

CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN 2002
PELIGRO SÍSMICO, ESPECTROS DE DISEÑO Y REQUISITOS MÍNIMOS DE CALCULO
PARA DISEÑO SISMO-RESISTENTE

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Las especificaciones de este capítulo deben ser consideradas como requisitos mínimos a aplicarse para el cálculo y diseño de una estructura, con el fin de resistir eventos de origen sísmico. Dichos requisitos se basan principalmente en el comportamiento dinámico de estructuras de edificación. Para el caso de estructuras distintas a las de edificación, tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, presas, tuberías, etc., cuyo comportamiento dinámico es distinto al de las estructuras de edificación, se deberán aplicar consideraciones adicionales especiales que complementen los requisitos mínimos que constan en el presente código.

Es la intención del presente código que, al cumplir con los requisitos aquí detallados, se proporcione a la estructura de un adecuado diseño sismo-resistente que cumpla con la siguiente filosofía:

- Prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante terremotos pequeños y frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.
- Prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales, ante terremotos moderados y poco frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.
- Evitar el colapso ante terremotos severos que pueden ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura, procurando salvaguardar la vida de sus ocupantes.

Estos objetivos se consiguen diseñando la estructura para que:

- Tenga la capacidad para resistir las fuerzas especificadas por el código.
- Presente las derivas de piso, ante dichas cargas, inferiores a las admisibles.
- Pueda disipar energía de deformación inelástica, dado que el sismo de diseño produce fuerzas mucho mayores que las equivalentes especificadas por el código.

La memoria de cálculo incluirá una descripción del sistema estructural, los parámetros utilizados para definir las fuerzas sísmicas de diseño, el espectro de diseño o cualquier otro método de definición de la acción sísmica utilizada, así como también los desplazamientos y derivas máximas que presente la estructura, demostrando el cumplimiento de las especificaciones de este código, debiendo incluir una descripción de la revisión del comportamiento inelástico, acorde con la filosofía descrita.

2. OBJETO Y ALCANCE

2.1 El objeto de este código es el de establecer un conjunto de especificaciones básicas adecuadas para el diseño de estructuras que están sujetas a los efectos de terremotos que podrían presentarse en algún momento de su vida útil.

2.2 El alcance de este código es de carácter nacional. Todo los profesionales e instituciones públicas y privadas dedicados a tareas de diseño, construcción o fiscalización, tienen la obligación de cumplir y hacer cumplir los requisitos mínimos establecidos en el presente código.

3. DEFINICIONES

3.1 Para efectos de este código se adoptan las siguientes definiciones:

3.1.1 Altura de piso: La distancia entre los diferentes niveles de piso de una estructura.

3.1.2 Base de la estructura: Nivel al cual se considera que la acción sísmica actúa sobre la estructura.

3.1.3 Cortante basal de diseño: Fuerza total de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo de diseño con o sin reducción, de acuerdo con las especificaciones del presente código.

3.1.4 Cortante de piso: Sumatoria de las fuerzas laterales de todos los pisos superiores al nivel considerado.

3.1.5 Deriva de piso: Desplazamiento lateral relativo de un piso con respecto al piso consecutivo, medido en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura.

3.1.6 Edificaciones esenciales: Aquellas estructuras que deben permanecer operativas luego de un terremoto para atender emergencias.

3.1.7 Efectos P-Δ: Son los efectos secundarios que afectan a las fuerzas cortantes y axiales, y a los momentos flectores, cuando se aplican cargas verticales que actúan en pórticos deformados lateralmente.

3.1.8 Espectro de respuesta para diseño: Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño. Este espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura, o bien puede ser un espectro construido según los requerimientos especificados en este código.

3.1.9 Estructura: Conjunto de elementos ensamblados para resistir cargas verticales y sísmicas. Las estructuras pueden clasificarse en estructuras de edificación y otras estructuras distintas a las de edificación.

3.1.10 Fuerzas sísmicas de diseño: Fuerzas laterales que resultan de distribuir adecuadamente el cortante basal de diseño en toda la estructura, según las especificaciones de este código.

3.1.11 Muro de cortante: Pared (diafragma) diseñada para resistir fuerzas sísmicas en su propio plano.

3.1.12 Muro estructural: Muro de cortante cuyo diseño proporcionará un comportamiento dúctil ante cargas sísmicas.

3.1.13 Muro de mampostería confinada (reforzada o no reforzada): muro de cortante con o sin varillas de acero de refuerzo, confinado mediante elementos de borde construidos en hormigón armado, fundidos posteriormente a la construcción del muro de mampostería.

3.1.14 Muro de mampostería reforzada: Muro de cortante de mampostería, reforzado con varillas de acero, y que no necesita de elementos de borde para su confinamiento.

3.1.15 Parámetros de respuesta elásticos: Fuerzas y deformaciones determinadas a partir de un análisis elástico, utilizando la representación del sismo de diseño sin reducción, de acuerdo con las especificaciones del presente código.

