1}, en la tabla 11.6-2

TABLE 11.6-1 SEISMIC DESIGN CATEGORY BASED ON SHORT PERIOD RESPONSE ACCELERATION PARAMETER

Value of S_{DS}	Occupancy Category		
	I or II	III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D	D

TABLE 11.6-2 SEISMIC DESIGN CATEGORY BASED ON 1-S PERIOD RESPONSE ACCELERATION PARAMETER

Value of S_{D1}	OCCUPANCY CATEGORY		
	I or II	III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D	D

Además, a las estructuras con categoría de ocupación IV, localizadas en sitios donde la aceleración de respuesta espectral para periodo de 1 segundo, S_1, sea mayor o igual a 0.75, se les deberá asignar una categoría de diseño sísmico F.

Estas categorías de ocupación se definen en la tabla 1-1, la cual se muestra a continuación:

TABLE 1-1 OCCUPANCY CATEGORY OF BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES FOR FLOOD, WIND, SNOW, EARTHQUAKE, AND ICE LOADS

Nature of Occupancy	Occupancy Category
Buildings and other structures that represent a low hazard to human life in the event of failure, including, but not limited to: • Agricultural facilities • Certain temporary facilities • Minor storage facilities	I
All buildings and other structures except those listed in Occupancy Categories I, III, and IV	II
Buildings and other structures that represent a substantial hazard to human life in the event of failure, including, but not limited to: • Buildings and other structures where more than 300 people congregate in one area • Buildings and other structures with daycare facilities with a capacity greater than 150 • Buildings and other structures with elementary school or secondary school facilities with a capacity greater than 250 • Buildings and other structures with a capacity greater than 500 for colleges or adult education facilities • Health care facilities with a capacity of 50 or more resident patients, but not having surgery or emergency treatment facilities • Jails and detention facilities Buildings and other structures, not included in Occupancy Category IV, with potential to cause a substantial economic impact and/or mass disruption of day-to-day civilian life in the event of failure, including, but not limited to: • Power generating stations[a] • Water treatment facilities • Sewage treatment facilities • Telecommunication centers Buildings and other structures not included in Occupancy Category IV (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, hazardous waste, or explosives) containing sufficient quantities of toxic or explosive substances to be dangerous to the public if released. Buildings and other structures containing toxic or explosive substances shall be eligible for classification as Occupancy Category II structures if it can be demonstrated to the satisfaction of the authority having jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.2 that a release of the toxic or explosive substances does not pose a threat to the public.	III
Buildings and other structures designated as essential facilities, including, but not limited to: • Hospitals and other health care facilities having surgery or emergency treatment facilities • Fire, rescue, ambulance, and police stations and emergency vehicle garages • Designated earthquake, hurricane, or other emergency shelters • Designated emergency preparedness, communication, and operation centers and other facilities required for emergency response • Power generating stations and other public utility facilities required in an emergency • Ancillary structures (including, but not limited to, communication towers, fuel storage tanks, cooling towers, electrical substation structures, fire water storage tanks or other structures housing or supporting water, or other fire-suppression material or equipment) required for operation of Occupancy Category IV structures during an emergency • Aviation control towers, air traffic control centers, and emergency aircraft hangars • Water storage facilities and pump structures required to maintain water pressure for fire suppression • Buildings and other structures having critical national defense functions Buildings and other structures (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, or hazardous waste) containing highly toxic substances where the quantity of the material exceeds a threshold quantity established by the authority having jurisdiction. Buildings and other structures containing highly toxic substances shall be eligible for classification as Occupancy Category II structures if it can be demonstrated to the satisfaction of the authority having jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.2 that a release of the highly toxic substances does not pose a threat to the public. This reduced classification shall not be permitted if the buildings or other structures also function as essential facilities.	IV

[a]Cogeneration power plants that do not supply power on the national grid shall be designated Occupancy Category II.

Los siguientes componentes no estructurales están exentos de los requerimientos de este capítulo:

1. Componentes arquitectónicos de la categoría de diseño sísmico B, más no los parapetos soportados por muros de carga o de corte. Y siempre y cuando el factor de importancia del componente sea igual a 1.0.
2. Componentes eléctricos y mecánicos de la categoría de diseño de sísmico B.
3. Componentes eléctricos y mecánicos de la categoría de diseño de sísmico C para los que el factor de importancia del componente sea igual a 1.0.
4. Componentes eléctricos y mecánicos de las categorías de diseño de sísmico D, E y F para los que el factor de importancia del componente sea igual a 1.0 y que cumplan con alguna de las siguientes condiciones:
    a. Se tengan conexiones flexibles entre los componentes y sus ductos, tuberías y conductos asociados.
    b. El componente está montado a 1.22 m o menos del nivel de piso y no pesa más de 1780 N.
5. Componentes eléctricos y mecánicos de las categorías de diseño de sísmico D, E y F para los que el factor de importancia del componente sea igual a 1.0 y que cumplan con alguna de las siguientes condiciones:
    a. Se tengan conexiones flexibles entre los componentes y sus ductos, tuberías y conductos asociados.
    b. Que el componente pese 89 N o menos, y para el caso de sistemas de distribución, que estos pesen 73 N/m o menos.

Cuando el peso del componente no estructural sea mayor o igual al 25 % del peso sísmico efectivo, W, definido en la sección 12.7.2, el componente deberá ser clasificado como una estructura miscelánea, y por lo tanto deberá diseñarse según la sección 15.3.2 de este código.

En la sección 12.7.2 se establece que el peso sísmico efectivo, W, de una estructura debe incluir todo el peso muerto más las siguientes cargas:

1. Al menos el 25% de la carga viva por piso en áreas utilizadas para almacenamiento (esto no incluye garajes públicos o estructuras de parqueos).

2. En los edificios de oficinas o otros donde se vayan a utilizar particiones, se deberá utilizar el peso total dentro de la partición o un mínimo de 0.48 kN/m^2, el que sea mayor.
3. El peso total de operación de equipo permanente.

4.7.3. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO

La sección 12.8 muestra el procedimiento para obtener la fuerza lateral equivalente para el diseño sísmico.

El cortante sísmico en la base se obtiene a partir de:

$$V = C_s W \qquad \text{Ecuación 12.8-1}$$

Donde:

- C_s = coeficiente de respuesta sísmica.
- W = peso sísmico efectivo según la sección 12.8.1.1.

El coeficiente de respuesta sísmica se obtiene a partir de:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \qquad \text{Ecuación 12.8-2}$$

Donde:

- S_{DS} = aceleración de respuesta espectral de periodo corto, según se determina en la sección 11.4.4.
- R = factor de modificación de respuesta, según la tabla 12.2-1.

TABLE 12.2-1 DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR SEISMIC FORCE–RESISTING SYSTEMS

Seismic Force–Resisting System	ASCE 7 Section where Detailing Requirements are Specified	Response Modification Coefficient, R^a	System Overstrength Factor, $\Omega_0{}^g$	Deflection Amplification Factor, $C_d{}^b$	Structural System Limitations and Building Height (ft) Limit[c]				
					Seismic Design Category				
					B	C	D^d	E^d	F^e
A. BEARING WALL SYSTEMS									
1. Special reinforced concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.6	5	2½	5	NL	NL	160	160	100
2. Ordinary reinforced concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.4	4	2½	4	NL	NL	NP	NP	NP
3. Detailed plain concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.2	2	2½	2	NL	NP	NP	NP	NP
4. Ordinary plain concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.1	1½	2½	1½	NL	NP	NP	NP	NP
5. Intermediate precast shear walls	14.2 and 14.2.3.5	4	2½	4	NL	NL	40[f]	40[f]	40[f]
6. Ordinary precast shear walls	14.2 and 14.2.3.3	3	2½	3	NL	NP	NP	NP	NP
7. Special reinforced masonry shear walls	14.4 and 14.4.3	5	2½	3½	NL	NL	160	160	100
8. Intermediate reinforced masonry shear walls	14.4 and 14.4.3	3½	2½	2¼	NL	NL	NP	NP	NP
9. Ordinary reinforced masonry shear walls	14.4	2	2½	1¾	NL	160	NP	NP	NP
10. Detailed plain masonry shear walls	14.4	2	2½	1¾	NL	NP	NP	NP	NP
11. Ordinary plain masonry shear walls	14.4	1½	2½	1¼	NL	NP	NP	NP	NP
12. Prestressed masonry shear walls	14.4	1½	2½	1¾	NL	NP	NP	NP	NP
13. Light-framed walls sheathed with wood structural panels rated for shear resistance or steel sheets	14.1, 14.1.4.2, and 14.5	6½	3	4	NL	NL	65	65	65
14. Light-framed walls with shear panels of all other materials	14.1, 14.1.4.2, and 14.5	2	2½	2	NL	NL	35	NP	NP
15. Light-framed wall systems using flat strap bracing	14.1, 14.1.4.2, and 14.5	4	2	3½	NL	NL	65	65	65
B. BUILDING FRAME SYSTEMS									
1. Steel eccentrically braced frames, moment resisting connections at columns away from links	14.1	8	2	4	NL	NL	160	160	100
2. Steel eccentrically braced frames, non-moment-resisting, connections at columns away from links	14.1	7	2	4	NL	NL	160	160	100
3. Special steel concentrically braced frames	14.1	6	2	5	NL	NL	160	160	100
4. Ordinary steel concentrically braced frames	14.1	3¼	2	3¼	NL	NL	35[i]	35[i]	NP[i]
5. Special reinforced concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.6	6	2½	5	NL	NL	160	160	100
6. Ordinary reinforced concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.4	5	2½	4½	NL	NL	NP	NP	NP
7. Detailed plain concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.2	2	2½	2	NL	NP	NP	NP	NP
8. Ordinary plain concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.1	1½	2½	1½	NL	NP	NP	NP	NP
9. Intermediate precast shear walls	14.2 and 14.2.3.5	5	2½	4½	NL	NL	40[f]	40[f]	40[f]
10. Ordinary precast shear walls	14.2 and 14.2.3.3	4	2½	4	NL	NP	NP	NP	NP
11. Composite steel and concrete eccentrically braced frames	14.3	8	2	4	NL	NL	160	160	100
12. Composite steel and concrete concentrically braced frames	14.3	5	2	4½	NL	NL	160	160	100
13. Ordinary composite steel and concrete braced frames	14.3	3	2	3	NL	NL	NP	NP	NP
14. Composite steel plate shear walls	14.3	6½	2½	5½	NL	NL	160	160	100
15. Special composite reinforced concrete shear walls with steel elements	14.3	6	2½	5	NL	NL	160	160	100
16. Ordinary composite reinforced concrete shear walls with steel elements	14.3	5	2½	4½	NL	NL	NP	NP	NP
17. Special reinforced masonry shear walls	14.4	5½	2½	4	NL	NL	160	160	100
18. Intermediate reinforced masonry shear walls	14.4	4	2½	4	NL	NL	NP	NP	NP
19. Ordinary reinforced masonry shear walls	14.4	2	2½	2	NL	160	NP	NP	NP
20. Detailed plain masonry shear walls	14.4	2	2½	2	NL	NP	NP	NP	NP
21. Ordinary plain masonry shear walls	14.4	1½	2½	1¼	NL	NP	NP	NP	NP

TABLE 12.2-1 DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR SEISMIC FORCE–RESISTING SYSTEMS (continued)

Seismic Force–Resisting System	ASCE 7 Section where Detailing Requirements are Specified	Response Modification Coefficient, R^a	System Overstrength Factor, Ω_0^g	Deflection Amplification Factor, C_d^b	Structural System Limitations and Building Height (ft) Limit[c]				
					Seismic Design Category				
					B	C	D[d]	E[d]	F[e]
22. Prestressed masonry shear walls	14.4	1½	2½	1¾	NL	NP	NP	NP	NP
23. Light-framed walls sheathed with wood structural panels rated for shear resistance or steel sheets	14.1, 14.1.4.2, and 14.5	7	2½	4½	NL	NL	65	65	65
24. Light-framed walls with shear panels of all other materials	14.1, 14.1.4.2, and 14.5	2½	2½	2½	NL	NL	35	NP	NP
25. Buckling-restrained braced frames, non-moment-resisting beam-column connections	14.1	7	2	5½	NL	NL	160	160	100
26. Buckling-restrained braced frames, moment-resisting beam-column connections	14.1	8	2½	5	NL	NL	160	160	100
27. Special steel plate shear wall	14.1	7	2	6	NL	NL	160	160	100
C. MOMENT-RESISTING FRAME SYSTEMS									
1. Special steel moment frames	14.1 and 12.2.5.5	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
2. Special steel truss moment frames	14.1	7	3	5½	NL	NL	160	100	NP
3. Intermediate steel moment frames	12.2.5.6, 12.2.5.7, 12.2.5.8, 12.2.5.9, and 14.1	4.5	3	4	NL	NL	35[h,i]	NP[h]	NP[e]
4. Ordinary steel moment frames	12.2.5.6, 12.2.5.7, 12.2.5.8, and 14.1	3.5	3	3	NL	NL	NP[h]	NP[h]	NP[e]
5. Special reinforced concrete moment frames	12.2.5.5 and 14.2	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
6. Intermediate reinforced concrete moment frames	14.2	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
7. Ordinary reinforced concrete moment frames	14.2	3	3	2½	NL	NP	NP	NP	NP
8. Special composite steel and concrete moment frames	12.2.5.5 and 14.3	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
9. Intermediate composite moment frames	14.3	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
10. Composite partially restrained moment frames	14.3	6	3	5½	160	160	100	NP	NP
11. Ordinary composite moment frames	14.3	3	3	2½	NL	NP	NP	NP	NP
D. DUAL SYSTEMS WITH SPECIAL MOMENT FRAMES CAPABLE OF RESISTING AT LEAST 25% OF PRESCRIBED SEISMIC FORCES	12.2.5.1								
1. Steel eccentrically braced frames	14.1	8	2½	4	NL	NL	NL	NL	NL
2. Special steel concentrically braced frames	14.1	7	2½	5½	NL	NL	NL	NL	NL
3. Special reinforced concrete shear walls	14.2	7	2½	5½	NL	NL	NL	NL	NL
4. Ordinary reinforced concrete shear walls	14.2	6	2½	5	NL	NL	NP	NP	NP
5. Composite steel and concrete eccentrically braced frames	14.3	8	2½	4	NL	NL	NL	NL	NL
6. Composite steel and concrete concentrically braced frames	14.3	6	2½	5	NL	NL	NL	NL	NL
7. Composite steel plate shear walls	14.3	7½	2½	6	NL	NL	NL	NL	NL
8. Special composite reinforced concrete shear walls with steel elements	14.3	7	2½	6	NL	NL	NL	NL	NL
9. Ordinary composite reinforced concrete shear walls with steel elements	14.3	6	2½	5	NL	NL	NP	NP	NP
10. Special reinforced masonry shear walls	14.4	5½	3	5	NL	NL	NL	NL	NL
11. Intermediate reinforced masonry shear walls	14.4	4	3	3½	NL	NL	NP	NP	NP
12. Buckling-restrained braced frame	14.1	8	2½	5	NL	NL	NL	NL	NL
13. Special steel plate shear walls	14.1	8	2½	6½	NL	NL	NL	NL	NL

- I = factor de importancia de ocupación, según se determina en la sección 11.5.1.

TABLE 11.5-1 IMPORTANCE FACTORS

Occupancy Category	I
I or II	1.0
III	1.25
IV	1.5

El valor del coeficiente de respuesta sísmica no debe ser mayor a:

$$C_S = \frac{S_{D1}}{\left(\frac{R}{I}\right)T} \qquad \text{para } T \leq T_L \qquad \text{Ecuación 12.8-3}$$

$$C_S = \frac{S_{D1}T_L}{\left(\frac{R}{I}\right)T^2} \qquad \text{para } T > T_L \qquad \text{Ecuación 12.8-4}$$

Pero tampoco debe ser menor que:

$$C_S = 0.01 \qquad \text{Ecuación 12.8-5}$$

Para estructuras que se ubiquen donde S1 sea igual o mayor a 0.6g, Cs no deberá ser menos que:

$$C_S = \frac{0.5S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)} \qquad \text{Ecuación 12.8-6}$$

Donde:

- S_{D1} = aceleración de respuesta espectral de diseño para periodo de 1-segundo, según se determina en la sección 11.4.4. Y se calcula de forma similar al S_{DS}.
- S_1 = aceleración de respuesta espectral para periodo de 1-segundo ante el máximo sismo considerado, según se determina en los mapas de la sección 11.4.1.
- T_L = el periodo de periodo de transición larga, en segundos, según se determina en la sección 11.4.5.
- T = el periodo fundamental del edificio, en segundos, según se determina en la sección 12.8.2, donde se muestra que una aproximación del periodo fundamental del edificio, se puede obtener de la siguiente ecuación, siempre y cuando las estructuras no excedan doce pisos de altura y que las mismas estén compuestas por sistemas sismorresistentes conformados completamente por marcos de concreto o acero y que la altura de cada piso sea de al menos 3 m.

$$T_a = 0.1N \qquad \text{Ecuación 12.8-8}$$

Donde:

- N = es el número de pisos.
- T_a = es una aproximación del periodo fundamental de la estructura.

4.8. *EURO CÓDIGO 1998 (SECCIÓN 4.3.5)*

4.8.1. INTRODUCCIÓN

La metodología planteada en este código, considera la aceleración de diseño, el tipo de suelo, el factor de importancia del elemento, el factor de comportamiento del elemento, y la variación de la altura de elemento dentro de la estructura. Además considera el periodo de vibración fundamental del elemento T_a y el periodo de vibración fundamental de la edificación T_1.Esto es importante de destacar, debido a que estos términos no aparecen en los códigos analizados anteriores, pero como se puede ver en la ecuación 4.25 que aparece más adelante, si se presenta el fenómeno de resonancia, donde ambos periodos son iguales, el denominador se convierte en 1, de lo cual se puede inferir que los códigos internacionales descritos anteriormente calculan la fuerza sobre el sistema o componente no estructural considerando el fenómeno de resonancia.

4.8.2. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA

Esta sección establece que aquellos elementos no estructurales cuya falla ante un evento sísmico pueda poner en riesgo la vida de personas, o pueda afectar el uso de instalaciones de importancia, deberán ser verificados para constatar que soporten las fuerzas sísmicas de diseño.