3.1.16 Piso blando: Piso en el cual su rigidez lateral es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso inmediato superior.

3.1.17 Piso débil: Piso en el cual su resistencia lateral es menor que el 80% de la resistencia del piso inmediato superior.

3.1.18 Pórtico espacial sismo-resistente: Estructura formada por columnas y vigas descolgadas que resiste cargas verticales y de origen sísmico, en la cual tanto el pórtico como la conexión viga-columna son capaces de resistir tales fuerzas, y está especialmente diseñado y detallado para presentar un comportamiento estructural dúctil.

3.1.19 Pórtico espacial sismo-resistente con diagonales rigidizadoras: Sistema resistente de una estructura compuesta tanto por pórticos espaciales sismo-resistente como por diagonales estructurales

adecuadamente dispuestas, diseñados todos ellos para resistir fuerzas sísmicas. Se entiende como una adecuada disposición el ubicar las diagonales lo más simétricamente posible, hacia la periferia y en todo lo alto de la estructura. Para que la estructura se considere pórtico con diagonales se requiere que el sistema de diagonales absorba al menos el 75% del cortante basal.

3.1.20 Pórtico espacial sismo-resistente con muros estructurales (sistemas duales): Sistema resistente de una estructura compuesta tanto por pórticos espaciales sismo-resistentes como por muros estructurales adecuadamente dispuestos, diseñados todos ellos para resistir fuerzas sísmicas. Se entiende como una adecuada disposición el ubicar los muros estructurales lo más simétricamente posible hacia la periferia y que mantienen su longitud en planta en todo lo alto de la estructura. Para que la estructura se considere como un sistema dual se requiere que los muros absorban al menos el 75 % del corte basal.

3.1.21 Pórtico espacial sismo-resistente con vigas banda: Estructura compuesta por columnas y losas con vigas bandas (del mismo espesor de la losa) que resisten cargas verticales y de origen sísmico, en la cual tanto el pórtico como la conexión losa-columna son capaces de resistir tales fuerzas y está especialmente diseñada y detallada para presentar un comportamiento estructural dúctil.

3.1.22 Rigidez lateral de piso: Sumatoria de las rigideces a corte de los elementos verticales estructurales del piso.

3.1.23 Resistencia lateral del piso: Sumatoria de la capacidad a corte de los elementos estructurales verticales del piso.

3.1.24 Sismo de diseño: Terremoto que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años, determinado bien a partir de un análisis de la peligrosidad sísmica del sitio de emplazamiento de la estructura, o a partir de un mapa de peligro sísmico, tal como el proporcionado por este código. Para representar este terremoto, puede utilizarse un grupo de acelerogramas que presenten propiedades dinámicas representativas de las características tectónicas, geológicas y geotécnicas del sitio. Los efectos dinámicos del sismo de diseño pueden representarse mediante un espectro de respuesta para diseño.

4.- DISPOSICIONES GENERALES

Como premisa fundamental es necesario contar con un documento actualizado para el cálculo sismo-resistente de estructuras, que refleje lo que se conoce actualmente de la realidad sísmica del Ecuador, y que permita, por un lado, poner al alcance de los calculistas y diseñadores herramientas sencillas de cálculo utilizando conceptos actuales de Ingeniería Sísmica, y por otro, conocer claramente las hipótesis de cálculo, para que el diseñador tome conciencia de la responsabilidad que implica tomar ciertas decisiones a la hora de aceptar tales hipótesis.

Consecuentemente, se ha establecido claramente la filosofía de diseño sismorresistente que se persigue mediante el cumplimiento estricto de los requisitos mínimos de cálculo y diseño especificados en este código. Dichos requisitos se aplicarán con base en las hipótesis que el calculista haya decidido adoptar, las cuales deberán estar claramente descritas en la memoria de cálculo que deberá acompañar a los planos estructurales de detalle.

Debido a que este documento se considera un punto de partida que deberá ser modificado y actualizado, conforme los avances de la Ingeniería Sísmica y los nuevos requisitos y tendencias que existen hoy en día y los que vayan apareciendo, se ha considerado mantener la filosofía tradicional de diseño que data de hace ya algunas décadas, que busca el evitar la pérdida de vidas a través de impedir el colapso de las estructuras. Sin embargo, las actuales tendencias en el mundo se dirigen no sólo a la protección de la vida, sino también a la protección de la propiedad y a la búsqueda del cumplimiento de diversos niveles de desempeño de la estructura, lo que sin duda se reflejará en requisitos de diseño más severos en el futuro, criterios que deberán ser incorporados en las futuras versiones del código.

4.1 DEFINICIONES

Es de interés el disminuir incertidumbres en cuanto a la definición de los términos que se refieren a los elementos que forman parte de las estructuras, a los parámetros de respuesta sísmica de las mismas e incluso a los términos de definición de la acción sísmica de diseño. Las definiciones incluidas en este código deberán ser utilizadas literalmente durante todo el proceso de cálculo y diseño sísmo-resistente, incluyendo la etapa de elaboración de la memoria de cálculo y de los planos estructurales. Otras definiciones de elementos o de conceptos de cálculo y diseño sísmo-resistente que se utilicen y que no estén incluidas en este documento, deberán aplicar los términos definidos en el presente código.

4.2 BASES DEL DISEÑO

Para la definición de este código se ha utilizado la mejor información existente, tanto de Ecuador como de otros países del mundo. En particular, se ha tomado como documentos de trabajo los códigos UBC 94 y 97 de los Estados Unidos, y las normativas sísmo-resistentes colombiana 1998 y peruana 1997.

4.3 ZONAS SÍSMICAS Y FACTOR DE ZONA Z

El mapa de zonas sísmicas para propósitos de diseño incluido en el presente código proviene de un estudio completo que considera fundamentalmente los resultados de los estudios de peligro sísmico del Ecuador, así como también ciertos criterios adicionales que tienen que ver principalmente con la uniformidad del peligro de ciertas zonas del país, criterios de practicidad en el diseño, protección de ciudades importantes, irregularidad en curvas de definición de zonas sísmicas, suavizado de zonas de límites inter-zonas y compatibilidad con mapas de peligro de los países vecinos.

El mapa reconoce el hecho de que la subducción de la Placa de Nazca dentro de la Placa Sudamericana es la principal fuente de generación de energía sísmica en el Ecuador. A este hecho se añade un complejo sistema de fallamiento local superficial que produce sismos importantes en gran parte del territorio ecuatoriano.

El estudio de peligro sísmico fue realizado de manera integral para todo el territorio nacional, de acuerdo con las metodologías actuales usadas a nivel mundial y a la disponibilidad de la información a nivel local, incluyendo:

- Un detenido estudio de las principales fuentes sísmicas conocidas en el país y de sus mecanismos focales, que junto con la sismicidad y neotectónica, permitió modelar la geometría de las fuentes sismogénicas (rumbo, buzamiento, profundidad media de actividad sísmica y magnitud máxima).
- La evaluación de los principales eventos históricos y un análisis de la homogeneidad y completitud de los catálogos sísmicos para el Ecuador. Se modelaron 22 000 sismos locales, de los cuales, puliendo las réplicas y los eventos premonitores, se obtuvieron los sismos independientes de magnitud mínima de homogeneidad 3,9 y máxima 8,6 utilizados en el análisis.
- La utilización de la base de datos microsísmicos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.
- La utilización de las curvas de atenuación de la ley de Young para las fuentes de subducción y la de Katayama /74 para las fuentes de fallamiento continental, ambas con una desviación estándar $\sigma = 0,80$, calibradas con los registros de aceleraciones de la red de acelerógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
- La definición de 53 fuentes sismogénicas contenidas en 10 provincias sismotectónicas, determinándose sus parámetros sismológicos (magnitud mínima de homogeneidad, la tasa media de actividad sísmica y magnitud máxima probable).
- Un estudio sobre las incertidumbres en los distintos parámetros utilizados, particularmente las leyes de atenuación.

- La modelación de la ocurrencia de los sismos como un proceso de Poisson, obteniéndose mapas de iso-aceleraciones para períodos de retorno de 475 años, equivalentes a una probabilidad del 10% de excedencia en 50 años, de acuerdo con la definición de sismo de diseño.

Se reconoce que los resultados alcanzados hasta el momento en los estudios de peligro sísmico tienen un carácter dinámico, ya que reflejan el estado actual del conocimiento en la sismología y neotectónica del Ecuador. A medida que se tenga mayor información proveniente de las redes de sismógrafos y acelerógrafos que funcionan actualmente en el territorio nacional, del fallamiento activo y de mejores leyes de atenuación, ésta información será incluida en estudios posteriores. Se decidió que para esta etapa de revisión del código, no se presenten curvas de iso-aceleración sino únicamente la división del país por zonas. Sin embargo, para definir la propuesta de zonificación, se trabajó sobre los mapas de isoaceleración obtenidos del estudio de peligro sísmico ajustándose los límites y valores de isoaceleraciones de acuerdo a los criterios expuestos en el inicio del presente numeral.

4.4 GEOLOGÍA LOCAL Y PERFILES DE SUELO. COEFICIENTE S y Cm.

El factor de suelo S ha sido definido de tal forma de simplificar, desde el punto de vista práctico, los distintos tipos de suelo existentes en el país, reduciéndolos a sólo 4 tipos, cada uno de los cuales se ha descrito de la forma más concisa posible, a través de diversas propiedades físicas. La experiencia y los conocimientos sobre los tipos de suelo existentes en el Ecuador sirvieron como premisas de esta definición.