Los efectos del sismo sobre el elemento no estructural se pueden determinar aplicando una fuerza horizontal F_a, que se determina según la siguiente ecuación:

$$F_a = (S_a \cdot W_a \cdot \gamma_a)/q_a \qquad \text{Ecuación 4.24}$$

Donde

- F_a = es la fuerza horizontal sísmica que actúa en el centro de masa del elemento no estructural en la dirección menos favorable.
- W_a = es el peso del elemento.
- S_a = es el coeficiente sísmico aplicable a elementos no estructurales. Este se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S_a = a \cdot S \cdot \left[\frac{3\left(1+\frac{z}{H}\right)}{\left(1+\left(1-\frac{T_a}{T_1}\right)^2\right)} - 0.5 \right] \qquad \text{Ecuación 4.25}$$

Donde:

- a = es la razón de la aceleración de diseño del suelo en suelo tipo A (a_g), con respecto la aceleración de la gravedad.
- S = es el factor del suelo.
- T_a = es el periodo de vibración fundamental del elemento no estructural.
- T_1 = es el periodo de vibración fundamental de la edificación en la dirección de importancia.
- γ_a = es el factor de importancia del elemento según la sección 4.3.5.3, en la que se indica es este factor no deberá tomarse menor que 1.5 para:
    - anclajes de maquinaria y equipos de seguridad humana.
    - elementos que contengan materiales peligrosos.

Para el cualquier otro componente el factor de importancia se tomará igual a 1.0.

- q_a = es el factor de comportamiento del elemento, este se determina según la tabla 4.4:

Table 4.4: Values of q_a for non-structural elements

Type of non-structural element	q_a
Cantilevering parapets or ornamentations Signs and billboards Chimneys, masts and tanks on legs acting as unbraced cantilevers along more than one half of their total height	1,0
Exterior and interior walls Partitions and facades Chimneys, masts and tanks on legs acting as unbraced cantilevers along less than one half of their total height, or braced or guyed to the structure at or above their centre of mass Anchorage elements for permanent cabinets and book stacks supported by the floor Anchorage elements for false (suspended) ceilings and light fixtures	2,0

- *z* = es la altura del elemento no estructural sobre el nivel de aplicación de la fuerza sísmica. (Nivel de fundación o de la parte superior de un sótano rígido).
- H = es la altura del edificio medida desde el nivel de fundación o de la parte superior de un sótano rígido.

El factor del suelo para cada tipo de suelo, y según el tipo de espectro de respuesta elástica esta dato dado por las tablas 3.2 y 3.3. Los tipos de espectros de respuesta elástica son dos.

El tipo 2 se debe usar cuando los sismos que contribuyen más al riesgo sísmico del sitio en cuestión tienen una magnitud de onda superficial, Ms, no mayor a 5.5.

Table 3.2: Values of the parameters describing the recommended Type 1 elastic response spectra

Ground type	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Table 3.3: Values of the parameters describing the recommended Type 2 elastic response spectra

Ground type	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

Los tipos de suelo están dados por la tabla 3.1, que se muestra a continuación:

Table 3.1: Ground types

Ground type	Description of stratigraphic profile	Parameters		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (blows/30cm)	c_u (kPa)
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface.	> 800	–	–
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of metres in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth.	360 – 800	> 50	> 250
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of metres.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.	< 180	< 15	< 70
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with v_s values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with v_s > 800 m/s.			
S_1	Deposits consisting, or containing a layer at least 10 m thick, of soft clays/silts with a high plasticity index (PI > 40) and high water content	< 100 (indicative)	–	10 - 20
S_2	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A – E or S_1			

CAPÍTULO -5-

5. COMPARACIÓN CUALITATIVA DE METODOLOGÍAS

5.1. *CUADROS COMPARATIVOS DE CÓDIGOS*

En la tabla 5.1 se plantea un resumen y comparación de las metodologías para el cálculo de la fuerza sísmica en sistemas y componentes no estructurales planteadas en el capítulo anterior.

En esta tabla se presenta la descripción de cada parámetro de diseño utilizado en cada ecuación y los rangos de valores que plantea cada código para el factor de modificación de la respuesta del sistema o componente, el factor de amplificación dinámica del sistema o componente y el factor de importancia del componente o la estructura en el caso del CSCR 2002.

TABLA 5.1: CUADRO COMPARATIVO DE METODOLOGÍAS PARA EL CÁLCULO DE LA FUERZA SÍSMICA EN SISTEMAS Y COMPONENTES NO ESTRUCTURALES

CÓDIGO	ECUACIÓN	PARÁMETROS DE DISEÑO
CSCR 1974 (11.4)	$F_P = C_p * W_P$ $0.15 \leq C_p \leq 2.0$	‣ F_p : fuerza sísmica sobre partes de edificios o estructuras y sus anclajes ‣ C_p : factor para partes de edificios (T. 11.1)
CSCR 1986 (2.10)	$F_P = X_P * \left(a_{máx} + \frac{2h_i}{H + h_1} * \frac{V_t}{W_t}\right) * W_P$ $F_c = \beta * X_c * \left(a_{máx} + \frac{2h_i}{H + h_1} * \frac{V_t}{W_t}\right) * W_c$ $1.0 \leq \beta \leq 2.0$ $1.0 \leq X_p \leq 2.0$ $1.2 \leq X_c \leq 2.0$ $h_i \leq 0$	‣ F_p : fuerza sísmica aplicada en centro de masa de un sistema o componente arquitectónico ‣ F_c : fuerza sísmica aplicada en centro de masa de un sistema o componente eléctrico o mecánico ‣ X_p : constante componentes arquitectónicos (T. 2.10.1) ‣ X_c : constante componentes mecánicos (T. 2.10.2) ‣ β : factor de amplificación relacionado a la respuesta de un sistema o componente eléctrico o mecánico (2.10.9) ‣ $a_{máx}$: aceleración máxima definida para el sitio y uso del edificio (2.4.1) ‣ h_i : altura del nivel i en el cual se encuentra el elemento, para sistemas o componentes colocados en el terreno bajo el nivel de base, se tomará h_i=0 ‣ h_1 : elevación del primer nivel ‣ H : atura total del edificio ‣ V_t : cortante total en la base del edificio, producido por fuerzas sísmicas ‣ W_t : peso total del edificio en la base, utilizado en el cálculo de las fuerzas sísmicas ‣ W_p : peso del componente arquitectónico en consideración

		• W_c : peso del componente mecánico en consideración
CSCR 2002 (14.2)	$$F_P = \frac{X_P * a_{ef} * I}{R_P}\left(1 + 3\frac{h_x}{h_r}\right)W_P$$ $$0.7 * a_{ef} * I * W_P \leq F_P \leq 4.0 * a_{ef} * I * W_P$$ $$1.0 \leq X_p \leq 2.5$$ $$1.0 \leq R_p \leq 4.0$$ $$I = 1.0 \quad o \quad I = 1.5$$ $$h_x \leq 0$$	• F_p : fuerza sísmica lateral total de diseño • a_{ef} : aceleración pico efectiva correspondiente a la edificación (2) • I : factor de importancia de la edificación (T. 4.1) • W_p : peso total del sistema o componente • X_p : factor de amplificación del sistema o componente (T. 14.1) • R_p : factor de modificación de la respuesta del componente (T. 14.1) • h_x : elevación centro masa componente o elemento respecto a la base del edificio tal que hx ≥ 0 • h_r : elevación del techo de la estructura respecto a la base
UBC 1997 (1632.2) **Blue Book 1999 (107.2)**	$$F_P = \frac{a_P * C_a * I_P}{R_P}\left(1 + 3\frac{h_x}{h_r}\right)W_P$$ $$0.7 * C_a * I_p * W_P \leq F_P \leq 4.0 * C_a * I_p * W_P$$ $$1.0 \leq a_p \leq 2.5$$ $$1.0 \leq R_p \leq 4.0$$ $$I_p = 1.0 \quad o \quad I_p = 1.5$$ $$h_x \leq 0$$	• F_p : fuerza sísmica lateral total de diseño • C_a : coeficiente sísmico (T 16-Q) • I_p : factor de importancia del componente. • W_p : peso total del componente • a_p : factor de amplificación del componente dentro de la estructura (T. 16-O) • R_p : factor de modificación de la respuesta del componente (T. 16-O) • h_x : elevación de la unión componente – estructura respecto al nivel del suelo. No se debe considerar h_x menor de 0.0 • h_r : elevación del techo de la estructura respecto al nivel del suelo
IBC 2000 (1621.1.4)	$$F_P = \frac{0.4 * a_P * S_{DS} * W_P}{\left(\frac{R_P}{I_P}\right)}\left(1 + 2\frac{z}{h}\right)$$ $$0.3 * S_{DS} * I_p * W_P \leq F_P \leq 1.6 * S_{DS} * I_p * W_P$$ $$1.0 \leq a_p \leq 2.5$$ $$1.0 \leq R_p \leq 5.0$$ $$I_p = 1.0 \quad o \quad I_p = 1.5$$ $$\frac{z}{h} \leq 1.0 \qquad z \leq 0$$	• F_p : fuerza sísmica de diseño aplicada en el centro de gravedad del componente y distribuida según su masa • S_{DS} : aceleración de respuesta espectral de corto periodo (1615.1.3) • I_p : factor de importancia del componente (1621.1.6) • W_p : peso de operación del componente • a_p : factor de amplificación del componente (T. 1621.2, T. 1621.3) • R_p : factor de modificación de la respuesta del componente (T. 1621.2, T. 1621.3) • z : elevación de la unión componente – estructura respecto a la base • h : elevación promedio del techo de la estructura respecto a la base

ASCE 7 2002 **(9.6.1.3)**	$$F_P = \frac{0.4 * a_P * S_{DS} * W_P}{\left(\frac{R_P}{I_P}\right)}\left(1 + 2\frac{z}{h}\right)$$ $$0.3 * S_{DS} * I_p * W_P \leq F_P \leq 1.6 * S_{DS} * I_p * W_P$$ $$1.0 \leq a_p \leq 2.5$$ $$1.0 \leq R_p \leq 5.0$$ $$1.0 \leq I_p \leq 1.5$$ $$\frac{z}{h} \leq 1.0 \qquad z \leq 0$$	‣ F_p : fuerza sísmica de diseño aplicada en el centro de gravedad del componente y distribuida según su masa ‣ S_{DS} : aceleración de respuesta espectral de corto periodo (9.4.1.2.5) ‣ I_p : factor de importancia del componente (9.6.1.5) ‣ W_p : peso de operación del componente ‣ a_p : factor de amplificación del componente (T. 9.6.2.2, T. 9.6.3.2) ‣ R_p : factor de modificación de la respuesta del componente(T. 9.6.2.2, T. 9.6.3.2) ‣ z : elevación de la unión componente – estructura respecto a la base ‣ h : elevación promedio del techo de la estructura respecto a la base
ASCE 7 2005 **(13.3)** **IBC 2006** **(1613)**	$$F_P = \frac{0.4 * a_P * S_{DS} * W_P}{\left(\frac{R_P}{I_P}\right)}\left(1 + 2\frac{z}{h}\right)$$ $$0.3 * S_{DS} * I_p * W_P \leq F_P \leq 1.6 * S_{DS} * I_p * W_P$$ $$1.0 \leq a_p \leq 2.5$$ $$1.0 \leq R_p \leq 12$$ $$1.0 \leq I_p \leq 1.5$$ $$\frac{z}{h} \leq 1.0 \qquad z \leq 0$$	‣ F_p : fuerza sísmica de diseño ‣ S_{DS} : aceleración de respuesta espectral de corto periodo del mayor sismo considerado (11.4.4) ‣ I_p : factor de importancia del componente (13.1.3) ‣ W_p : peso de operación del componente ‣ a_p : factor de amplificación del componente (T. 13.5-1, T. 13.6-1) ‣ R_p : factor de modificación de la respuesta del componente T. 13.5-1, T. 13.6-1) ‣ z : elevación de la unión componente – estructura respecto a la base ‣ h : elevación promedio del techo de la estructura respecto a la base
Euro Code 1998 **(4.3.5)**	$$F_a = \frac{S_a * W_a * \gamma_a}{q_a}$$ $$S_a = \alpha * S * \left[\frac{3 * \left(1 + \frac{z}{H}\right)}{\left(1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2\right)}\right]$$ $$S_a \geq \alpha * S$$ $$\gamma_a = 1.0 \;\; o \;\; \gamma_a \geq 1.5$$ $$q_a = 1.0 \;\; o \;\; q_a = 2.0$$	‣ F_a : fuerza sísmica horizontal en el centro de masa del componente ‣ W_a : Peso del componente ‣ S_a : coeficiente sísmico aplicable a componentes no estructurales ‣ γ_a : factor de importancia del componente (4.3.5.3) ‣ q_a : factor de comportamiento del componente (T. 4.4) ‣ α : razón entre aceleración de diseño suelo tipo A y la aceleración de la gravedad ‣ S : factor del suelo ‣ T_a: periodo de vibración fundamental del componente no estructural ‣ T_1: periodo de vibración del edificio en la dirección de importancia ‣ z : altura del elemento no estructural sobre el nivel de aplicación de la fuerza sísmica (nivel de fundación o parte superior de sótano rígido) ‣ H : elevación desde fundación o losa rígida sobre el sótano hasta techo estructura

En la tabla anterior se aprecia que la ecuación que plantea el CSCR 2002 es la misma planteada en el UBC 1997 y en el BLUE BOOK 1999. Lo mismo se presenta con los códigos IBC 2000, ASCE 7 2002 y ASCE 7 2005, con la diferencia que estos últimos códigos varían el rango de valores del factor de modificación de respuesta del componente R_p, esta variación responde a una clasificación más exhaustiva de los sistemas y componentes no estructurales según la rigidez o flexibilidad de su anclaje. Esta variación se aprecia en las tablas del factor R_p presentadas en el capítulo anterior.

Considerando que la ecuación planteada en los códigos CSCR 2002, UBC 1997, BLUE BOOK 1999, IBC 2000, ASCE 7 2002 Y ASCE 7 2005 varía levemente, en la tabla 5.2 se simplifican dichas ecuaciones con el fin de identificar el factor común en las ecuaciones. Estos factores que se mantienen constantes corresponden al peso del componente W_p, el factor de importancia I, y la aceleración que sufre el sistema o componente, que en el caso del CSCR 2002 es un múltiplo de la aceleración pico efectiva del terreno a_{ef} y en el caso de los otros códigos es un múltiplo de la aceleración espectral para periodo corto S_{DS}. A este factor común le llamaré C.

TABLA 5.2 :CUADRO COMPARATIVO DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA FUERZA SÍSMICA EN SISTEMAS Y COMPONENTES NO ESTRUCTURALES

CÓDIGO	ECUACIÓN	SIMPLIFICACIÓN
CSCR 1974 (11.4)	$F_p = C_p \cdot W_p$	
CSCR 1986 (2.10)	$F_p = X_p \cdot \left(a_{máx} + \frac{2h_i}{H+h_i} \cdot \frac{V_t}{W_t}\right) \cdot W_p$ $\quad F_p = \beta \cdot X_c \cdot \left(a_{máx} + \frac{2h_i}{H+h_i} \cdot \frac{V_t}{W_t}\right) \cdot W_c$	
CSCR 2002 (14.2)	$F_p = \left[\left(1+3\frac{h_x}{h_r}\right) \cdot \frac{X_p}{R_p}\right] \cdot a_{ef} \cdot I \cdot W_p$	$F_p = \left[\left(1+3\frac{h_x}{h_r}\right) \cdot \frac{X_p}{R_p}\right] \cdot a_{ef} \cdot I \cdot W_p$
UBC 1997 (1632.2)	$F_p = \left[\left(1+3\frac{h_x}{h_r}\right) \cdot \frac{X_p}{R_p}\right] \cdot a_{ef} \cdot I \cdot W_p$	si: h_x=0 y h_r=1 $F_p = \left[\frac{X_p}{R_p}\right] \cdot a_{ef} \cdot I_p \cdot W_p = C \cdot W_p$
Blue Book 1999 (107.2)	$F_p = \left[\left(1+3\frac{h_x}{h_r}\right) \cdot \frac{X_p}{R_p}\right] \cdot a_{ef} \cdot I \cdot W_p$	si: h_x=1 y h_r=1 $F_p = \left[4 \cdot \frac{X_p}{R_p}\right] \cdot a_{ef} \cdot I_p \cdot W_p = 4 \cdot C \cdot W_p$
IBC 2000 (1621.1.4)	$F_p = \left[0.4 \cdot \left(1+2\frac{z}{h_r}\right) \cdot \frac{a_p}{R_p}\right] \cdot S_{DS} \cdot I_p \cdot W_p$	$F_p = \left[\left(0.4+0.8\frac{z}{h_r}\right) \cdot \frac{a_p}{R_p}\right] \cdot S_{DS} \cdot I_p \cdot W_p$
ASCE 7 2002 (9.6.1.3)	$F_p = \left[0.4 \cdot \left(1+2\frac{z}{h_r}\right) \cdot \frac{a_p}{R_p}\right] \cdot S_{DS} \cdot I_p \cdot W_p$	si: z=0 y h=1 $F_p = \left[0.4 \cdot \frac{a_p}{R_p}\right] \cdot S_{DS} \cdot I_p \cdot W_p = 0.4 \cdot C \cdot W_p$
ASCE 7 2005 (13.3)	$F_p = \left[0.4 \cdot \left(1+2\frac{z}{h_r}\right) \cdot \frac{a_p}{R_p}\right] \cdot S_{DS} \cdot I_p \cdot W_p$	si: z=1 y h=1 $F_p = \left[1.2 \cdot \frac{a_p}{R_p}\right] \cdot S_{DS} \cdot I_p \cdot W_p = 1.2 \cdot C \cdot W_p$
EURO CODE 1998 (4.3.5)	$F_p = \frac{S_a \cdot W_a \cdot \lambda_a}{q_a}$ $\quad S_a = \alpha \cdot S \cdot \left[\frac{3 \cdot \left(1+\frac{1}{H}\right)}{1+\left(1-\frac{T_a}{T_1}\right)^2}\right]$	

Los valores variables en las ecuaciones de los seis códigos mencionados anteriormente se presentan en paréntesis cuadrados y con el fin de simplificar aún más estas ecuaciones se determina un límite inferior y un límite superior para el valor de la fuerza F_p.

Para obtener el límite inferior de F_p, se considera el sistema o componente no estructural a una altura de la base de la estructura, o sea h_x igual a cero, lo cual anula la razón de alturas en la ecuación. Para obtener el límite superior, se considera el sistema o componente a la altura de techo o de azotea, igualando la razón de alturas a uno.

Es importante destacar que el valor entre paréntesis cuadrados es un factor de la aceleración del terreno (aceleración pico efectiva en el caso del CSCR 2002 y aceleración de respuesta espectral de periodo corto en el caso del ASCE 7 2005). Este factor modifica el valor de la aceleración del terreno para obtener la aceleración a la que se ve sometido el sistema o componente no estructural a una determinada altura.

En este análisis se excluye al CSCR 1974, CSCR 1986 y EURO CODE 1998, debido a que estas metodologías incluyen parámetros diferentes que no podrían sacarse a factor común en esta simplificación.

De esta comparación se puede obtener un rango de valores para la fuerza F_p. En los códigos: CSCR 2002, UBC 1997 y BLUE BOOK, el rango de valores para la fuerza F_p en términos de la aceleración pico efectiva, el factor de importancia y el peso del componente varía de 1 a 4. Por otro lado, en los códigos: IBC 2000, ASCE 7 2002 y ASCE 7 2005, el rango de valores para la fuerza F_p en términos de la aceleración espectral de diseño de periodo corto, el factor de importancia y el peso del componente varía de 0,4 a 1,2.