4.5 TIPO DE USO, DESTINO E IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURA. COEFICIENTE I.

La intención del presente código es el de disponer un mayor nivel de requisitos mínimos de cálculo al diseño de estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia de un sismo severo.

4.6 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE FUERZAS LATERALES

Por ser el cálculo estático una simplificación del cálculo dinámico, el presente código permite utilizarlo por sí solo únicamente en los casos en que las estructuras presentan regularidad tanto en planta como en elevación. En los casos restantes, la aplicación del cálculo dinámico permitirá detectar problemas de concentraciones de esfuerzos debidos a la presencia de irregularidades, los cuales deberá enfrentar el calculista.

El código permite la utilización de otros procedimientos de cálculo sísmico, tales como los análisis no-lineales, estáticos o dinámicos, que requieren de la aplicación de principios avanzados de Dinámica de Estructuras y de Ingeniería Sísmica, que podrán ser aplicados por profesionales altamente calificados y con los suficientes conocimientos de estas disciplinas.

4.7 BASES DEL DISEÑO, FUERZAS LATERALES DE DISEÑO MINIMAS Y EFECTOS RELACIONADOS

4.7.1 Requisitos del modelo estructural a utilizarse.-

4.7.1.1 El modelo matemático de la estructura debe ser capaz de representar su comportamiento real y por tanto, debe tomar en cuenta la distribución espacial de masas y rigideces de todos los elementos del sistema estructural.

4.7.1.2 En el caso de estructuras de hormigón armado, el modelo debe reconocer el hecho de que las secciones de los elementos se encuentran agrietados desde el instante mismo de su construcción y, por tanto, el modelo matemático debe reflejar este hecho aplicando los valores de inercias agrietadas. En el caso de las vigas, el valor de I_g debe considerar la contribución de la losa de piso a la rigidez de la misma, siempre que la losa se encuentre monolíticamente unida a la viga. En el caso de losas armadas unidireccionalmente, la participación de la losa se deberá considerar únicamente en la dirección de la armadura principal. En el caso de los muros estructurales, los valores de inercia agrietada se aplican únicamente en los pisos en los cuales se esperarí que se forme una rótula plástica por efectos de cargas sísmicas severas.

4.8 PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE FUERZAS ESTÁTICAS.-

4.8.1 Cortante Basal de Diseño.-

4.8.1.1 Los valores de C_m y de S establecidos en la Tabla 2 provienen de los valores de aceleraciones espectrales máximas esperados para valores de Z y de tipo de suelo críticos. Adicionalmente, la intersección entre el valor de C y de su límite superior C_m , define la frecuencia de esquina o de corte que separa la zona de períodos con aceleración constante con la zona de períodos de velocidad constante, dependiendo del tipo de suelo.

4.8.1.2 Si de estudios de microzonificación sísmica realizados para una región determinada del país, se establecen valores de C , C_m y de S diferentes a los establecidos por este código, se podrán utilizar los valores de los mencionados estudios, prevaleciendo los de este código como requisito mínimo.

4.8.2 Coeficiente de configuración estructural en planta Φ_p .-

4.8.2.1 El código incorpora factores penalizantes al diseño de estructuras irregulares, tanto en planta como en elevación, debido a que la presencia de dichas irregularidades usualmente causan problemas en las estructuras ante la ocurrencia de un sismo. Este código describe las tipologías de irregularidades que se pueden presentar con mayor frecuencia en las estructuras de edificación, y junto a la descripción se ha incluido una caracterización de la severidad (acumulativa o no) de tales irregularidades. Sin embargo, la descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales. La utilización de los factores penalizantes incrementa el valor del cortante de diseño, con la intención de proveer de mayor resistencia a la estructura, pero no evita los problemas que pudieran presentarse en el comportamiento sísmico de la edificación. Por tanto, es recomendable evitar al máximo la presencia de las irregularidades mencionadas.

4.8.3 Coeficiente de configuración estructural en elevación Φ_E .-

Los comentarios vertidos en el numeral 4.8.2 son también aplicables a este apartado.

4.8.4 Período de vibración T .-

La expresión del método 1 de cálculo del período fundamental de vibración proporciona un valor referencial simplificado, útil para aplicar el método de cálculo sísmico estático. El método 2, en cambio, requiere de utilizar una distribución aproximada de fuerzas laterales y el cálculo de las deflexiones elásticas estáticas resultantes de esa distribución de fuerzas en la estructura (incluye por tanto el efecto de las distribuciones de las rigideces laterales de la estructura). Por lo tanto, los resultados del método 2 constituyen una mejor estimación.