A raíz de esto, y en vista que tanto el factor de importancia y el peso del sistema o componente no estructural se mantienen invariables, se puede inferir que el término de la aceleración juega un papel fundamental en el cálculo de la fuerza F_p, donde si bien es cierto que la aceleración pico efectiva es una aceleración de periodo T=0, y como tal está dentro del rango de aceleración de periodo corto, no se puede utilizar como tal.

5.2. *COMPARACIÓN CUALITATIVA CSCR 2002 Y ASCE 7 2005*

A continuación se presenta un análisis cualitativo en el que se comparan los parámetros del CSCR 2002 y el ASCE 7 2005. La comparación se realiza entre estos dos códigos debido a que el CSCR 2002 es el código vigente en Costa Rica y el ASCE 7 2005 es el código más reciente de los códigos internacionales que se están analizando.

5.2.1. h_x VRS ACELERACIÓN

Como se explicó en la sección anterior, la razón de alturas presente en estas ecuaciones modifica directamente el término de la aceleración (aceleración pico efectiva en el caso del CSCR 2002, aceleración de respuesta espectral de periodo corto en el caso del ASCE 7 2005), para determinar la aceleración del sistema o componente en los niveles superiores.

A partir de esto, al asignar los valores máximo y mínimo de h_x y obtener el límite superior e inferior de esta razón de alturas, obtenemos además el rango en el que puede variar la

aceleración (aceleración pico efectiva en el caso del CSCR 2002, aceleración de respuesta espectral de periodo corto en el caso del ASCE 7 2005) según el nivel en el que se ubique el sistema o componente no estructural dentro de la estructura.

En el gráfico a continuación la línea punteada representa la variación de la aceleración de respuesta espectral de periodo corto del ASCE 7 2005 y la línea continua representa la variación de la aceleración pico efectiva del CSCR 2002.

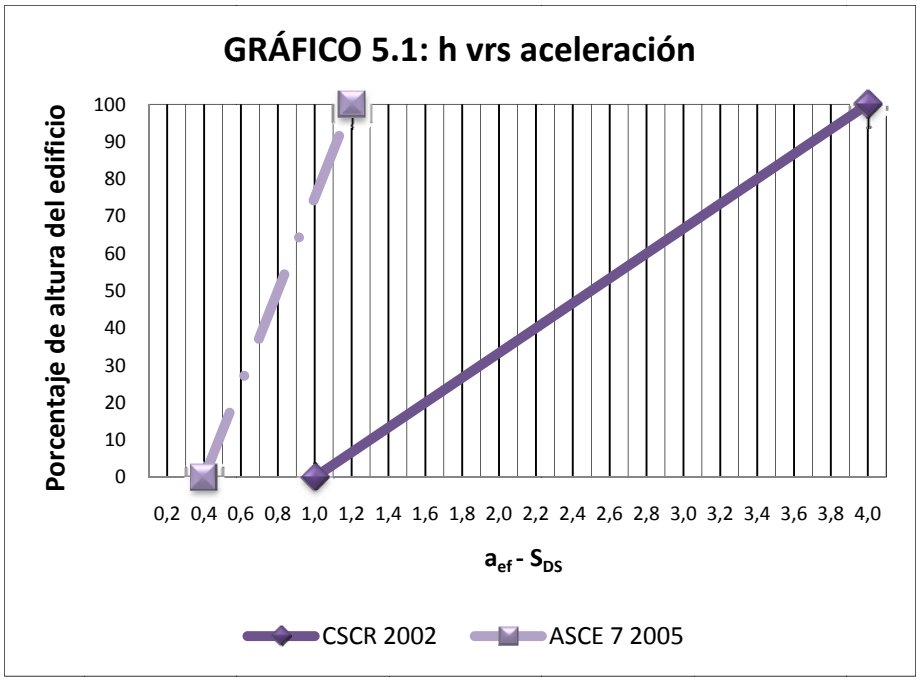


Figura 5.1: Variación de la aceleración del sistema o componente no estructural respecto a su altura en el edificio

Fuente: el autor

La variación de la altura del sistema o componente no estructural vrs la aceleración (aceleración pico efectiva en el caso del CSCR 2002, aceleración de respuesta espectral de periodo corto en el caso del ASCE 7 2005), muestra un incremento trapezoidal de la aceleración con respecto a la altura en ambos códigos

La diferencia de pendiente se atribuye los valores de la razón de alturas de las ecuaciones. En la ecuación del CSCR 2000 este razón es: $(1 + 3\frac{h_x}{h_r})$, y en la ecuación del ASCE 7 2005 es $(1 + 2\frac{h_x}{h_r})$. De manera que la ecuación para el cálculo de la fuerza Fp presente en el CSCR 2002, provee resultados más conservadores, partiendo de esta razón.

Para ampliar este concepto, se presentan a continuación los gráficos C6.1.3-1 y C6.1.3-2 de los comentarios al FEMA 1997, en este código se introdujeron los mapas de aceleración espectral, junto con las modificaciones en la ecuación para el cálculo de la fuerza F_p del UBC 1997. Estos mapas y las modificaciones en las metodologías de diseño que conllevan, son incluidos por primera vez en el IBC 2000 y posteriormente en el ASCE 7 2002 y ASCE 7 2005.

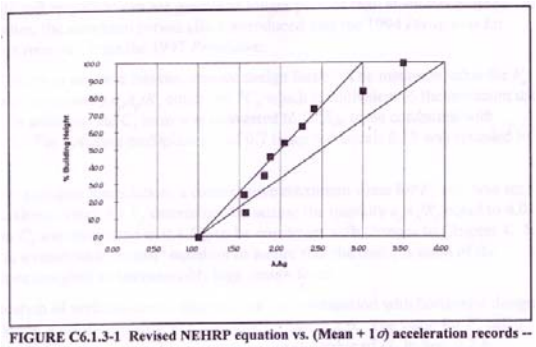


FIGURE C6.1.3-1 Revised NEHRP equation vs. (Mean + 1σ) acceleration records -- all sites.

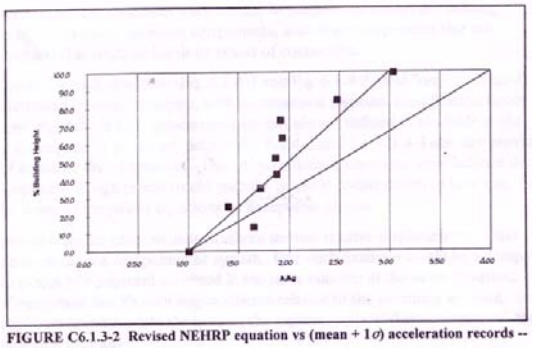


FIGURE C6.1.3-2 Revised NEHRP equation vs (mean + 1σ) acceleration records -- sites with $A_g \geq 0.1g$.

Figura 5.2: Curvas % altura vrs A/A_g para la ecuación de F_p FEMA 1994 y FEMA 1997

Fuente: FEMA 1997

En estos gráficos se aprecia la diferencia de pendiente que plantean ambas metodologías, y como se disminuyen los valores de la fuerzas sísmica de diseño F_p a raíz de esto.

Adicionalmente, en la sección 6.1.3 de los comentarios del FEMA 1997, proponen que para hacer una equivalencia entre la aceleración pico efectiva planteada por última vez en el FEMA 1994 y la aceleración espectral de diseño que se inició a utilizar en el FEMA 1997, se utilice lo siguiente:

$$C_a = 0{,}4S_{DS}$$

Donde:

- C_a = es la aceleración pico efectiva utilizada en el BLUE BOOK 1999 y por lo tanto en el UBC 1997 y CSCR 2002.
- S_{DS} = es la aceleración espectral de diseño de periodo corto utilizada en el IBC 2000, ASCE 7 2002 y ASCE 7 2005.

Además en el gráfico 5.1, la diferencia de rangos se atribuye a que la aceleración espectral de diseño es mayor que la aceleración pico efectiva. En el gráfico 5,1, se introduce el valor de 0,4 propuesto en el FEMA 1997 para hacer la equivalencia de las aceleraciones, de manera que se aprecie claramente que el rango posible de valores de la fuerza F_p mediante el ASCE 7 2005 es de $0{,}4S_{DS}$ a $1{,}2\ S_{DS}$ a diferencia de si se utiliza el CSCR 2002 donde el rango es de 1 a_{ef} a 4 a_{ef}. Esto es importante para recalcar que la los valores de aceleración espectral de periodo corto son mayores a los de aceleración pico efectiva.

Cabe destacar que en los gráficos planteados en el FEMA 1997, no se introduce el factor de 0,4, para mostrar únicamente la variación de las pendientes y no la diferencia de los valores de la aceleración. A diferencia del gráfico 5,1 que muestra ambas variaciones.

5.2.2. F_P VRS ACELERACIÓN

Para comparar la fuerza F_p con la aceleración del terreno (aceleración pico efectiva en el caso del CSCR 2002 y de la aceleración de respuesta espectral de periodo corto en el caso del ASCE 7 2005), se toman las cotas máximas y mínimas para F_p, obtenidas en la tabla 5.2, y se sustituyen los valores de aceleración correspondiente a cada metodología. Los demás parámetros de las ecuaciones se mantienen constantes.

La simplificación de la tabla 5.2 plantea lo siguiente:

CSCR 2002:

$$F_p = \left[\left(1 + 3\frac{h_x}{h_r}\right) \cdot \frac{X_p}{R_p}\right] \cdot a_{ef} \cdot I \cdot W_p$$

- Cota mínima $\quad F_p = \left[\frac{X_p}{R_p}\right] \cdot a_{ef} \cdot I \cdot W_p$
- Cota máxima $\quad F_p = \left[4 \cdot \frac{X_p}{R_p}\right] \cdot a_{ef} \cdot I \cdot W_p$

ASCE 7 2005:

$$F_p = \left[\left(0.4 + 0.8\frac{z}{h_r}\right) \cdot \frac{a_p}{R_p}\right] \cdot S_{SD} \cdot I_p \cdot W_p$$

- Cota mínima $\quad F_p = \left[0.4 \cdot \frac{a_p}{R_p}\right] \cdot S_{SD} \cdot I_p \cdot W_p$
- Cota máxima $\quad F_p = \left[(1.2) \cdot \frac{a_p}{R_p}\right] \cdot S_{SD} \cdot I_p \cdot W_p$

Al hacer constantes los valores del peso del componente, el factor de importancia, el factor de modificación de la respuesta del sistema o componente, factor de amplificación del sistema o componente, y sustituir en las ecuaciones los valores de aceleración para cada

código, se obtienen los valores máximo y mínimo de la fuerza F_p en función de la aceleración del sistema o componente.

En las tablas a continuación, el valor $F_{p\ máx}$ está asociado a la cota máxima de cada código y $F_{p\ mín}$ está asociado a la cota mínima de cada código, y el valor de aceleración pico efectiva a_{ef} está calculado según la tabla 2.2 del CSCR 2002 y la aceleración espectral de diseño para periodo corto S_{DS} está calculada según la sección 11.4.4 del ASCE 7 2005.

CSCR 2002									
$F_{p\ mín}$	0,20	0,24	0,28	0,30	0,33	0,34	0,36	0,40	0,44
$F_{p\ máx}$	0,80	0,96	1,12	1,20	1,32	1,36	1,44	1,60	1,76
a_{ef}	0,20	0,24	0,28	0,30	0,33	0,34	0,36	0,40	0,44

ASCE 7 2005							
$F_{p\ mín}$	0,20	0,22	0,24	0,27	0,29	0,30	0,33
$F_{p\ máx}$	0,60	0,66	0,72	0,80	0,88	0,90	1,00
S_{DS}	0,20	0,22	0,24	0,27	0,29	0,30	0,33

El grafico de estos datos se muestra a continuación:

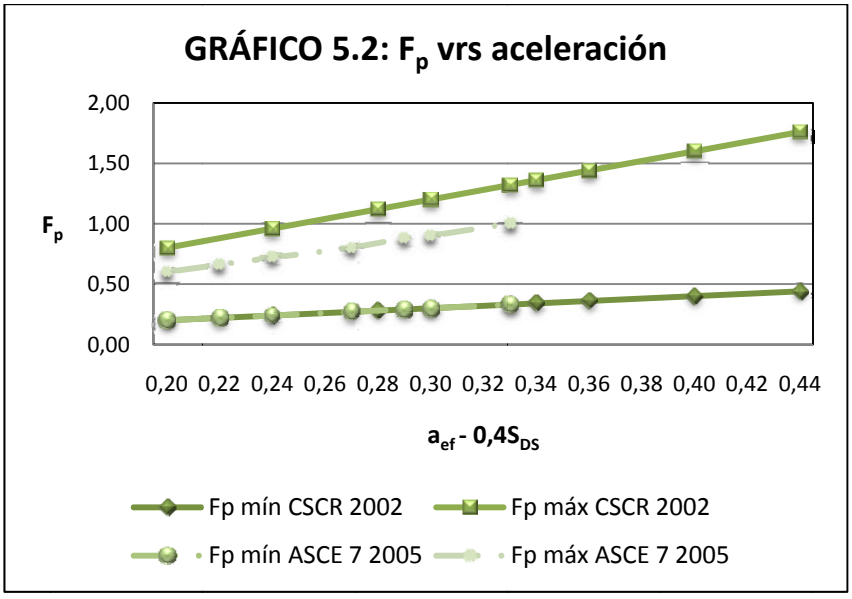


Figura 5.3: Variación de la fuerza sísmica $F_{p,}$ respecto a la aceleración del sistema o componente no estructural

Fuente: el autor

Comparando las aceleraciones pico efectivas del CSCR 2002 y las aceleraciones espectrales de diseño para periodo corto del ASCE 7 2005, para zonas sísmicas equivalentes, se obtiene fuerzas Fp mayores a partir de la aceleración pico efectiva, debido a que alcanza valores mayores.

En las ecuaciones para el cálculo de F_p del CSCR 2002 y del ASCE 7 2005 la fuerza F_p es directamente proporcional a la aceleración del terreno, esto se aprecia claramente en el gráfico anterior.

Además se observa en el gráfico, como el rango de valores de la fuerza F_p es mayor para el CSCR 2002, producto del razón de alturas comenta en la sección 5.2.1 de este documento.

5.2.3. FACTORES X_P Y R_P

Para analizar la variación de los factores de amplificación dinámica del sistema o componente X_p, y de modificación de la respuesta del sistema o componente R_p, se toman las cotas máximas y mínimas para F_p, obtenidas en la tabla 5.2, y se sustituyen los valores de X_p planteados en el CSCR 2002 y en el ASCE 7 2005. Los demás parámetros de las ecuaciones se mantienen constantes.

La simplificación de la tabla 5.2 plantea lo siguiente:

CSCR 2002:

$$F_p = \left[\left(1 + 3\frac{h_x}{h_r}\right) \cdot \frac{X_p}{R_p}\right] \cdot a_{ef} \cdot I \cdot W_p$$

$$\begin{cases} \text{Cota mínima} & F_p = \left[\frac{X_p}{R_p}\right] \cdot a_{ef} \cdot I \cdot W_p \\ \text{Cota máxima} & F_p = \left[4 \cdot \frac{X_p}{R_p}\right] \cdot a_{ef} \cdot I \cdot W_p \end{cases}$$

ASCE 7 2005:

$$F_p = \left[\left(0.4 + 0.8\frac{z}{h_r}\right) \cdot \frac{a_p}{R_p}\right] \cdot S_{SD} \cdot I_p \cdot W_p$$

$$\begin{cases} \text{Cota mínima} & F_p = \left[0.4 \cdot \frac{a_p}{R_p}\right] \cdot S_{SD} \cdot I_p \cdot W_p \\ \text{Cota máxima} & F_p = \left[(1.2) \cdot \frac{a_p}{R_p}\right] \cdot S_{SD} \cdot I_p \cdot W_p \end{cases}$$

Al hacer constantes los valores del peso del componente, el factor de importancia, la aceleración en el componente y el factor de modificación de la respuesta del sistema o componente, y sustituir en las ecuaciones los valores del factor de amplificación del sistema

o componente para cada código, se obtienen los valores máximo y mínimo de la fuerza F_p en función del factor X_p de amplificación del sistema o componente.

En las tablas a continuación, se muestran las cotas mínima y mínima de F_p según cada uno de estos dos códigos.

CSCR 2002		
$F_{p\,mín}$	1	2,5
$F_{p\,máx}$	4	10
X_p	1	2,5

ASCE 7 2005			
$F_{p\,mín}$	1	1,25	2,5
$F_{p\,máx}$	3	3,75	7,5
a_p	1	1,25	2,5

Como se puede apreciar, aunque el rango de valores de X_p se mantiene de 1 a 2,5 en ambos códigos, en el ASCE 7 2005 introducen un valor intermedio de 1,25.

CSCR 2002			
$F_{p\,mín}$	0,67	0,33	0,25
$F_{p\,máx}$	2,67	1,33	1,00
R_p	1,5	3	4

ASCE 7 2005										
$F_{p\,mín}$	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,29	0,22	0,17	0,11	0,08
$F_{p\,máx}$	3,00	2,00	1,50	1,20	1,00	0,86	0,67	0,50	0,33	0,25
R_p	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4,5	6	9	12

En la tabla anterior se observa que en el ASCE 7 2005 se pueden presentar fuerzas sísmicas F_p menores debido a la introducción de valores mayores de R_p en la clasificación de los sistemas y componentes no estructurales. Estos valores responden a propiedades de los anclajes de sistemas o componentes flexibles, como es el caso de sistemas de distribución y tuberías.

CAPÍTULO -6-

6. COMPARACIÓN CUANTITATIVA DE METODOLOGÍAS

Las metodologías de diseño de sistemas y componentes no estructurales generalmente son metodologías simplificadas, las cuales pueden ser poco o muy conservadoras. Para analizar esto, se comparan en este capítulo los resultados obtenidos por las metodologías para el cálculo de la fuerza sísmica en sistemas y componentes no estructurales de los códigos CSCR 2002, UBC 1997, IBC 2000, ASCE 7 2002 y ASCE 7 2005 y las fuerzas sobre sistemas y componentes no estructurales basándose en el método estático planteado en el CSCR 2002 y en el ASCE 7 2005.

Adicionalmente, para garantizar que el método estático del CSCR 2002 provee una buena aproximación de las fuerzas sobre sistemas y componentes no estructurales, se realiza un análisis dinámico de la misma estructura en análisis.

Esta comparación se realiza planteando seis casos. En cada caso se analiza un sistema o componente no estructural con diferentes propiedades, variando la altura de este dentro de la estructura.

Además, para complementar la comparación de las fuerzas, se realiza una comparación de los coeficientes sísmicos según el CSCR 2002 y el ASCE 7 2005.