4.8.5. Factor de reducción de resistencia sísmica R .-

Para la definición del factor de reducción de resistencia R , se tomaron como criterios, tanto las recomendaciones de los códigos UBC-94 y UBC-97, como otros propios, que incluyen aspectos de agrupamiento de estructuración, diferencias entre realidades constructivas y de calidad entre los materiales y la construcción en los Estados Unidos y el Ecuador, así como penalizaciones dirigidas hacia cierto tipo de estructuras que no permiten disponer de ductilidad apropiada para soportar las deformaciones inelásticas requeridas por el sismo de diseño. Si bien se conoce claramente que los factores de reducción de resistencia R dependen realmente de muchas variables, entre otras, del tipo de estructura, del tipo de suelo, del período de vibración considerado y de los factores de ductilidad, sobre-resistencia, redundancia y amortiguamiento de una estructura en condiciones límite, se ha simplificado a un parámetro constante dependiente únicamente de la tipología estructural. Sin embargo, conceptualmente es importante su utilización, ya que reemplazando de alguna manera al factor K del CEC-77, permite observar claramente al diseñador una hipótesis fundamental del cálculo sismorresistente, cual es la de disminuir substancialmente la ordenada elástica espectral, exigiendo un diseño eficiente que permita disponer de un adecuado comportamiento inelástico durante el sismo de diseño, proveyendo así la adecuada ductilidad y disipación de energía suficientes que impidan el colapso de la estructura ante eventos sísmicos severos.

4.9 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE FUERZAS LATERALES.-

Para la distribución del cortante basal en altura, se ha utilizado una distribución triangular asociada con el modo fundamental de vibración, más una fuerza en el último piso que intenta tomar en cuenta la contribución de modos superiores.

4.10 EFECTOS P- Δ .-

La consideración de los efectos P- Δ se ha establecido tomando algunos criterios del UBC y de la normativa colombiana, con simplificaciones en cuanto a las expresiones a utilizar. El coeficiente de inestabilidad incorporado es una substancial mejora para la normativa, a fin de tomar en cuenta este efecto poco considerado anteriormente en el país.

4.11 LIMITES DE LA DERIVA DE PISO.-

Debido a que en muchas ocasiones no son las fuerzas sísmicas, sino el control de deformaciones, el parámetro de diseño crítico a ser enfrentado durante la fase de diseño de una estructura, se enfatiza este requisito, estableciendo un cambio conceptual de aquel descrito en el CEC-77, a través del cálculo de las derivas inelásticas máximas de piso. Tales derivas son limitadas por valores que se han tomado utilizando criterios de todos los documentos de trabajo y de criterios propios. Este hecho reconoce y enfrenta los problemas que se han observado en sismos pasados, donde las deformaciones excesivas han ocasionado ingentes pérdidas por daños a elementos estructurales y no estructurales. Para cumplir con este código, el diseñador debe comprobar que su estructura presentará deformaciones inelásticas controlables, mejorando substancialmente el diseño conceptual. Los valores máximos se han establecido considerando que el calculista utilizará secciones agrietadas, de conformidad con el presente código.

4.12 SEPARACIÓN ENTRE ESTRUCTURAS ADYACENTES

4.12.1 El establecimiento de separaciones máximas entre estructuras desea evitar el golpeteo entre estructuras adyacentes, o entre partes de la estructura intencionalmente separadas, debido a las deformaciones laterales. Este concepto está directamente relacionado con las derivas máximas inelásticas del numeral anterior.

4.12.2 Se considera el efecto desfavorable en que los sistemas de entrepiso de cada una de las partes intencionalmente separadas de las estructuras, o de estructuras adyacentes, no coincidan a la misma cota de altura. Para los casos de coincidencia o no coincidencia, se establece la cuantificación de separación máxima. Cabe mencionar que la exigencia impuesta está cerca al 50% del valor de separación máxima que debería estrictamente cumplirse. Esta consideración obedece a criterios de carácter económico.

4.13 COMPONENTES VERTICALES DEL SISMO DE DISEÑO.-

4.13.1 El código reconoce la necesidad de considerar los efectos de la componente vertical de los sismos, especialmente sobre elementos que exceden los límites de las plantas de los pisos, como son los voladizos. La expresión toma en cuenta que, al menos en el campo no cercano, la acción máxima de la componente vertical se puede estimar como los dos tercios de la acción máxima horizontal, y que la rigidez de los voladizos horizontales requeriría utilizar un espectro de diseño plano establecido por el valor C_m , que a su vez depende del tipo de suelo del emplazamiento.

4.14 PROCEDIMIENTO DINÁMICO DE CALCULO DE FUERZAS.-

4.14.1 Definición de la acción sísmica.-

4.14.1.1 Un aporte muy importante, y que guarda mucha relación con las recomendaciones del UBC-97, es la adopción de varias definiciones de la acción sísmica, con fines de análisis dinámico. Se establece la posibilidad de utilización de un espectro de diseño tipo código, establecido por la misma normativa, la

utilización de un espectro establecido para un caso específico, o la utilización de una familia de acelerogramas reales o simulados artificialmente. Con ello se abre una puerta hacia el diseño de estructuras mediante la aplicación de conceptos de Ingeniería Sísmica más actuales.