Esta comparación adicional responde a la necesidad de saber si las reducciones en las fuerzas sísmicas de diseño sobre sistemas y componentes no estructurales se presentan también al hacer un cálculo más formal, ya sea por el método dinámico, o por el método estático.

6.1. *DESCRIPCIÓN DEL MODELO*

6.1.1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Edificio de oficinas, de 5 niveles, conformado por marcos de concreto reforzado. Las columnas poseen una sección cuadrada y uniforme a toda su altura de 50x50 cm y una altura por piso de 3.5 m. La profundidad de desplante de las cimentaciones es de 1m bajo el nivel de piso terminado.

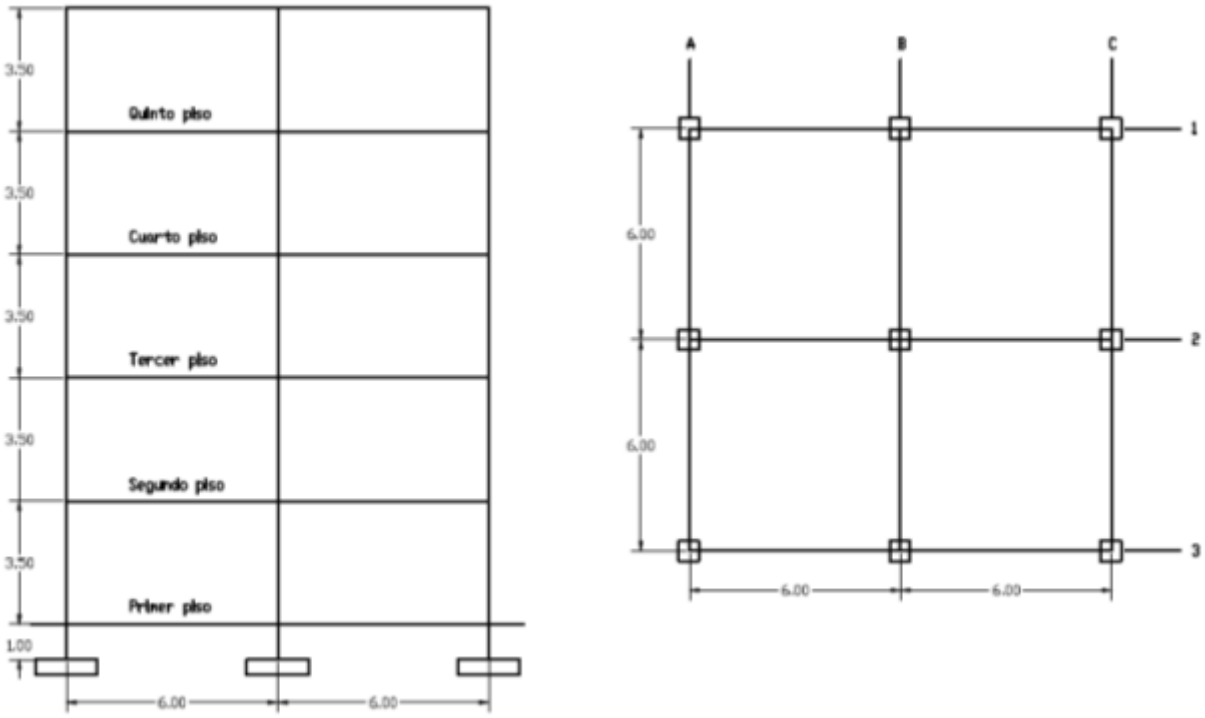


Figura 6.1: Detalles de la estructura analizada

Fuente: el autor

Los entrepisos son de viguetas pretensadas de 20 cm con una sobrelosa de 6 cm. Las vigas de entrepiso son de sección rectangular de 30x60 cm y luz libre 6 m. El último nivel es una azotea con una pendiente superior al 5% rodeada por un pretil de 1 m de altura. Todas las paredes del edificio son livianas.

6.1.2. DATOS DE ANÁLISIS POR EL MÉTODO ESTÁTICO

Tomando en consideración los parámetros descritos en el CSCR 2002, y basado en las características de la estructura analizada, a continuación se presentan los cálculos realizados para obtener la fuerza sísmica sobre sistemas y componentes no estructurales de 1 ton, en los diferentes niveles del edificio.

TABLA 6.1: COMPONENTES DE LA CARGA PERMANENTE (kg/m^2)

Entrepiso	Sobrelosa: $2400\ kg/m^3 * 0.06\ m$ + Viguetas: $58\ kg/m^2$ + Bloques y complementos: $175\ kg/m^2$ = $377\ kg/m^2$
Acabado de piso	$120\ kg/m^2$
Divisiones livianas	$50\ kg/m^2$
Instalaciones electromecánicas y cielos	$40\ kg/m^2$
TOTAL ENTREPISOS	**587 kg/m2**
TOTAL AZOTEA	**417 kg/m^2**

TABLA 6.2: CARGA TEMPORAL Y PERMANENTE EN CADA NIVEL

NIVEL	CARGA PERMANENTE (kg/m^2)	CARGA TEMPORAL (kg/m^2)
Quinto nivel	417	100
Cuarto nivel	587	250
Tercer nivel	587	250
Segundo nivel	587	250
Primer nivel	587	250

TABLA 6.3: PESO DE CADA NIVEL		
Quinto nivel	417 kg/m^2 * 12 m * 12 m = 60 048 kg	carga permanente
	2400 kg/m^3 * 0.5 m * 0.5 m * 1.75 m * 9 = 9 450 kg	columnas
	2400 kg/m^3 * 0.3 m * 0.6 m * 12 m * 6 = 31 104 kg	vigas
	0 * 100 kg/m^2 * 12 m * 12 m = 0 kg	carga temporal
	100 602 kg	**TOTAL**
Cuarto nivel	587 kg/m^2 * 12 m * 12 m = 84 528 kg	carga permanente
	2400 kg/m^3 * 0.5 m * 0.5 m * 3.5 m * 9 = 18 900 kg	columnas
	2400 kg/m^3 * 0.3 m * 0.6 m * 12 m * 6 = 31 104 kg	vigas
	0.15 * 250 kg/m^2 * 12 m * 12 m = 5 400 kg	carga temporal
	139 932 kg	**TOTAL**
Tercer nivel	587 kg/m^2 * 12 m * 12 m = 84 528 kg	carga permanente
	2400 kg/m^3 * 0.5 m * 0.5 m * 3.5 m * 9 = 18 900 kg	columnas
	2400 kg/m^3 * 0.3 m * 0.6 m * 12 m * 6 = 31 104 kg	vigas
	0.15 * 250 kg/m^2 * 12 m * 12 m = 5 400 kg	carga temporal
	139 932 kg	**TOTAL**
Segundo nivel	587 kg/m^2 * 12 m * 12 m = 84 528 kg	carga permanente
	2400 kg/m^3 * 0.5 m * 0.5 m * 3.5 m * 9 = 18 900 kg	columnas
	2400 kg/m^3 * 0.3 m * 0.6 m * 12 m * 6 = 31 104 kg	vigas
	0.15 * 250 kg/m^2 * 12 m * 12 m = 5 400 kg	carga temporal
	139 932 kg	**TOTAL**
Primer nivel	587 kg/m^2 * 12 m * 12 m = 84 528 kg	carga permanente
	2400 kg/m^3 * 0.5 m * 0.5 m * 4 m * 9 = 21 600 kg	columnas
	2400 kg/m^3 * 0.3 m * 0.6 m * 12 m * 6 = 31 104 kg	vigas
	0.15 * 250 kg/m^2 * 12 m * 12 m = 5 400 kg	carga temporal
	142 632 kg	**TOTAL**

Según las cargas y pesos obtenidos, a continuación se presentan las tablas de los 5 análisis estáticos realizados:

TABLA 6.4: DATOS COEFICIENTE SÍSMICO tipo marco ocupación normal		
Clasificación del sistema estructural		Tipo marco
Factor de sobre-resistencia, SR		2,0
Clasificación de la edificación		Ocupación normal
Factor de importancia, I		1,0
Zonificación sísmica		Zona III – San José
Sitio de cimentación		S3
Aceleración pico efectiva, a_{ef}		0,36
Ductilidad local		Óptima
Regularidad		Regular
Ductilidad global asignada, μ		6,0
Período, T (s)	$T = 0,10 \cdot N$	0,5
Factor espectral dinámico, FED		0,6
Coeficiente sísmico, C	$C = \frac{a_{ef} \cdot I \cdot FED}{SR}$	**0,108**

TABLA 6.5: FUERZA SÍSMICA					
NIVEL	W (kg)	h (m)	Wh (kg m)	FS nivel (kgf)	Fp
Quinto nivel	100.602,00	18,50	1.861.137,00	18.179,99	0,181
Cuarto nivel	139.932,00	15,00	2.098.980,00	20.503,29	0,147
Tercer nivel	139.932,00	11,50	1.609.218,00	15.719,19	0,112
Segundo nivel	139.932,00	8,00	1.119.456,00	10.935,09	0,078
Primer nivel	142.632,00	4,50	641.844,00	6.269,67	0,044
Σ	**663.030,00**		**7.330.635,00**	**71.607,24**	**0,108**

TABLA 6.6: DATOS COEFICIENTE SÍSMICO tipo marco oinstalación escencial		
Clasificación del sistema estructural		Tipo marco
Factor de sobre-resistencia, SR		2,0
Clasificación de la edificación		Instalacionón esencial
Factor de importancia, I		1,5
Zonificación sísmica		Zona III – San José
Sitio de cimentación		S3
Aceleración pico efectiva, a_{ef}		0,36
Ductilidad local		Óptima
Regularidad		Regular
Ductilidad global asignada, μ		6,0
Período, T (s)	$T = 0,10 \cdot N$	0,5
Factor espectral dinámico, FED		0,6
Coeficiente sísmico, C	$C = \frac{a_{ef} \cdot I \cdot FED}{SR}$	**0,162**

TABLA 6.7: FUERZA SÍSMICA					
NIVEL	W (kg)	h (m)	Wh (kg m)	FS nivel (kg)	Fp
Quinto nivel	100.602,00	18,50	1.861.137,00	27.269,99	0,271
Cuarto nivel	139.932,00	15,00	2.098.980,00	30.754,941	0,220
Tercer nivel	139.932,00	11,50	1.609.218,00	23.578,79	0,169
Segundo nivel	139.932,00	8,00	1.119.456,00	16.402,635	0,117
Primer nivel	142.632,00	4,50	641.844,00	9.404,51	0,066
Σ	**663.030,00**		**7.330.635,00**	**107.410,86**	**0,162**

TABLA 6.8: DATOS COEFICIENTE SÍSMICO tipo muro ocupación normal	
Clasificación del sistema estructural	Tipo muro
Factor de sobre-resistencia, SR	2,0
Clasificación de la edificación	Ocupación normal
Factor de importancia, I	1,0
Zonificación sísmica	Zona III – San José
Sitio de cimentación	S3
Aceleración pico efectiva, a_{ef}	0,36
Ductilidad local	Óptima
Regularidad	Regular
Ductilidad global asignada, μ	3,0
Período, T (s)	$T = 0,10 \cdot N$ 0,25
Factor espectral dinámico, FED	1,12
Coeficiente sísmico, C	$C = \frac{a_0 \cdot I \cdot FED}{SR}$ **0,202**

TABLA 6.9: FUERZA SÍSMICA					
NIVEL	W (kg)	h (m)	Wh (kg m)	FS nivel (kg)	Fp
Quinto nivel	100.602,00	18,50	1.861.137,00	33.935,98	0,337
Cuarto nivel	139.932,00	15,00	2.098.980,00	38.272,82	0,274
Tercer nivel	139.932,00	11,50	1.609.218,00	29.342,49	0,210
Segundo nivel	139.932,00	8,00	1.119.456,00	20.412,17	0,146
Primer nivel	142.632,00	4,50	641.844,00	11.703,39	0,082
Σ	**663.030,00**		**7.330.635,00**	**133.666,85**	**0,202**

TABLA 6.10: DATOS COEFICIENTE SÍSMICO tipo muro instaciones esenciales	
Clasificación del sistema estructural	Tipo muro
Factor de sobre-resistencia, SR	2,0
Clasificación de la edificación	Instalacionón esencial
Factor de importancia, I	1,5
Zonificación sísmica	Zona III – San José
Sitio de cimentación	S3
Aceleración pico efectiva, a_{ef}	0,36
Ductilidad local	Óptima
Regularidad	Regular
Ductilidad global asignada, μ	3,0
Período, T (s)	$T = 0.10 \cdot N$ 0,25
Factor espectral dinámico, FED	1,12
Coeficiente sísmico, C	$C = \frac{a_{ef} \cdot I \cdot FED}{SR}$ **0,302**

TABLA 6.11: FUERZA SÍSMICA					
NIVEL	W (kg)	h (m)	Wh (kg m)	FS nivel (kg)	Fp
Quinto nivel	100.602,00	18,50	1.861.137,00	50.903,98	0,506
Cuarto nivel	139.932,00	15,00	2.098.980,00	57.409,22	0,410
Tercer nivel	139.932,00	11,50	1.609.218,00	44.013,74	0,315
Segundo nivel	139.932,00	8,00	1.119.456,00	30.618,25	0,219
Primer nivel	142.632,00	4,50	641.844,00	17.555,08	0,123
Σ	**663.030,00**		**7.330.635,00**	**200.500,27**	**0,302**

En el gráfico 6.1 a continuación se presentan las curvas de la fuerza sísmica para sistemas y componentes no estructurales de los análisis realizados por el método estático:

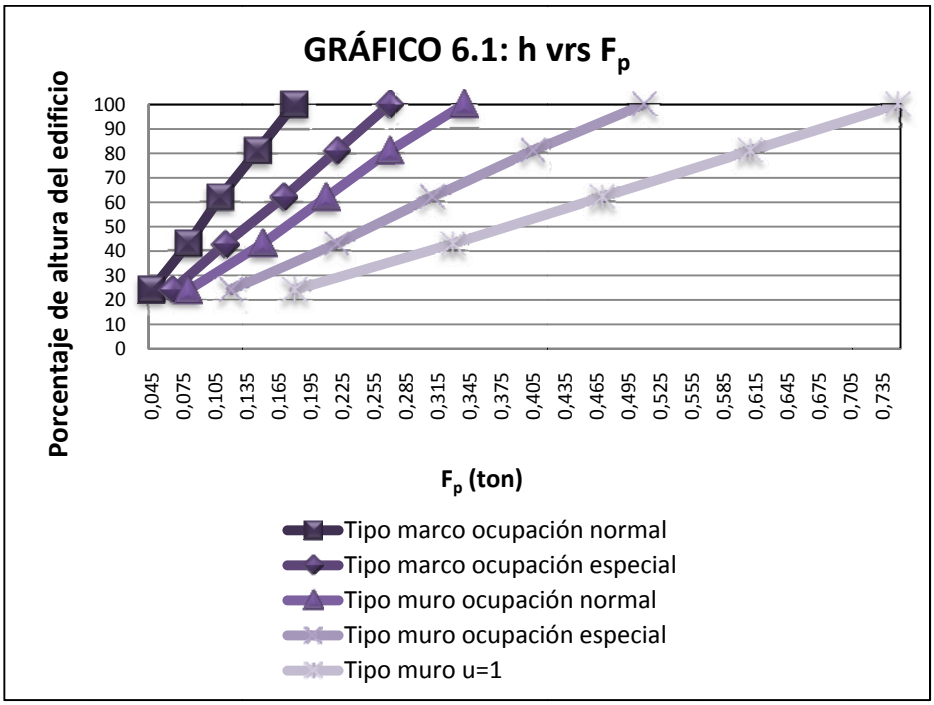


Figura 6.2: Variación de la fuerza F_p del sistema o componente no estructural respecto a su altura en el edificio

Fuente: el autor

Se observa en este gráfico, la vulnerabilidad de la fuerza sísmica con respecto a la altura, de manera que al alejarse del nivel del terreno, la fuerza sísmica crece más aceleradamente.

Además muestra como la fuerza sísmica del sistema o componente no estructural varía significativamente con la ductilidad de la estructura, principalmente en niveles superiores.

La curva una estructura tipo muro, con ductilidad mínima igual a 1, posee una pendiente de 1,3, lo que equivale a fuerzas mayores conforme se aumenta en altura dentro del edificio.

6.1.3. DATOS DE ANÁLISIS POR EL MÉTODO DINÁMICO

El objetivo de realizar un análisis dinámico de la estructura planteada es para validar los valores obtenidos por el método estático para varias ductilidades y ocupaciones de la estructura.

Para el esta validación se analizó un único análisis dinámico para la misma estructura tipo marco y con ocupación normal.

El cálculo de las fuerzas sísmicas a partir de un análisis dinámico se realizó utilizando el programa de análisis y diseño estructural SAP v11.0.0.

Basándose en las características del edificio descritas en la sección 6.1 y 6.2 del CSCR 2002, se introdujeron los datos del factor espectral dinámico de la tabla D.7. del CSCR 2002 para una ductilidad global asignada μ=6.0, correspondiente a una estructura tipo marco. A continuación se presentan las características del modelo analizado.

TABLA 6.12: DATOS COEFICIENTE SÍSMICO	
Clasificación del sistema estructural	Tipo marco
Factor de sobre-resistencia, SR	2,0
Clasificación de la edificación	Ocupación normal
Factor de importancia, I	1,0
Zonificación sísmica	Zona III – San José
Sitio de cimentación	S3
Aceleración pico efectiva, a_{ef}	0,36
Ductilidad local	Óptima
Regularidad	Regular
Ductilidad global asignada, μ	6,0
Facto a	**1,7658**

Se plantea un único caso de análisis de respuesta espectral llamado Sismo X, debido a que se analiza el plano ZY.