4.14.1.2 A diferencia del reglamento CEC-77, en el presente código se especifica claramente la forma del espectro de diseño elástico, que se puede utilizar indistintamente para el cálculo estático como para el dinámico. Para el establecimiento del espectro mencionado y de sus límites, se consideraron los siguientes criterios.

a) Estudio de las formas espectrales elásticas de los sismos ecuatorianos registrados en la Red Nacional de Acelerógrafos: A través de la recopilación de los registros de aceleración disponibles de sismos ecuatorianos, especialmente en roca y suelo firme, se estudiaron las formas espectrales de los mismos aplicando técnicas de promediado espectral.

b) Simulación estocástica de acelerogramas artificiales y estudio de formas espectrales: A partir de los registros de aceleración reales disponibles, y de la información sismológica del sismo real y del sismo mayor a simular (caída de esfuerzos, momento sísmico), se simularon registros artificiales mediante procesos estocásticos y funciones de Green. La simulación de varias familias de registros permitió estudiar la forma espectral de sismos mayores.

c) Estudio de las formas espectrales elásticas de las normativas del UBC 94 y 97, de Colombia 1998 y del Perú 1997: Se estudiaron las formas espectrales, las frecuencias de corte, la plataforma superior máxima, la ecuación de la curva de caída y los valores mínimos de las ordenadas espectrales, según el tipo de suelo. Se consideraron los nuevos criterios incorporados en la normativa UBC-97, que establece la variabilidad de la plataforma máxima del espectro como dependiente, entre otros factores, del tipo de suelo y del valor de la aceleración máxima, así como la tendencia de los códigos a utilizar la curvas de caída del espectro con una relación T^{-1} (T período de vibración), en lugar de $T^{-1/2}$ del CEC-77.

d) Revisión de los estudios clásicos de Seed & Idris y de Seed, Ugas y Lysmer, que han servido para la definición de buena parte de los espectros de los códigos en el mundo, estudiándose las frecuencias de corte del espectro y los valores máximos de la meseta dependiendo del tipo de suelo.

A partir de toda esta información, se estableció la forma espectral. El término S^S , aunque no ha sido utilizado por código alguno anteriormente sino únicamente por éste, se estableció a partir del ajuste matemático a la envolvente de todos los criterios analizados en los literales anteriores. Tanto S como su exponente tienen el mismo valor. Por otro lado el valor de los límites superior C_m e inferior se establecieron de similar manera, considerando los valores respectivos del UBC-97 para todos los tipos de suelo similares a los del presente código, y para aceleraciones en roca o suelo firme de entre 0.3g y 0.4g. Igualmente, debido a la imposibilidad de utilizar la ductilidad para disminuir la ordenada espectral elástica para períodos cortos con fines de diseño, y por criterios de practicidad, se eliminó el ramal izquierdo de ascenso de los espectros elásticos de respuesta típicos y se estableció que la meseta máxima llegue hasta valores de períodos de vibración cercanos a cero.

4.14.2 Descripción de los Procedimientos de Análisis.-

Puesto que existe la posibilidad de utilizar diferentes definiciones de la acción sísmica de diseño, desde espectros hasta registros de aceleración reales o simulados artificialmente, se incrementan las posibilidades de métodos de análisis dinámico, sean estos espectrales o paso a paso en el tiempo, y dentro de los rangos elástico o inelástico. Para regular la utilización de estos métodos, se ha adoptado las recomendaciones del UBC-97.

4.15 OTRAS ESTRUCTURAS DIFERENTES A LAS DE EDIFICACIÓN

4.15.1 Es la intención del presente código proporcionar algunos requisitos mínimos que deben aplicarse para el cálculo sísmico de estructuras diferentes a las de edificación. A más de estos requisitos mínimos, deben considerarse aquellos estipulados por códigos y normativas especiales de reconocimiento internacional, aplicables al tipo de estructura en cuestión.

4.15.2 Período: Puesto que el comportamiento sísmico de estas estructuras puede ser diferente al de las estructuras de edificación, se requiere utilizar métodos apropiados de la dinámica de estructuras para la estimación del período fundamental de vibración. El método 1 del numeral 6.2.4.1 no es aplicable, debido a que ha sido establecido únicamente para estructuras de edificación. No así el método 2 del numeral 6.2.4.2, el cual considera la distribución de rigideces en la altura de la edificación al ser necesario establecer las deformaciones laterales debidas a la aplicación de las fuerzas laterales de diseño.

5. DISPOSICIONES ESPECIFICAS

5.1 BASES DEL DISEÑO

Los procedimientos y requisitos descritos en este código se determinarán considerando la zona sísmica del Ecuador donde se va a construir la estructura, las características del suelo del sitio de emplazamiento, el tipo de uso, destino e importancia de la estructura, y el tipo de sistema y configuración estructural a utilizarse. Las estructuras deberán diseñarse para una resistencia tal que puedan soportar los desplazamientos laterales inducidos por el sismo de diseño, considerando la respuesta inelástica, la redundancia y sobre-resistencia estructural inherente, y la ductilidad de la estructura. La resistencia mínima de diseño deberá basarse en las fuerzas sísmicas de diseño establecidas en este código.