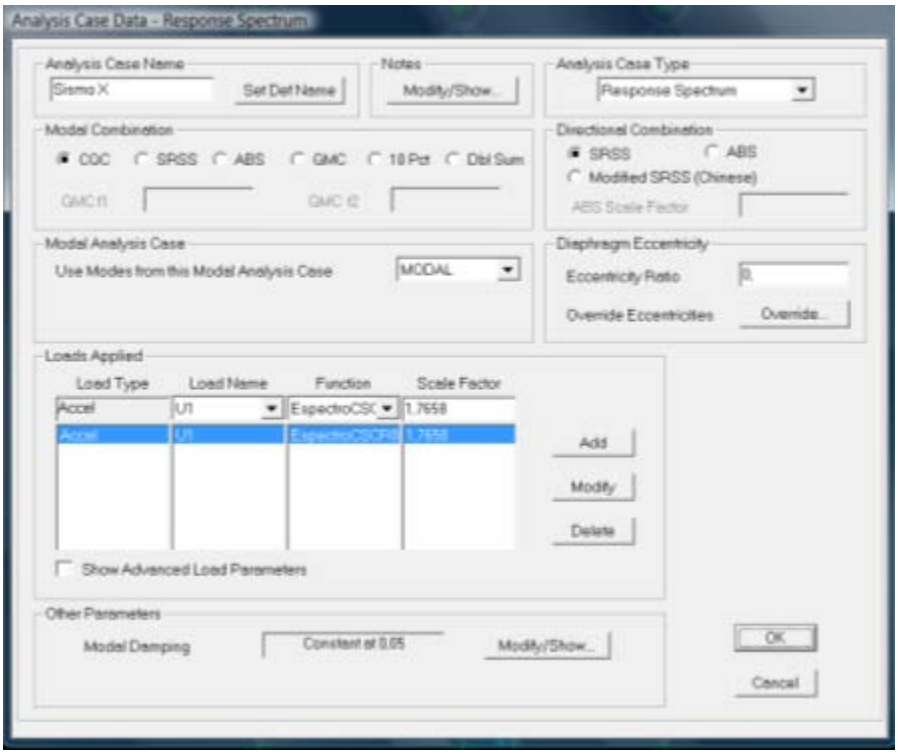


Figura 6.3: Datos del análisis dinámico

Fuente: el autor

Donde:

$$a = factor\ de\ escala\ para\ el\ espectro\ considerado$$

$$a = \frac{a_{ef} xI}{SR} = \frac{0.36x1.0}{2.0} x9.81 \frac{m}{s^2} = 1.7658 \frac{m}{s^2}$$

Adicionalmente para comprobar una adecuada distribución de masas en el marco de la estructura analizado por el método dinámico, se plantea a continuación una comparación del peso por nivel del marco del edificio obtenido por el método estático y por el método dinámico.

TABLA 6.13: PESO DE CADA NIVEL (kgf)		
Nivel	W (kgf) Método dinámico	W (kgf) Método estático
5° Nivel	31.115	33.534
4° Nivel	44.979	46.644
3° Nivel	44.979	46.644
2° Nivel	44.979	46.644
1° Nivel	44.979	47.544

La diferencia en las masas de la tabla anterior se considera aceptable dado que el objetivo es validar los resultados del análisis por el método estático, para comparar estos valores con los de las metodologías simplificadas para sistemas y componentes no estructurales. La finalidad no es hacer un análisis riguroso y detallado de las fuerzas internas de la estructura, por lo cual no se introducen masas adicionales en los nudos para el análisis dinámico del marco.

Los valores de la fuerza F_p para cada nivel obtenidos a partir de este análisis se comparan a continuación con los obtenidos por el método estático para la misma ductilidad e importancia de la estructura.

TABLA 6.14: COEFICIENTE DE ACELERACIÓN EN CADA NIVEL		
Nivel	W (kgf) Método dinámico	W (kgf) Método estático
5° Nivel	0,1897	0,1807
4° Nivel	0,1632	0,1465
3° Nivel	0,1388	0,1123
2° Nivel	0,1105	0,0781
1° Nivel	0,0759	0,0440

La diferencia en los valores de de fuerza F_p para un sistema o componente no estructural de 1 tonelada de peso, es aceptable y por lo tanto, se puede afirmar que los resultados obtenidos con el método estático son válidos para este análisis.

6.2. *CÁLCULO DE LA FUERZA SÍSMICA LATERAL SOBRE SISTEMAS O COMPONENTES NO ESTRUCTURALES CONFORME UN MODELO Y CÓDIGOS INTERNACIONALES*

Para evaluar la metodología implementada en el CSCR 2002 para el cálculo de la fuerza sísmica sobre sistemas y componentes no estructurales, se plantearon seis casos de análisis; para cada uno de estos casos se calculó la fuerza sísmica según el CSCR 2002, el UBC 1997, IBC 2000, ASCE 7 2002, ASCE 7 2005 y adicionalmente se compararon estos valores con los obtenidos por el método estático en la sección anterior.

Los casos analizados son:

1. Equipo de ascensor
2. Ducto de tubería
3. Estantería de 2,5 metros de altura
4. Elemento de fachada unido a un entrepiso
5. Elemento de fachada unido a dos entrepisos
6. Tapia

Para este análisis, se considera que todos los sistemas y componentes no estructurales tienen un peso de 1 ton, que la estructura a las que están anclados se ubica en una zona sísmica ZIII y un suelo S_3 (según el CSCR 2002) y la estructura es de ocupación normal.

En general las características de la estructura soportante son las descritas en la sección 6.1.1 de este documento.

El cálculo de la fuerza sísmica en sistemas y componentes no estructurales según los códigos IBC 2000, ASCE 7 2002 y ASCE 7 2005, se calcula según se describe en el capítulo 4 de este documento. La aceleración espectral de diseño para periodo corto, los factores de amplificación y de modificación de la respuesta del sistema o componente se toman de las tablas presentes en el capítulo 4 de este documento.

En el caso de la tapia, se considera de mampostería, con bloques de concreto de 15X20X40 cm y acero a cada 60 cm.

Además, cada caso se analiza para tres diferentes alturas.

6.2.1. CASO 1: EQUIPO DE ASCENSOR

En el gráfico 6.2 que se muestra a continuación, se grafican los valores de fuerza sísmica F_p de un equipo de ascensor de 1 ton, localizado en la azotea, 4° y 3° nivel de la estructura. Los datos del análisis de la misma estructura analizados por el método estático, descrito en las tablas 6.4, 6.5, 6.8 y 6.9 se grafican para los mismos niveles del edificio.

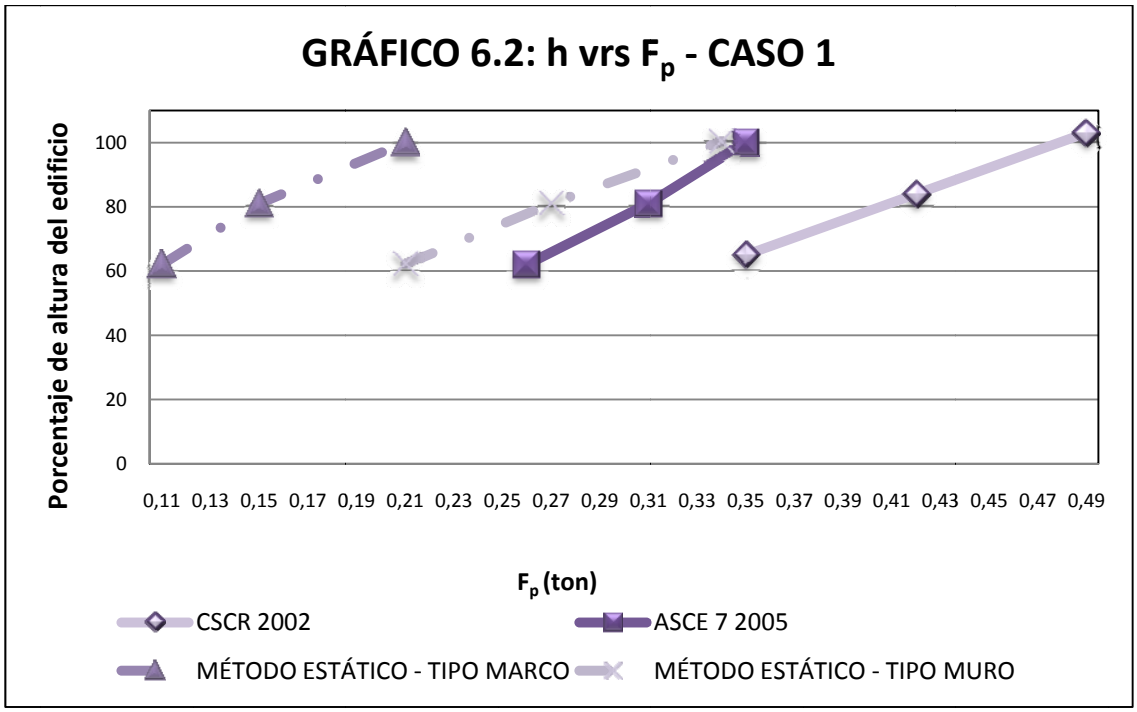


Figura 6.4: Variación de fuerza F_p en el sistema o componente no estructural respecto a su altura en el edificio

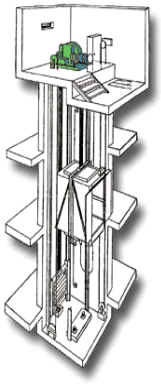
Fuente: el autor

Se puede observar que las metodologías para sistemas y componentes no estructurales proveen valores superiores a los obtenidos por el método estático. Los valores dados por el ASCE 7 2005 superan los valores del método estático para las dos ductilidades analizadas en aproximadamente un 9%. En este caso, la metodología simplificada del CSCR 2002 provee valores aproximadamente un 27% mayores que los obtenidos por el ASCE 7 2005. Lo cual incrementa el costo de los anclajes de los sistemas y componentes no estructurales.

A continuación se presenta una comparación con los valores obtenidos con otras metodologías:

TABLA 6.15: EQUIPO DE ASCENSOR

METODOLOGÍA	CASO 1.1 azotea					CASO 1.2 4° nivel					CASO 1.3 3° nivel					Promedio Comparación CSCR - 02
	Parámetros	$F_{p\,mín}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02	Parámetros	$F_{p\,mín}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02	Parámetros	$F_{p\,mín}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02	
CSCR 2002 (14.2)	W_p 1 a_{ef} 0,36 I 1 X_p 1 R_p 3 h_x 19 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,490**		W_p 1 a_{ef} 0,36 I 1 X_p 1 R_p 3 h_x 15,5 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,422**		W_p 1 a_{ef} 0,36 I 1 X_p 1 R_p 3 h_x 12 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,354**		
UBC 1997 (1632.2) Blue Book 1999 (107.2)	W_p 1 C_a 0,36 I 1 a_p 1 R_p 3 h_x 18,5 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,480**	1,02 98%	W_p 1 C_a 0,36 I 1 a_p 1 R_p 3 h_x 15 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,412**	1,02 98%	W_p 1 C_a 0,36 I 1 a_p 1 R_p 3 h_x 11,5 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,344**	1,03 97%	**1,02 98%**
IBC 2000 (1621.1.4)	W_p 1 S_{ds} 0,73 I_p 1 a_p 1 R_p 2,5 z 18,5 h 18,5	0,219	1,168	**0,350**	1,40 72%	W_p 1 S_{ds} 0,73 I_p 1 a_p 1 R_p 2,5 z 15 h 18,5	0,219	1,168	**0,306**	1,38 73%	W_p 1 S_{ds} 0,73 I_p 1 a_p 1 R_p 2,5 z 11,5 h 18,5	0,219	1,168	**0,262**	1,35 74%	**1,37 73%**
ASCE 7 2002 (9.6.1.3)	W_p 1 S_{ds} 0,73 I_p 1 a_p 1 R_p 2,5 z 18,5 h 18,5	0,219	1,168	**0,350**	1,40 72%	W_p 1 S_{ds} 0,73 I_p 1 a_p 1 R_p 2,5 z 15 h 18,5	0,219	1,168	**0,306**	1,38 73%	W_p 1 S_{ds} 0,73 I_p 1 a_p 1 R_p 2,5 z 11,5 h 18,5	0,219	1,168	**0,262**	1,35 74%	**1,37 73%**
ASCE 7 2005 (13.3) IBC 2006 (1613)	W_p 1 S_{ds} 0,73 I_p 1 a_p 1 R_p 2,5 z 18,5 h 18,5	0,219	1,168	**0,350**	1,40 72%	W_p 1 S_{ds} 0,73 I_p 1 a_p 1 R_p 2,5 z 15 h 18,5	0,219	1,168	**0,306**	1,38 73%	W_p 1 S_{ds} 0,73 I_p 1 a_p 1 R_p 2,5 z 11,5 h 18,5	0,219	1,168	**0,262**	1,35 74%	**1,37 73%**
ANÁLISIS DINÁMICO tipo marco ocupación normal				**0,190**	2,58 39%				**0,163**	2,58 39%				**0,139**	2,55 39%	**2,57 39%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo marco ocupación normal				**0,181**	2,71 37%				**0,147**	2,88 35%				**0,112**	3,15 32%	**2,91 34%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo marco instalación esencial				**0,271**	1,81 55%				**0,220**	1,92 52%				**0,169**	2,10 48%	**1,94 52%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo muro ocupación normal				**0,337**	1,45 69%				**0,274**	1,54 65%				**0,210**	1,69 59%	**1,56 64%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo muro instalación esencial				**0,506**	0,97 103%				**0,410**	1,03 97%				**0,315**	1,12 89%	**1,04 97%**



6.2.2. CASO 2: DUCTOS DE TUBERÍA

A continuación se presenta el gráfico 6.3 donde se grafican los valores de fuerza sísmica F_p de un ducto de tuberías de 1 ton, localizado en la azotea, 3° y 1° nivel de la estructura. Los datos del análisis de la misma estructura analizados por el método estático, descrito en las tablas 6.4, 6.5, 6.8 y 6.9 se grafican para los mismos niveles del edificio.

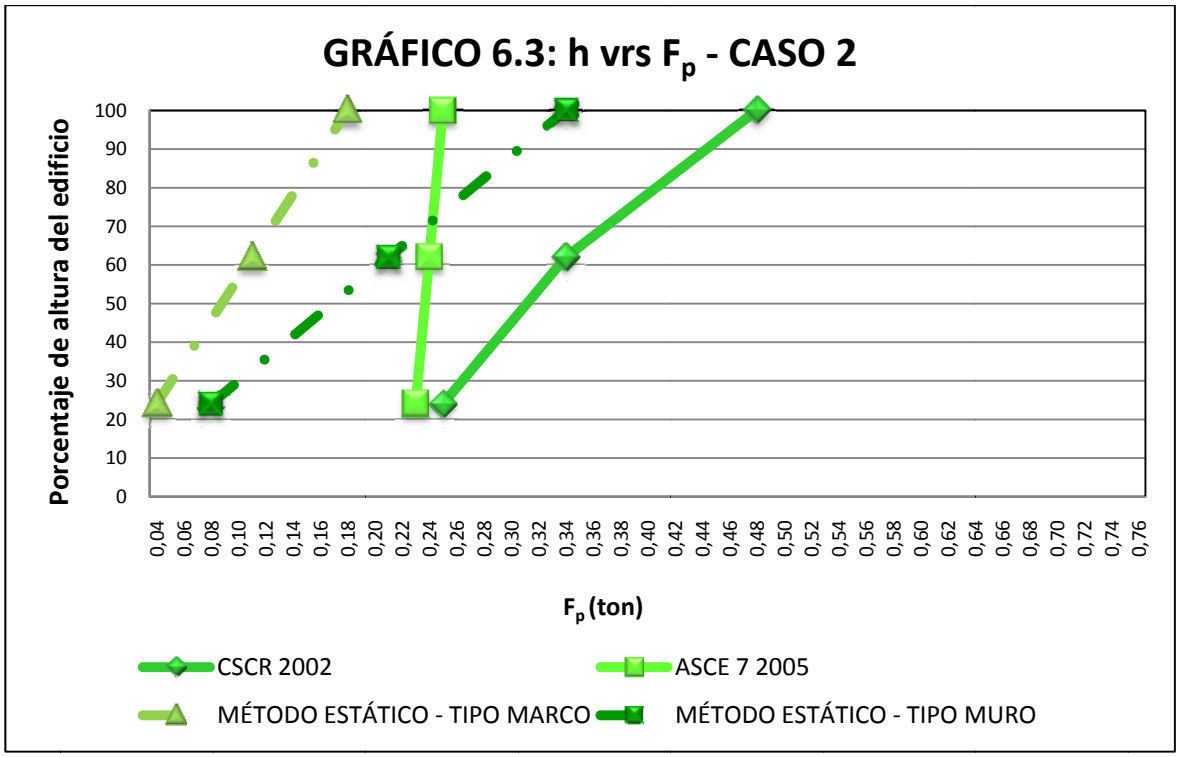


Figura 6.5: Variación de fuerza F_p en el sistema o componente no estructural respecto a su altura en el edificio

Fuente: el autor

Los valores dados por el CSCR 2002 para este caso, superan todas las metodologías analizadas, en particular, supera la metodología del ASCE 7 2005 en un 30% aproximadamente. En este caso, la metodología simplificada del ASCE 7 2005 tiene una tendencia vertical debido a que en alturas superiores rige la ecuación de la cota mínima de la fuerza F_p.

A continuación se presenta una comparación con los valores obtenidos con otras metodologías:

TABLA 6.16: DUCTO DE TUBERÍA

METODOLOGÍA	CASO 2.1 azotea					CASO 2.2 3° nivel					CASO 2.3 1° nivel					Promedio Comparación CSCR - 02	
	Parámetros	$F_{p\,mín}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02	Parámetros	$F_{p\,mín}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02	Parámetros	$F_{p\,mín}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02		
CSCR 2002 (14.2)	W_p 1 a_{ef} 0,36 I 1 X_p 1 R_p 3 h_x 18,5 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,480**		W_p 1 a_{ef} 0,36 I 1 X_p 1 R_p 3 h_x 11,5 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,344**		W_p 1 a_{ef} 0,36 I 1 X_p 1 R_p 3 h_x 4,5 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,208**			
UBC 1997 (1632.2) Blue Book 1999 (107.2)	W_p 1 C_a 0,36 I 1 a_p 1 R_p 3 h_x 18,5 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,480**	1,00 100%	W_p 1 C_a 0,36 I 1 a_p 1 R_p 3 h_x 11,5 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,344**	1,00 100%	W_p 1 C_a 0,36 I 1 a_p 1 R_p 3 h_x 4,5 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,208**	1,00 100%	**1,00 100%**
IBC 2000 (1621.1.4)	W_p 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 1 R_p 3,5 z 18,5 h 18,5	0,228	1,216	**0,261**	1,84 54%	W_p 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 1 R_p 3,5 z 11,5 h 18,5	0,228	1,216	**0,195**	1,51 66%	W_p 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 1 R_p 3,5 z 4,5 h 18,5	0,228	1,216	**0,129**	1,11 90%	**1,49 70%**
ASCE 7 2002 (9.6.1.3)	W_p 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 1 R_p 3,5 z 18,5 h 18,5	0,228	1,216	**0,261**	1,84 54%	W_p 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 1 R_p 3,5 z 11,5 h 18,5	0,228	1,216	**0,195**	1,51 66%	W_p 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 1 R_p 3,5 z 4,5 h 18,5	0,228	1,216	**0,129**	1,11 90%	**1,49 70%**
ASCE 7 2005 (13.3) IBC 2006 (1613)	W_p 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 9 z 18,5 h 18,5	0,228	1,216	**0,253**	1,89 53%	W_p 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 9 z 11,5 h 18,5	0,228	1,216	**0,189**	1,51 66%	W_p 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 9 z 4,5 h 18,5	0,228	1,216	**0,126**	1,11 90%	**1,50 70%**
ANÁLISIS DINÁMICO tipo marco ocupación normal				**0,190**	2,53 40%				**0,139**	3,46 29%				**0,076**	2,74 37%	**2,91 35%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo marco ocupación normal				**0,181**	2,66 38%				**0,112**	4,27 23%				**0,044**	4,72 21%	**3,88 27%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo marco instalación esencial				**0,271**	1,77 56%				**0,169**	2,85 35%				**0,066**	3,15 32%	**2,59 41%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo muro ocupación normal				**0,337**	1,42 70%				**0,210**	2,29 44%				**0,082**	2,53 40%	**2,08 51%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo muro instalación esencial				**0,506**	0,95 105%				**0,315**	1,53 66%				**0,123**	1,69 59%	**1,39 77%**

6.2.3. CASO 3: ESTANTERÍA DE 2,5 METROS DE ALTURA

En el gráfico 6.4 que se muestra a continuación, se grafican los valores de fuerza sísmica F_p de una estantería de 1 ton, localizada en la 4°, 3° y 2° nivel de la estructura. Los datos del análisis de la misma estructura analizados por el método estático, descrito en las tablas 6.4, 6.5, 6.8 y 6.9 se grafican para los mismos niveles del edificio.