5.2 ZONAS SÍSMICAS Y FACTOR DE ZONA Z

El sitio donde se construirá la estructura determinará una de las cuatro zonas sísmicas del Ecuador, de acuerdo con la definición de zonas de la Figura 1. Una vez identificada la zona sísmica correspondiente, se adoptará el valor del factor de zona Z, según la Tabla 1. El valor de Z de cada zona representa la aceleración máxima efectiva en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

Para mayor exactitud al escoger el valor de Z, se incluye en la Tabla 2. un listado de algunas poblaciones con el valor correspondiente. Si se ha de diseñar una estructura en una zona que no consta en la lista, debe escogerse el valor de la población más cercana.

5.3 GEOLOGÍA LOCAL Y PERFILES DE SUELO. COEFICIENTE S y Cm.

5.3.1 Los requisitos establecidos en este código que tienen como finalidad tomar en cuenta la geología local para propósitos de diseño, son requisitos mínimos y no substituyen los estudios de geología de detalle, los cuales son necesarios para el caso de proyectos de infraestructura y otros proyectos distintos a los de edificación.

Las condiciones geotécnicas de los sitios o perfiles de suelo se las clasifica de acuerdo con las propiedades mecánicas del sitio, los espesores de los estratos y la velocidad de propagación de las ondas de corte. Este último parámetro puede ser correlacionado con otros parámetros del suelo, como por ejemplo el número de golpes del SPT, para algunos tipos de suelo en sitios donde se disponga de las correlaciones correspondientes.

5.3.2 Los tipos de perfiles de suelo se clasifican de la siguiente manera:

5.3.2.1 Perfil tipo S1: Roca o suelo firme.-

A este grupo corresponden las rocas y los suelos endurecidos con velocidades de ondas de corte similares a las de una roca (mayores a 750 m/s), con períodos fundamentales de vibración menores a 0,20s. Se incluyen los siguientes tipos de suelo:

a) Roca sana o parcialmente alterada, con resistencia a la compresión no confinada mayor o igual a 500 KPa (5 kg/cm²).

b) Gravas arenosas, limosas o arcillosas, densas y secas.

c) Suelos cohesivos duros con resistencia al corte en condiciones no drenadas mayores a 100 Kpa (1 kg/cm²), con espesores menores a 20m, sobreyacentes a roca u otro material endurecido con velocidad de onda de corte superior a 750 m/s.

d) Arenas densas con número de golpes del SPT: N > 50, con espesores menores a 20m, sobreyacentes a roca u otro material endurecido con velocidad de onda de corte superior a 750 m/s.

e) Suelos y depósitos de origen volcánico firmemente cementados, tobas y conglomerados con número de golpes del SPT: N > 50.

5.3.2.2 Perfil tipo S2: Suelos intermedios.-

Suelos con características intermedias o que no se ajustan a los perfiles de suelos tipo S1 y S3.

5.3.3 Perfil tipo S3: Suelos blandos o estratos profundos.-

En este grupo se incluyen los perfiles de suelos blandos o estratos de gran espesor, en los que los períodos fundamentales de vibración son mayores a 0,6 s, incluyéndose los siguientes casos:

Suelos cohesivos	Velocidad de ondas de corte, V _s (m/s)	Resistencia al corte No drenada, S _u (KPa)	Espesor del estrato (m)
Blandos	< 200	< 25	> 20
Semiblandos	200-400	25-50	> 25
Duros	400-750	50-100	> 40
Muy duros	> 750	100-200	> 60

Suelos granulares	Velocidad de ondas de corte, V _s (m/s)	Valores N del SPT	Espesor del estrato (m)
Sueltos	< 200	4-10	> 40
Semidensos	200-750	10-30	> 45
Densos	> 750	> 30	>100

Los valores de N, V_s y S_u son valores promedio del sitio y serán determinados según las siguientes expresiones:

$$V_s = \Sigma (h_i) / \Sigma(h_i / V_{si}) \quad (1)$$

$$N = \Sigma (h_i) / \Sigma(h_i / N_i) \quad (2)$$

$$S_u = \Sigma (h_i) / \Sigma(h_i / S_{ui}) \quad (3)$$

donde:

h_i = Espesor del estrato i,

V_{si} = Velocidad de las ondas de corte en el estrato i,

S_{ui} = Resistencia al corte no drenada promedio del estrato i.

5.3.4 Perfil tipo S4: Condiciones especiales de evaluación del suelo.-

En este grupo se incluyen los siguientes tipos de suelo:

- Suelos con alto potencial de licuefacción, colapsibles y sensitivos.
- Turbas, lodos y suelos orgánicos.
- Rellenos colocados sin control ingenieril.
- Arcillas y limos de alta plasticidad (IP > 75).

e) Arcillas suaves y medio duras con espesor mayor a 30 m.