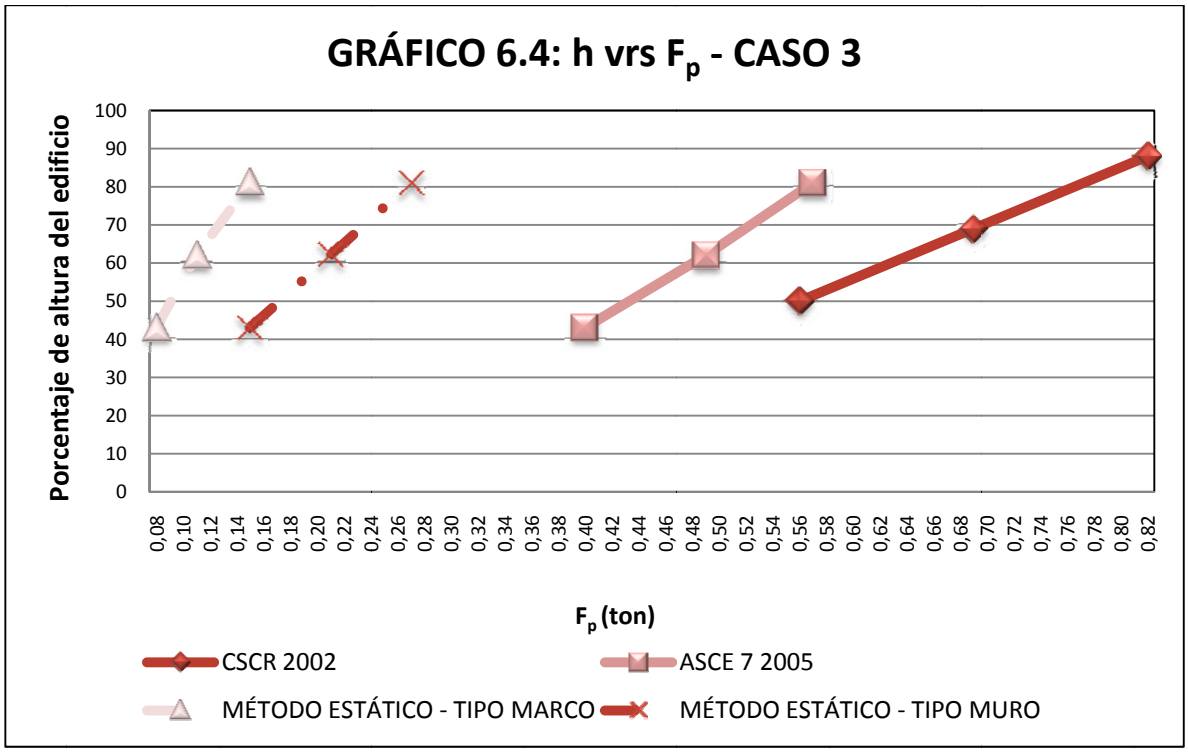


Figura 6.6: Variación de fuerza F_p en el sistema o componente no estructural respecto a su altura en el edificio

Fuente: el autor

En este caso, la metodología simplificada del ASCE 7 2005 provee valores menores a los del CSCR 2002 en un 29%, y supera las fuerzas del método estático para la estructura tipo muro en aproximadamente un 52%. A continuación se presenta una comparación con los valores obtenidos con otras metodologías:

TABLA 6.17: ESTANTERÍA DE 2,5 METROS DE ALTURA

METODOLOGÍA	CASO 3.1 4° nivel					CASO 3.2 3° nivel					CASO 3.3 2° nivel					Promedio Comparación CSCR - 02	
	Parámetros	$F_{p\,min}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02	Parámetros	$F_{p\,min}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02	Parámetros	$F_{p\,min}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02		
CSCR 2002 (14.2)	W_P 1 a_{ef} 0,36 I 1 X_p 2,5 R_p 4 h_x 16,25 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,818**		W_P 1 a_{ef} 0,36 I 1 X_p 2,5 R_p 4 h_x 12,75 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,690**		W_P 1 a_{ef} 0,36 I 1 X_p 2,5 R_p 4 h_x 9,25 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,563**			
UBC 1997 (1632.2) Blue Book 1999 (107.2)	W_P 1 C_a 0,36 I 1 a_p 2,5 R_p 4 h_x 15 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,772**	1,06 94%	W_P 1 C_a 0,36 I 1 a_p 2,5 R_p 4 h_x 11,5 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,645**	1,07 93%	W_P 1 C_a 0,36 I 1 a_p 2,5 R_p 4 h_x 8 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,517**	1,09 92%	**1,07**	**93%**
IBC 2000 (1621.1.4)	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 1 R_p 3,5 z 15 h 18,5	0,228	1,216	**0,228**	3,59 28%	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 1 R_p 3,5 z 11,5 h 18,5	0,228	1,216	**0,195**	3,54 28%	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 1 R_p 3,5 z 8 h 18,5	0,228	1,216	**0,162**	3,47 29%	**3,54**	**28%**
ASCE 7 2002 (9.6.1.3)	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 3,5 z 15 h 18,5	0,228	1,216	**0,569**	1,44 70%	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 3,5 z 11,5 h 18,5	0,228	1,216	**0,487**	1,42 71%	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 3,5 z 8 h 18,5	0,228	1,216	**0,405**	1,39 72%	**1,41**	**71%**
ASCE 7 2005 (13.3) IBC 2006 (1613)	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 3,5 z 15 h 18,5	0,228	1,216	**0,569**	1,44 70%	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 3,5 z 11,5 h 18,5	0,228	1,216	**0,487**	1,42 71%	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 3,5 z 8 h 18,5	0,228	1,216	**0,405**	1,39 72%	**1,41**	**71%**
ANÁLISIS DINÁMICO tipo marco ocupación normal		**0,163**			5,01 20%		**0,139**			4,97 20%		**0,111**			5,09 20%	**5,03**	**20%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo marco ocupación normal		**0,147**			5,58 18%		**0,112**			6,14 16%		**0,078**			7,20 14%	**6,31**	**16%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo marco instalación esencial		**0,220**			3,72 27%		**0,169**			4,10 24%		**0,117**			4,80 21%	**4,21**	**24%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo muro ocupación normal		**0,274**			2,99 33%		**0,210**			3,29 30%		**0,146**			3,86 26%	**3,38**	**30%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo muro instalación esencial		**0,410**			1,99 50%		**0,315**			2,19 46%		**0,219**			2,57 39%	**2,25**	**45%**

6.2.4. CASO 4: ELEMENTO DE FACHADA UNIDO A UN ENTREPISO

En el gráfico 6.5 que se muestra a continuación, se grafican los valores de fuerza sísmica F_p de una fachada unida a un solo entrepiso de 1 ton, localizado en la 4°, 3° y 2° nivel de la estructura. Los datos del análisis de la misma estructura analizados por el método estático, descrito en las tablas 6.4, 6.5, 6.8 y 6.9 grafican para los mismos niveles del edificio.

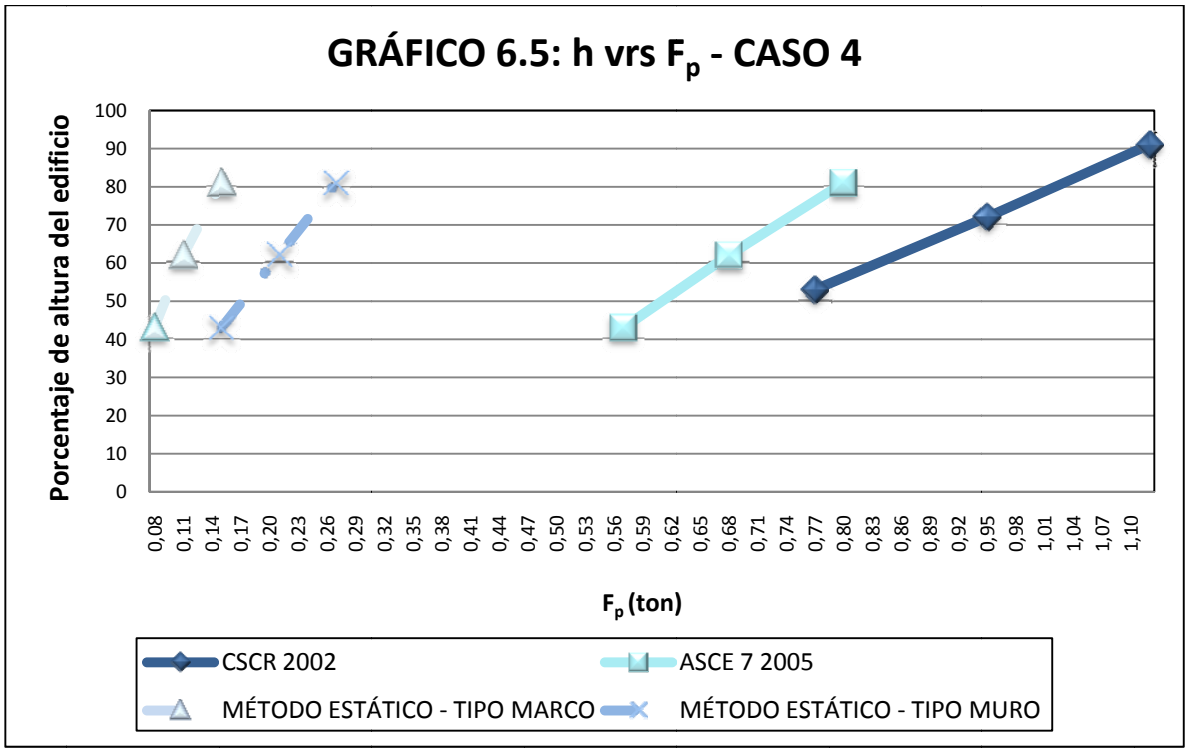


Figura 6.7: Variación de fuerza F_p en el sistema o componente no estructural respecto a su altura en el edificio

Fuente: el autor

En este caso, la fuerza F_p según la metodología simplificada del ASCE 7 2005 es alrededor de un 72% del valor obtenido según el CSCR 2002.

Adicionalmente, los valores de Fp obtenidos por el método estático para la estructura tipo muro son un 22% de los del CSCR 2002.

A continuación se presenta una comparación con los valores obtenidos con otras metodologías:

TABLA 6.18: ELEMENTO DE FACHADA UNIDO A UN ENTREPISO

METODOLOGÍA	CASO 4.1 4° nivel				CASO 4.2 3° nivel				CASO 4.3 2° nivel				Promedio Comparación CSCR - 02
	Parámetros	$F_{p\,min}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Parámetros	$F_{p\,min}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Parámetros	$F_{p\,min}$	$F_{p\,máx}$	F_p	
CSCR 2002 (14.2)	W_P 1; a_{ef} 0,36; I 1; X_p 2,5; R_p 3; h_x 16,75; h_r 18,5	0,252	1,440	**1,115**	W_P 1; a_{ef} 0,36; I 1; X_p 2,5; R_p 3; h_x 13,25; h_r 18,5	0,252	1,440	**0,945**	W_P 1; a_{ef} 0,36; I 1; X_p 2,5; R_p 3; h_x 9,75; h_r 18,5	0,252	1,440	**0,774**	
UBC 1997 (1632.2) Blue Book 1999 (107.2)	W_P 1; C_a 0,36; I 1; a_p 2,5; R_p 3; h_x 15; h_r 18,5	0,252	1,440	**1,030**	W_P 1; C_a 0,36; I 1; a_p 2,5; R_p 3; h_x 11,5; h_r 18,5	0,252	1,440	**0,859**	W_P 1; C_a 0,36; I 1; a_p 2,5; R_p 3; h_x 8; h_r 18,5	0,252	1,440	**0,689**	**1,10 91%**
IBC 2000 (1621.1.4)	W_P 1; S_{ds} 0,76; I_p 1; a_p 2,5; R_p 2,5; z 15; h 18,5	0,228	1,216	**0,797**	W_P 1; S_{ds} 0,76; I_p 1; a_p 2,5; R_p 2,5; z 11,5; h 18,5	0,228	1,216	**0,682**	W_P 1; S_{ds} 0,76; I_p 1; a_p 2,5; R_p 2,5; z 8; h 18,5	0,228	1,216	**0,567**	**1,38 72%**
ASCE 7 2002 (9.6.1.3)	W_P 1; S_{ds} 0,76; I_p 1; a_p 2,5; R_p 2,5; z 15; h 18,5	0,228	1,216	**0,797**	W_P 1; S_{ds} 0,76; I_p 1; a_p 2,5; R_p 2,5; z 11,5; h 18,5	0,228	1,216	**0,682**	W_P 1; S_{ds} 0,76; I_p 1; a_p 2,5; R_p 2,5; z 8; h 18,5	0,228	1,216	**0,567**	**1,38 72%**
ASCE 7 2005 (13.3) IBC 2006 (1613)	W_P 1; S_{ds} 0,76; I_p 1; a_p 2,5; R_p 2,5; z 15; h 18,5	0,228	1,216	**0,797**	W_P 1; S_{ds} 0,76; I_p 1; a_p 2,5; R_p 2,5; z 11,5; h 18,5	0,228	1,216	**0,682**	W_P 1; S_{ds} 0,76; I_p 1; a_p 2,5; R_p 2,5; z 8; h 18,5	0,228	1,216	**0,567**	**1,38 72%**
ANÁLISIS DINÁMICO tipo marco ocupación normal		**0,163**		6,83 15%		**0,139**		6,81 15%		**0,111**		7,01 14%	**6,88 15%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo marco ocupación normal		**0,147**		7,61 13%		**0,112**		8,41 12%		**0,078**		9,91 10%	**8,64 12%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo marco instalación esencial		**0,220**		5,07 20%		**0,169**		5,61 18%		**0,117**		6,61 15%	**5,76 18%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo muro ocupación normal		**0,274**		4,08 25%		**0,210**		4,50 22%		**0,146**		5,31 19%	**4,63 22%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo muro instalación esencial		**0,410**		2,72 37%		**0,315**		3,00 33%		**0,219**		3,54 28%	**3,09 33%**

6.2.5. CASO 5: ELEMENTO DE FACHADA UNIDO A DOS ENTREPISOS

En el gráfico 6.6 que se muestra a continuación, se grafican los valores de fuerza sísmica F_p de una fachada unida a un solo entrepiso de 1 ton, localizado en la 4°, 3° y 2° nivel de la estructura. Los datos del análisis de la misma estructura analizados por el método estático, descrito en las tablas 6.4, 6.5, 6.8 y 6.9 se grafican para los mismos niveles del edificio.

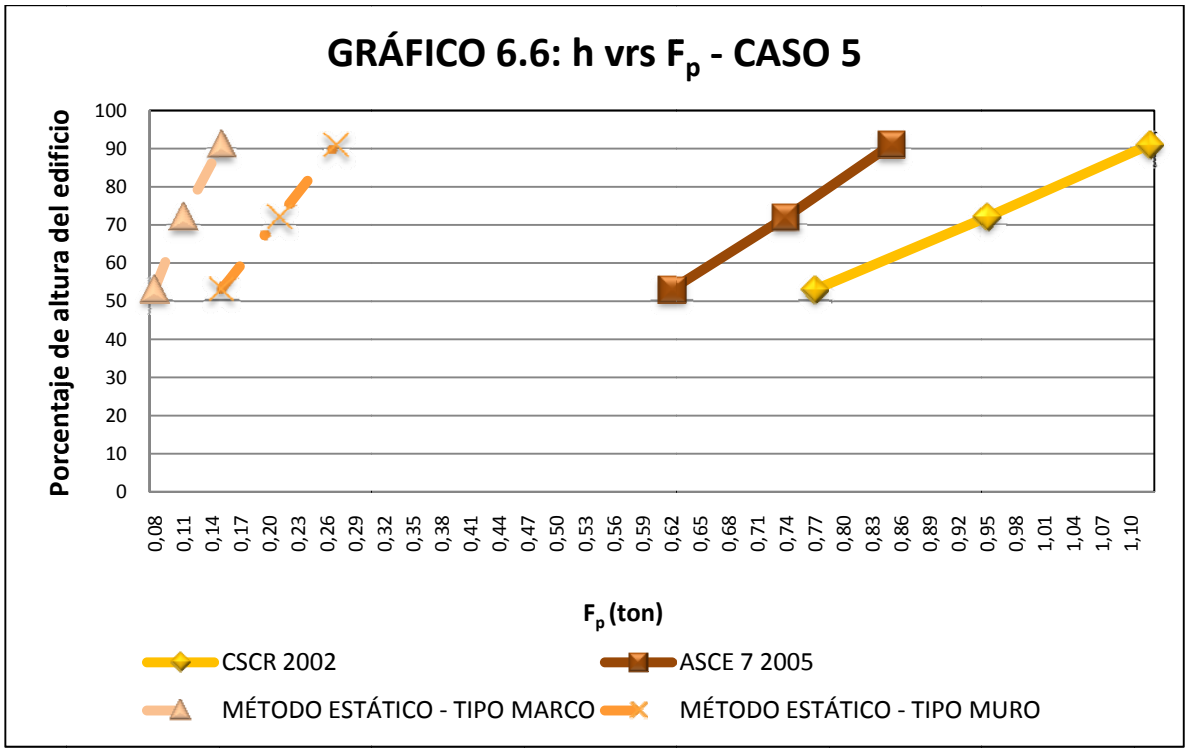


Figura 6.8: Variación de fuerza F_p en el sistema o componente no estructural respecto a su altura en el edificio

Fuente: el autor

En este caso, la fuerza F_p según la metodología simplificada del ASCE 7 2005 es alrededor de un 79% del valor obtenido según el CSCR 2002.

Adicionalmente, los valores de Fp obtenidos por el método estático para la estructura tipo muro son un 22% de los del CSCR 2002.

A continuación se presenta una comparación con los valores obtenidos con otras metodologías:

TABLA 6.19: ELEMENTO DE FACHADA UNIDO A DOS ENTREPISO

METODOLOGÍA	CASO 5.1 4° nivel				CASO 5.2 3° nivel				CASO 5.3 2° nivel				Promedio Comparación CSCR - 02
	Parámetros	$F_{p\,min}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02	Parámetros	$F_{p\,min}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02	Parámetros	$F_{p\,min}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02	
CSCR 2002 (14.2)	W_P 1 a_{ef} 0,36 I 1 X_p 2,5 R_p 3 h_x 16,75 h_r 18,5	0,252	1,440	**1,115**		W_P 1 a_{ef} 0,36 I 1 X_p 2,5 R_p 3 h_x 13,25 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,945**		W_P 1 a_{ef} 0,36 I 1 X_p 2,5 R_p 3 h_x 9,75 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,774**		
UBC 1997 (1632.2) Blue Book 1999 (107.2)	W_P 1 C_a 0,36 I 1 a_p 2,5 R_p 3 h_x 16,75 h_r 18,5	0,252	1,440	**1,115**	1,00 100%	W_P 1 C_a 0,36 I 1 a_p 2,5 R_p 3 h_x 13,25 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,945**	1,00 100%	W_P 1 C_a 0,36 I 1 a_p 2,5 R_p 3 h_x 9,75 h_r 18,5	0,252	1,440	**0,774**	1,00 100%	**1,00 100%**
IBC 2000 (1621.1.4)	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 2,5 z 16,75 h 18,5	0,228	1,216	**0,854**	1,30 77%	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 2,5 z 13,25 h 18,5	0,228	1,216	**0,739**	1,28 78%	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 2,5 z 9,75 h 18,5	0,228	1,216	**0,624**	1,24 81%	**1,27 79%**
ASCE 7 2002 (9.6.1.3)	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 2,5 z 16,75 h 18,5	0,228	1,216	**0,854**	1,30 77%	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 2,5 z 13,25 h 18,5	0,228	1,216	**0,739**	1,28 78%	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 2,5 z 9,75 h 18,5	0,228	1,216	**0,624**	1,24 81%	**1,27 79%**
ASCE 7 2005 (13.3) IBC 2006 (1613)	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 2,5 z 16,75 h 18,5	0,228	1,216	**0,854**	1,30 77%	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 2,5 z 13,25 h 18,5	0,228	1,216	**0,739**	1,28 78%	W_P 1 S_{ds} 0,76 I_p 1 a_p 2,5 R_p 2,5 z 9,75 h 18,5	0,228	1,216	**0,624**	1,24 81%	**1,27 79%**
ANÁLISIS DINÁMICO tipo marco ocupación normal		**0,163**			6,83 15%		**0,139**			6,81 15%		**0,111**			7,01 14%	**6,88 15%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo marco ocupación normal		**0,147**			7,61 13%		**0,112**			8,41 12%		**0,078**			9,91 10%	**8,64 12%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo marco instalación esencial		**0,220**			5,07 20%		**0,169**			5,61 18%		**0,117**			6,61 15%	**5,76 18%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo muro ocupación normal		**0,274**			4,08 25%		**0,210**			4,50 22%		**0,146**			5,31 19%	**4,63 22%**
ANÁLISIS ESTÁTICO tipo muro instalación esencial		**0,410**			2,72 37%		**0,315**			3,00 33%		**0,219**			3,54 28%	**3,09 33%**

6.2.6. CASO 6: TAPIA

En el gráfico 6.7 se grafican los valores de fuerza sísmica F_p de una tapia de mampostería de 15 cm de espesor, con acero a cada 60 cm, y para alturas de 2 m, 2,5m y 3 m.

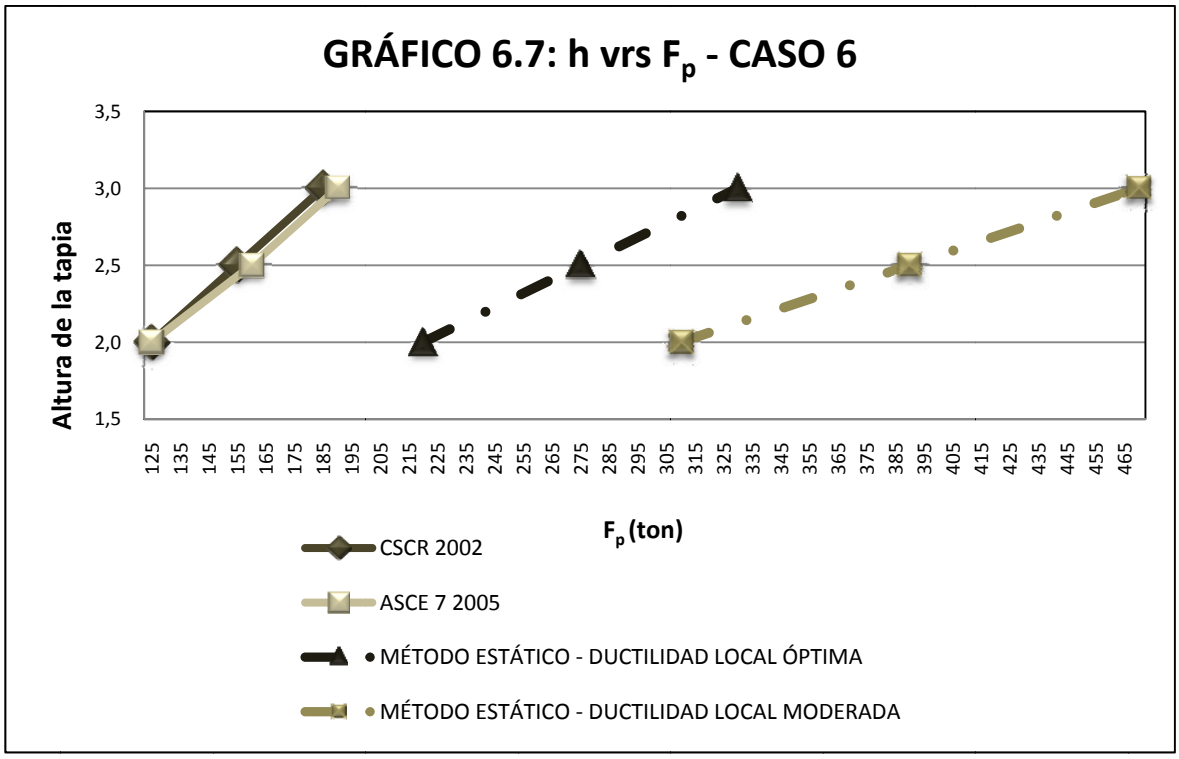


Figura 6.9: Variación de fuerza F_p en el sistema o componente no estructural respecto a su altura en el edificio

Fuente: el autor

En este caso, las fuerzas obtenidas por las metodologías simplificadas son inferiores a las obtenidas por el método estático.

La fuerza sísmica de diseño obtenida con el capítulo 14 del CSCR 2002 para el caso de ductilidad local óptima es un 56% de la fuerza que se obtiene de un análisis estático, y en el caso de ductilidad local moderada, la fuerza obtenida del capítulo 14 es un 40% de la que se obtiene de un análisis estático

A su vez la fuerza obtenida por el ASCE 7 2005 es 1% mayor a la fuerza de CSCR 2002.

TABLA 6.20: TAPIA

METODOLOGÍA	CASO 6.1 (3 mts) Parámetros		$F_{p\,min}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02		CASO 6.2 (2,5 mts) Parámetros		$F_{p\,min}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02		CASO 6.3 (2 mts) Parámetros		$F_{p\,min}$	$F_{p\,máx}$	F_p	Comparación CSCR - 02		Promedio Comparación CSCR - 02	
CSCR 2002 (14.2)	W_p	833						W_p	694						W_p	555							
	a_{ef}	0,36						a_{ef}	0,36						a_{ef}	0,36							
	I	0,75						I	0,75						I	0,75							
	X_p	1	157	900	**187**			X_p	1	131	749	**156**			X_p	1	105	599	**125**				
	R_p	3						R_p	3						R_p	3							
	h_x	1,5						h_x	1,25						h_x	1							
	h_r	3						h_r	2,5						h_r	2							
UBC 1997 (1632.2) Blue Book 1999 (107.2)	W_p	833						W_p	694						W_p	555							
	C_a	0,36						C_a	0,36						C_a	0,36							
	I	1						I	1						I	1							
	a_p	1	210	1.200	**100**	0,89	112%	a_p	1	175	999	**83**	0,89	112%	a_p	1	140	799	**67**	0,89	112%	**0,89**	**112%**
	R_p	3						R_p	3						R_p	3							
	h_x	0						h_x	0						h_x	0							
	h_r	3						h_r	2,5						h_r	2							
IBC 2000 (1621.1.4)	W_p	833						W_p	694						W_p	555							
	S_{ds}	0,76						S_{ds}	0,76						S_{ds}	0,76							
	I_p	1						I_p	1						I_p	1							
	a_p	1	190	1.013	**101**	0,99	101%	a_p	1	158	844	**84**	0,99	101%	a_p	1	127	675	**67**	0,99	101%	**0,99**	**101%**
	R_p	2,5						R_p	2,5						R_p	2,5							
	z	0						z	0						z	0							
	h	3						h	2,5						h	2							
ASCE 7 2002 (9.6.1.3)	W_p	833						W_p	694						W_p	555							
	S_{ds}	0,76						S_{ds}	0,76						S_{ds}	0,76							
	I_p	1						I_p	1						I_p	1							
	a_p	1	190	1.013	**101**	0,99	101%	a_p	1	158	844	**84**	0,99	101%	a_p	1	127	675	**67**	0,99	101%	**0,99**	**101%**
	R_p	2,5						R_p	2,5						R_p	2,5							
	z	0						z	0						z	0							
	h	3						h	2,5						h	2							
ASCE 7 2005 (13.3) IBC 2006 (1613)	W_p	833						W_p	694						W_p	555							
	S_{ds}	0,76						S_{ds}	0,76						S_{ds}	0,76							
	I_p	1						I_p	1						I_p	1							
	a_p	1	190	1.013	**101**	0,99	101%	a_p	1	158	844	**84**	0,99	101%	a_p	1	127	675	**67**	0,99	101%	**0,99**	**101%**
	R_p	2,5						R_p	2,5						R_p	2,5							
	z	0						z	0						z	0							
	h	3						h	2,5						h	2							
ANÁLISIS ESTÁTICO ductilidad local óptima			**332**			56%	177%			**276**			56%	177%			**221**			57%	177%	**56%**	**177%**
ANÁLISIS ESTÁTICO ductilidad local moderada			**468**			40%	250%			**390**			40%	250%			**312**			40%	250%	**40%**	**250%**

Las consideraciones para el análisis por el método estático de las tapias de mampostería se muestran a continuación:

TABLA 6.21: DATOS COEFICIENTE SÍSMICO tipo voladizo ductilidad local óptima	
Clasificación del sistema estructural	Tipo voladizo
Factor de sobre-resistencia, SR	1,2
Clasificación de la edificación	Ocupación miscelánea
Factor de importancia, I	0,75
Zonificación sísmica	Zona III – San José
Sitio de cimentación	S3
Aceleración pico efectiva, a_{ef}	0,36
Ductilidad local	Óptima
Regularidad	Regular
Ductilidad global asignada, μ	1,5
Factor espectral dinámico, FED	1,77
Coeficiente sísmico, C	$C=\frac{a_{ef}\cdot I\cdot FED}{SR}$ **0,398**

TABLA 6.22: FUERZA SÍSMICA		
ALTURA (m)	W (kg)	FS (kgf)
3,0	833	332
2,5	694	276
2,0	555	221
Σ	**2.081**	

TABLA 6.23: DATOS COEFICIENTE SÍSMICO tipo voladizo ductilidad local moderada	
Clasificación del sistema estructural	Tipo voladizo
Factor de sobre-resistencia, SR	1,2
Clasificación de la edificación	Ocupación miscelánea
Factor de importancia, I	0,75
Zonificación sísmica	Zona III – San José
Sitio de cimentación	S3
Aceleración pico efectiva, a_{ef}	0,36
Ductilidad local	Moderada
Regularidad	Regular
Ductilidad global asignada, μ	1,0
Factor espectral dinámico, FED	2,50
Coeficiente sísmico, C	$C=\frac{a_{ef}\cdot I\cdot FED}{SR}$ **0,563**

TABLA 24: FUERZA SÍSMICA		
ALTURA (m)	W (kg)	FS (kgf)
3,0	833	468
2,5	694	390
2,0	555	312
Σ	**2.081**	

6.3. *COMPARACIÓN DE COEFICIENTES SÍSMICOS*

Para evaluar si la disminución de las fuerzas sobre sistemas y componentes no estructurales calculadas por las metodologías simplificadas del CSCR 2002 y ASCE 7 2005 se presenta también al calcular estas fuerzas por las metodologías formales para el cálculo de las fuerzas sísmicas en la estructura, como lo es el método estático; se calcula el coeficiente sísmico planteado en el ASCE 7 2005 y en el CSCR 2002.

A continuación se presentan los cálculos realizados para obtener los coeficientes sísmicos:

TABLA 6.25: COEFICIENTES SÍSMICOS

DESCRICIÓN	Estructura tipo marco, regular, ductilidad local óptima, ocupación normal, 5 niveles, ZIII, S3, T=0,5		
CÓDIGO	**ECUACIÓN**	**PARÁMETROS**	**RESULTADO**
CSCR 2002	$C = \frac{a_{ef}\ IFED}{SR}$	a_{ef} = 0,36 I = 1 FED = 0,6 SR = 2	**0,108**
ASCE 7 2005 IBC 2006	$C_{s\ mín} = 0.01$ $C_s = \frac{S_{DS}\ I}{R}$ $C_{s\ máx} = \frac{S_{D1} I}{RT} \quad T \le T_L$ $C_{s\ máx} = \frac{S_{D1} I T_L}{RT^2} \quad T > T_L$	S_{DS} = 0,73 I_E = 1 R = 8 S_{D1} = 0,427 T_{ASCE} = 0,9 T_{CSCR} = 0,5	0,010 0,091 **0,107** no aplica

Para calcular la aceleración espectral equivalente a la aceleración pico efectiva del sitio analizado, se tomó como base la tabla 16 Q del UBC 1997, en la cual en el recuadro rojo se muestran los tipos de suelo y las tres severidades sísmicas mayores correspondientes a las de nuestro territorio nacional.

TABLA 16-Q—COEFICIENTE DE SISMICIDAD C_a

TIPO DE PERFIL DE SUELO	FACTOR DE ZONA SÍSMICA, Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_a$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_a$
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	$0.40N_a$
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	$0.44N_a$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.36N_a$
S_F	Ver Nota al pie 1				

[1] Se deben realizar investigaciones geotécnicas y análisis de respuesta dinámica específicos del lugar para determinar los coeficientes de sismicidad para el Tipo de Perfil de Suelo S_F.

Haciendo una equivalencia de estas tres zonas de mayor severidad sísmica y para los mismos tipos de suelo en la tabla 11.4-1 del ASCE 7 2005, se obtienen los posibles valores de aceleración espectral equivalentes a la aceleración pico efectiva utilizada en el CSCR 2002.

TABLE 11.4-1 SITE COEFFICIENT, F_a

Site Class	Mapped Maximum Considered Earthquake Spectral Response Acceleration Parameter at Short Period				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	See Section 11.4.7				

NOTE: Use straight-line interpolation for intermediate values of S_S.

Sms					
Tipo de sitio	**Ss≤0.25**	**Ss=0.5**	**Ss=0.75**	**Ss=1.0**	**Ss≥1.25**
A	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
B	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
C	0,30	0,60	0,83	1,00	1,25
D	0,40	0,70	0,90	1,10	1,25
E	0,63	0,85	0,90	0,90	1,13
F					

Sds					
Tipo de sitio	**Ss≤0.25**	**Ss=0.5**	**Ss=0.75**	**Ss=1.0**	**Ss≥1.25**
A	0,13	0,27	0,40	0,53	0,67
B	0,17	0,33	0,50	0,67	0,83
C	0,20	0,40	0,55	0,67	0,83
D	0,27	0,47	0,60	**0,73**	0,83
E	0,42	0,57	0,60	0,60	0,75
F					

De los valores obtenidos en la tabla anterior, se toma el valor de S_{DS} = 0,73 equivalente a una aceleración tipo efectiva de a_{ef} = 0,36, siguiendo parámetros de severidad sísmica.

De los resultados del coeficiente sísmico obtenidos en la tabla 6.25, se puede inferir que el cálculo de la fuerza sísmica F_p mediante el método estático, difiere apenas un 1% si se calcula según el ASCE 7 2005 o el CSCR 2002.

A raíz de esto se atribuyen las disminuciones de la fuerza sísmica sobre sistemas y componentes no estructurales F_p, a la variación de la pendiente de la curva mencionada en la sección 5.2 de este documento, a la variación en los valores de los factores X_p y R_p debida a una mejor clasificación de estos y a que el factor de 0,4 que relaciona la aceleración pico efectiva a_{ef} y la aceleración S_{DS} es un valor conservador, que en algunos casos supera este valor como se muestra a continuación:

factor					
Tipo de sitio	**Ss≤0.25**	**Ss=0.5**	**Ss=0.75**	**Ss=1.0**	**Ss≥1.25**
A	0,45	0,45	0,40	0,45	0,48
B	0,48	0,45	0,40	0,45	0,48
C	0,45	0,45	0,44	0,50	0,48
D	0,45	0,47	0,47	**0,49**	0,53
E	0,46	0,53	0,57	0,60	0,48
F					

Los datos obtenidos en la tabla anterior resultan de dividir la aceleración pico efectiva entre la aceleración espectral de diseño para periodo corto, respetando la clasificación de los tipos de suelo y de la severidad sísmica mostrada en el recuadro rojo.

CAPÍTULO -7-

7. CONCLUSIONES

- Los sistemas y componentes no estructurales deben someterse a un diseño de sus anclajes y demás partes que puedan dañar su integridad o la de sus usuarios. Para esto es necesario calcular la fuerza sísmica de diseño, y constatar que sea la acción que rige en el diseño.

- El capítulo 14 del CSCR 2002 plantea la metodología para el cálculo de la fuerza sísmica de sistemas y componentes no estructurales, que incluye la fuerza en los conectores para paneles y diafragmas exteriores; por lo tanto el punto d. de dicho capítulo es redundante debido a que hace la indicación de diseñar dichos conectores según el capítulo 4 del CSCR 2002, pero a la vez en la tabla 14.1 presentan los factores Xp y Rp para paneles y diafragmas exteriores (tapias de mampostería y particiones). Cabe destacar además que el capítulo 4 del CSCR 2002 no plantea ninguna metodología para el cálculo de la fuerza sísmica, sino la clasificación de las estructuras y sus componentes.

- La metodología planteada en el CSCR 2002 no establece una cota máxima para el peso del sistema o componente no estructural, lo cual deja a criterio del diseñador decidir cuándo diseñar un sistema o componente como no estructural y cuando diseñarlo como parte del sistema estructural.

- Para el cálculo de la fuerza sísmica sobre sistemas y componentes no estructurales, los códigos extranjeros analizados presentan factores de importancia propios para estos componentes, que toman en cuenta sus características propias, como por ejemplo, si el funcionamiento del componente es requerido con propósitos de seguridad o si este contiene o da soporte a material peligroso. Por otro lado el CSCR 2002 utiliza los factores de importancia de edificaciones para el cálculo de la fuerza de sismo sobre los sistemas y componentes no estructurales. Esta diferencia es importante, ya que se pueden presentar situaciones ambiguas, en las que, por ejemplo, se encuentre un componente importante o peligroso dentro de una edificación que según nuestro actual código es de ocupación normal. De ahí que lo ideal sería que se implementara una clasificación, que como en el caso de los códigos extranjeros, tome en cuenta el tipo y uso específico del componente no estructural.

Por otro lado, comparando los valores del factor de importancia de los códigos extranjeros con los que actualmente se utilizan en el país, se puede notar que estos últimos son más bajos en casi todos los casos. Con la implementación de la propuesta de los factores de importancia, esta diferencia desaparece excepto en el caso de ocupación especial, donde aún con los cambios propuestos para el nuevo CSCR, usaríamos un valor inferior al indicado en otros códigos internacionales. A continuación se presenta una tabla que muestra los valores los factores de importancia de los códigos analizados para los distintos tipos de edificaciones según el CSCR 2002. Cabe destacar que para esto se supuso una equivalencia entre los tipos y usos de componentes no estructurales que se presentan en otros códigos y los tipos de edificaciones del CSCR 2002.

CLASIFICACIÓN	CSCR 2002 ACTUAL	CSCR 2002 PROPUESTO	IBC 2000	ASCE 7 2002	ASCE 7 2005	EURO CÓDIGO 2005
Edificaciones e instalaciones esenciales	1.25	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Edificaciones e instalaciones riesgosas	1.25	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Edificaciones de Ocupación especial	1.00	1.25	1.50	1.50	1.50	1.50
Edificaciones de ocupación normal	1.00	1.25	1.00	1.00	1.00	1.00
Edificaciones misceláneas	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

- El Código Sísmico de Costa Rica 2002 no desarrolla una amplia clasificación de los sistemas y componentes no estructurales, comparativamente con los códigos internacionales IBC 2000, ASCE 7 2002 y posteriores.

- Las modificaciones en la metodología del cálculo de la fuerza sísmica sobre sistemas y componentes no estructurales de los códigos internacionales IBC 2000, ASCE 7 2002, ASCE 7 2005, y IBC 2006 son las siguientes:

1. Una mejor clasificación de los sistemas y componentes no estructurales y a los factores X_p y R_p asociados.

2. Utilización de la aceleración espectral de diseño a lugar de la aceleración pico efectiva. Y el factor de 0,4 de la equivalencia asociada.

3. Disminución de la pendiente de la curva del porcentaje de altura vrs A/Ag, lo que conlleva a valores de la fuerza sísmica F_p menores conforme aumenta la altura del sistema o componente dentro de la estructura.

4. Nomenclatura.

- La fuerza sobre el sistema o componente no estructural para los casos analizados, varía con la ductilidad de la estructura. Al analizar la fuerza sísmica sobre sistemas y componentes no estructurales mediante el método estático, y el modelo planteado en la sección 6.1 de este documento se obtuvieron fuerzas sísmicas F_p mayores en estructuras soportantes tipo muro que en estructuras tipo marco, para las mismas condiciones del sitio y peso de la estructura, según se muestra en el gráfico 6.1. Las metodologías analizadas proveen valores de fuerza sísmica sobre el componente mayores a los que resultan haciendo el análisis formal para una estructura tipo marco, exceptuando el caso del ducto de tubería según el ASCE 7 2005 y el caso de las tapias. De manera que en la mayoría de los casos analizados y diseñados con el capítulo 14 del CSCR 2002, se está siendo sumamente conservador principalmente en estructuras dúctiles como tipo marco.

- Las fuerzas F_p resultantes a partir de la metodología propuesta en el CSCR 2002 son aproximadamente un 27% mayores que las obtenidas a partir del ASCE 7 2005. Esta disminución no se atribuye a una disminución de las fuerzas calculadas según el método estático de ambos códigos como se realizó en la sección 6.3 de este documento, sino que se atribuyen a la variación de la pendiente de la curva mencionada en la sección 5.2 de este documento, a la variación en los valores de los factores X_p y R_p debida a una mejor clasificación de estos y a que el factor de 0,4 que relaciona la aceleración pico efectiva a_{ef} y la aceleración S_{DS} es un valor conservador.

- En las tapias de mampostería la fuerza sísmica de diseño obtenida con el capítulo 14 del CSCR 2002 para el caso de ductilidad local óptima es 56% de la fuerza que se

obtiene de un análisis estático. Y en el caso de ductilidad local moderada, la fuerza obtenida del capítulo 14 es 40% de la que se obtiene de un análisis estático.

- El BLUE BOOK define la altura h_x como a altura del anclaje del sistema o componente no estructural, el CSCR 2002 pese a que se basa en la metodología planteada en este código, la define como la altura del centro de masa del sistema o componente no estructural. Esta variación hecha en el CSCR 2002, genera aproximadamente un 10% más en el valor de la fuerza F_p en los casos del equipo de ascensor, estantería de 2,5 m, elementos de fachada y tapias.

CAPÍTULO -8-

8. PROPUESTA DE MODIFICACIONES AL CAPÍTULO 14 DEL CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2002

- La metodología establecida en el capítulo 14 del CSCR 2002 corresponde a la establecida en el FEMA 1994. En estos 14 años, a raíz de investigaciones se han modificado los parámetros para el cálculo de la fuerza sísmica sobre sistemas y componentes no estructurales. Para actualizar nuestro código sísmico siguiendo los parámetros del FEMA 1997, se recomienda:

    1. Realizar mapas de aceleración espectral para el territorio nacional, o en su defecto, eliminar el factor de 0,4 propuesto por el FEMA 1997 para hacer uso de los mapas de isoaceleración asociados a la aceleración pico efectiva.

    2. Incluir en la metodología un límite máximo y mínimo del peso del sistema o componente no estructural. Este peso debe ser asociado e indicarse como un porcentaje del peso total de la estructura.

    3. Eliminar el punto d. del capítulo 14 del CSCR 2002 porque genera ambigüedades.

    4. Implementar una mejor clasificación de los sistemas y componentes no estructurales para disminuir las ambigüedades asociadas. Tomando como base las clasificaciones presentes en los códigos internacionales analizados.

    5. Incluir una clasificación de la importancia del sistema o componente no estructural independiente a la clasificación del grupo de uso sísmico de la estructura. Para evitar ambigüedades asociadas.

    6. Analizar el factor de importancia I_p propuesto para la nueva versión del CSCR 2002 para edificaciones de ocupación especial. Porque es inferior al utilizado actualmente por otros códigos internacionales.

- Para las tapias, se recomienda utilizar los factores $X_p = 2,5$ y $R_p = 3$ para el cálculo de la fuerza sísmica de diseño según el capítulo 14 del CSCR 2002, para que los resultados superen el valor de fuerza obtenido mediante un análisis estático.

- Se recomienda incluir un factor para la ductilidad de la estructura en la metodología de diseño de los sistemas y componentes no estructurales.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS

9.1. *REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. **Código Sísmico de Costa Rica 1974 (CSCR 1974)**. San José, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. 1974.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. **Código Sísmico de Costa Rica 1986 (CSCR 1986)**. San José, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. 1986.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. **Código Sísmico de Costa Rica 2002 (CSCR 2002)**. San José: Editorial Tecnológica de Costa Rica. 2002.

International Code Council. **Uniform Building Code1997 (IBC)**. U.S.A. 1997

International Code Council. **Internacional Building Code 2000 (IBC)**. U.S.A. 2000.

International Code Council. **Internacional Building Code 2006 (IBC)**. Tercera reimpreción. U.S.A. 2006.

American Society of Civil Engineers. **Minimum design loads for buildings and other structures ASCE/SEI 2 2002**. Segunda edición. U.S.A. 2002.

American Society of Civil Engineers. **Minimum design loads for buildings and other structures ASCE/SEI 2 2005**. U.S.A. 2005.

Eurocode. **Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constucties – Deel 1, algemene regels, seismische belastingen en regels voor gebouwen NEN-EN 1998-1**. Abril 2005.

Quesada, W. **Evaluación analítica de los requerimientos del Código Sísmico de Costa Rica para sistemas y componentes no estructurales**. Informe de trabajo de graduación para obtenerle grado de Licenciatura de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. 2006.

Paniagua, P. **Riesgo sísmico no estructural en edificios de ocupación normal**. Informe de trabajo de graduación para obtenerle grado de Licenciatura de Ingeniería Civil.

Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA 368-369). **Architectural, mechanical, and electrical components design requirements**. Washington, DC. 2000.

Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA 368). **Procedures for determining maximum considered earthquake and design earthquake ground motion accelerations and response spectral**. Washington, DC. 2000.

Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA 74). **Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage. A Practical Guide.**, Third Edition, September 1994, USA.

Universidad de Costa Rica. 2006Serrano, A. **Modificación de periodos y frecuencias de oscilación en estructuras con daños sísmicos**. Informe de trabajo de graduación para obtenerle grado de Licenciatura de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. 2001.

Chopra, A. **Dynamics of estructures: theory and applications to earthquake engineering**. New Jersey: Prentice Hall. 1995.

Naeim, F. **The seismic design handbook**. Segunda Edición. Boston:Kluwer Academic Publishers. 2001.

SEAOC. Performance based seismic engineering of building**. VISION 2000 Committee. Structural Engineering Association of California. Sacramento, S.A.. 1995.**

VIllaverde, R. Problems Associated with current overly prescriptive seismic codes**. 13 th World conference on earthquake engeneering. Vancouver Canadá. August 1-6, 2004.**

9.2. *REFERENCIAS ELECTRÓNICAS*

9.2.1. CAPÍTULO 2

Definición de elementos no estructurales:

- http://www.asefa.es/index.php?option=com_content&task=view&id=100&Itemid=45
- http://www.disaster-info.net/viento/spanish/noestructurales.htm#Proteccion_aberturas
- http://www.paho.org/Spanish/DD/PED/03VulnerabilidadnoEstructural.pdf
- http://202.54.104.236/intranet/eha/Mitigacion/Contenidos/spanish/noestructurales.htm#06

9.2.2. CAPÍTULO 3

Factor de amplificación del sistema o componente no estructural:

- http://filemon.mecanica.upm.es/~goico/ap/cap3.pdf
- http://www.fing.ucr.ac.cr/~lis/espa/tesis/rsalas.html

Aceleración pico efectiva:

- http://www.civiles.org/acg/docs/resumenes06/4-5MariaLaporte.pdf
- http://desastres.unanleon.edu.ni/pdf2/2005/diciembre/pdf/spa/doc10450/doc10450-contenido.pdf
- http://www.atcouncil.org/pdfs/atc306.pdf

9.2.3. CAPÍTULO 5

Equipo de ascensores:

- http://www.revdelascensor.com/partes.html

10. APÉNDICES

10.1. *APÉNDICE 1 – SIMBOLOGÍA –*

a_{ef} = aceleración pico efectiva correspondiente a la edificación.

a_p = factor de amplificación del componente, que varía de 1.00 a 2.50.

C_a y C_v = coeficientes de sismicidad.

C_s = coeficiente de respuesta sísmica.

F_a = coeficiente de sitio definido.

F_p = fuerza sísmica lateral total de diseño.

H = altura promedio del techo de la estructura, relativo a la base de la misma.

h_r = elevación del techo de la estructura con respecto a la base.

h_x = elevación del centro de masa del componente o elemento con respecto a la base del edificio, tal que $hx \geq 0$.

I = factor de importancia de la edificación.

I_E = factor de importancia de ocupación.

I_p = factor de importancia del componente, este puede ser igual a 1.00 o a 1.50.

N = es el número de pisos.

N_v = factor de cercanía a la fuente.

R = coeficiente de la sobreresistencia inherente y capacidad de ductilidad global de los sistemas resistentes a fuerzas laterales.

R_p = factor de modificación de la respuesta del componente, excepto que Rp para anclajes debe ser igual a 1.5 para pernos de anclaje someros expansivos, anclajes químicos someros o anclajes someros colados en sitio. Anclajes someros son aquellos con una razón de

empotramiento/diámetro menor que 8. Cuando los anclajes sean fabricados a partir de materiales no dúctiles o mediante el uso de adhesivos, Xp, debe ser igual a 1.0.

S_1 = aceleración de respuesta espectral para periodo de 1-segundo ante el máximo sismo considerado, según se determina en la sección 1615.1.

S_A S_B S_C S_D S_E S_F = tipos de perfil de suelo.

S_{D1} = aceleración de respuesta espectral de diseño para periodo de 1-segundo. Y se calcula de forma similar al SDS.

S_{DS} = aceleración de respuesta espectral de diseño en periodo corto.

considerado.

S_s = aceleración espectral por zona, para periodos cortos. Se define en mapas.

S_{MS} = es la aceleración de respuesta espectral para periodo corto del mayor sismo

T = el periodo fundamental del edificio, en segundos.

T = periodo de vibración elástico fundamental, en segundos, de la estructura en la dirección considerada.

T_a = es una aproximación del periodo fundamental de la estructura.

W_p = peso total del sistema o componente en consideración.

X_p = factor de amplificación del sistema o componente, el cual varía entre 1.0 y 2.5. Se debe escoger un valor de Xp. En forma alternativa, este factor puede ser determinado con base en las propiedades dinámicas o en datos empíricos del componente y de la estructura que lo sustenta. El valor no debe ser menor que 1.0.

z = elevación del punto de anclaje del componente en la estructura. Para elementos a nivel de la base o debajo de esta, la altura se debe tomar como 0. Para objetos que se encuentren sobre el techo, z no se debe tomar mayor que la altura de este, h.

Z = factor de zona sísmica.

10.2. *APÉNDICE 2 – GLOSARIO SEGÚN CSCR 2002 –*

Coeficiente sísmico, C: Es un coeficiente utilizado para la determinación de las fuerzas sísmicas. Es función de la aceleración efectiva, del factor de importancia, I, de la obra, del factor espectral dinámico, FED y de la sobre-resistencia, SR.

Componentes: Es cualquier parte de los sistemas arquitectónico, eléctrico, mecánico o estructural.

Componentes flexibles: Son componente cuyas características dinámicas hacen que su respuesta sea esencialmente diferente al movimiento de sus soportes. En general tienen un período fundamental mayor a 0.06 segundos**.**

Componentes rígidos: Son componente cuyas características dinámicas hacen que su respuesta sea esencialmente igual al movimiento de sus soportes. Incluyen, pero no se limitan, a componentes con un período fundamental menor o igual a 0.06 segundos**.**

Cortante en la base: Para efectos de diseño sismo-resistente, es la fuerza lateral acumulada en la base de la estructura.

Ductilidad: Capacidad de los materiales, de los componentes y de los sistemas sismo-resistentes para deformarse más allá del límite elástico sin pérdida sustancial de la resistencia. Se cuantifica como el cociente del desplazamiento o deformación última y el desplazamiento o deformación en el límite de cedencia.

Ductilidad global: Es la ductilidad del sistema estructural ante cargas laterales, determinada de la relación del cortante en la base y algún desplazamiento representativo, usualmente el del último piso.

Ductilidad global asignad: Es la ductilidad global que se asigna a la estructura conforme a la Tabla 4.3 para efectos de determinar su factor espectral dinámico, FED.

Ductilidad local: Es la ductilidad de los elementos, componentes o uniones, determinada según su capacidad de rotación inelástica o de algún otro parámetro indicador de deformaciones internas.

Elementos, componentes o uniones dúctiles: Son aquellos elementos, componentes o uniones de una estructura capaces de resistir deformaciones cíclicas y reversibles manteniendo al menos el 80% de su capacidad máxima cuando sus deformaciones excedan el doble de las correspondientes a dicha capacidad.

Elementos, componentes o uniones frágiles: Son aquellos elementos, componentes o uniones de una estructura incapaces de mantener al menos un 80% de su capacidad máxima cuando sus deformaciones cíclicas y reversibles exceden el doble de las deformaciones correspondientes a dicha capacidad.

Factor de importancia, I: Es el coeficiente que se asigna a las edificaciones en función de su importancia y riesgo. Modifica directamente el coeficiente sísmico.

Factor espectral dinámico, FED: Es la modificación máxima en aceleración que sufre un sistema de un grado de libertad con respecto a la aceleración del suelo y es función de la zona, del tipo de suelo, de la ductilidad global asignada y del período.

Fuerzas sísmicas: Son fuerzas estáticas externas para propósitos de diseño, capaces de reproducir los valores extremos de las acciones internas causadas por la solicitación sísmica que actúa en la base del edificio.

Nivel de base: Es el nivel en el que se supone que actúa la sacudida sísmica del terreno.

Periodo de retorno: Es el inverso de la probabilidad de excedencia de un evento determinado en un año cualquiera.

Peso (para determinación de carga sísmica): Es el peso de la carga permanente más una fracción de la carga temporal.

Probabilidad de excedencia: Probabilidad de que el evento de diseño sea excedido durante la vida útil de la estructura.

Puntos de unión: En acero estructural, uniones puntuales a base de soldadura o pernos.

Sismo de diseño: Sismo representado por el espectro de diseño.

Sismo extremo: aquel cuya sacudida sísmica, expresada en términos de la aceleración pico efectiva de diseño es 50% mayor a la de un sismo severo para el mismo sitio.

Sismo moderado: aquel cuya sacudida sísmica, expresada en términos de la aceleración pico efectiva de diseño es 25% menor a la de un sismo severo para el mismo sitio.

Sismo severo: aquel cuya sacudida sísmica tiene una probabilidad de excedencia del 10% durante la vida útil de la estructura. Para una vida útil de 50 años esto corresponde aproximadamente a sismos con un período de retorno de 500 años.

Sistema estructural: En una edificación, es el sistema conformado por todos aquellos elementos y componentes responsables de asegurar su estabilidad y firmeza ante las diversas acciones producidas por el entorno.

Sistemas sismo-resistentes: Son los diversos subsistemas del sistema estructural de una edificación cuya función principal es asegurar su capacidad para resistir sismos. En conjunto deben ser capaces de transmitir las fuerzas sísmicas que se originen en cada nivel hasta el medio soportante, asegurando la integridad de los elementos y componentes y la estabilidad del conjunto.

Sobre-resistencia, SR: Es la razón entre la capacidad real sismo-resistente y la capacidad nominal sismo-resistente de una edificación. Es función del tipo de sistema estructural y del método de análisis.

Zona Sísmica: Para efectos del Código, son las regiones con condiciones de sismicidad similares en que se divide el país.