Los perfiles de este grupo incluyen los suelos altamente compresibles y donde las condiciones geológicas y/o topográficas sean especialmente desfavorables, que requieran estudios geotécnicos no rutinarios para determinar sus características mecánicas.

El tipo de suelo existente en el sitio de construcción de la estructura, y por ende, el coeficiente de suelo S , se establecerán de acuerdo con lo especificado en la Tabla 3. El coeficiente S se establecerá analizando el perfil que mejor se ajuste a las características locales. En los sitios donde las propiedades del suelo sean poco conocidas, se podrán utilizar los valores del perfil de suelo tipo S3. Adicionalmente se encuentra tabulado el coeficiente C_m , relacionado con la definición del espectro del sismo de diseño establecido más adelante en este código, y que depende del perfil de suelo a utilizar.

5.4 TIPO DE USO, DESTINO E IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURA. COEFICIENTE I .

5.4.1 La estructura a construirse se clasificará en una de las categorías que se establecen en la Tabla 4, y se adoptará el correspondiente factor de importancia I .

5.5 ESTRUCTURAS REGULARES E IRREGULARES

5.5.1 Estructuras regulares en planta: Una estructura se considera como regular en planta, cuando no presenta ninguna de las condiciones de irregularidad en planta descritas en el numeral 6.2.2.

5.5.2 Estructuras regulares en elevación: Una estructura se considera como regular en elevación, cuando no presenta ninguna de las condiciones de irregularidad en elevación descritas en el numeral 6.2.3.

5.6 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE FUERZAS LATERALES

5.6.1 En general, una estructura puede ser calculada mediante procedimientos de cálculo de fuerzas laterales estáticos o dinámicos. El procedimiento escogido dependerá de la configuración estructural, tanto en planta como en elevación.

5.6.2 Para el cálculo de estructuras regulares tanto en planta como en elevación es suficiente la aplicación de procedimientos estáticos de determinación de fuerzas laterales. Para el caso de estructuras irregulares se utilizará el procedimiento de cálculo dinámico. También pueden utilizarse procedimientos alternativos de cálculo sísmico que tengan un adecuado fundamento basado en los principios establecidos por la dinámica de estructuras, llevados a cabo por profesionales especializados. Sin embargo, para todas las estructuras la aplicación del método estático, propuesto por éste código, se considerará como requisito mínimo.

6. DETERMINACION DE LAS FUERZAS LATERALES DE DISEÑO MINIMAS Y EFECTOS RELACIONADOS

6.1 GENERALIDADES: Las estructuras deben diseñarse para resistir fuerzas sísmicas provenientes de cualquier dirección horizontal. Puede asumirse que las fuerzas sísmicas de diseño actúan de manera no concurrente en la dirección de cada eje principal de la estructura.

6.1.1 La carga sísmica reactiva W para fines de este código, representa la carga reactiva por sismo, igual a la carga muerta total de la estructura. En el caso de estructuras de bodegas o de almacenaje, W se calcula como la carga muerta más un 25% de la carga viva de piso.

6.1.2 El modelo matemático de la estructura incluirá todos los elementos que conforman el sistema estructural resistente, así como su distribución espacial de masas y rigideces en la estructura.

6.1.2.1 Para el caso de estructuras de hormigón armado, en el cálculo de la rigidez se deberán utilizar los valores de las inercias agrietadas I_{cr} de los elementos estructurales, de la siguiente manera: 0,5 I_g para vigas (considerando la contribución de las losas, cuando fuera aplicable) y 0,8 I_g para columnas, siendo I_g el valor de la inercia no agrietada de la sección transversal del elemento considerado. Para el caso de muros estructurales, los valores de inercia agrietada tomarán el valor de 0,6 I_g y se aplicarán únicamente en los dos primeros pisos de la edificación (para estructuras sin subsuelos) o en los dos primeros pisos y en el primer subsuelo (para estructuras con subsuelos). Para el resto de pisos la inercia agrietada del muro estructural puede considerarse igual a la inercia no agrietada.

6.1.2.2 Para el caso de estructuras de mampostería, el valor de la inercia agrietada a utilizar para los muros será de 0,5 I_g .

6.2 PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE FUERZAS ESTATICAS.-

6.2.1 Cortante Basal de Diseño: El cortante basal total de diseño V , que será aplicado a una estructura en una dirección dada, se determinará mediante las expresiones:

$$V = \frac{ZIC}{R \Phi_P \Phi_E} W \quad (4)$$

$$C = \frac{1,25 S^s}{T} \quad (5)$$

donde:

C = No debe exceder del valor de C_m establecido en la tabla 3, no debe ser menor a 0,5 y puede utilizarse para cualquier estructura,

S = Su valor y el de su exponente se obtienen de la tabla 3,

R = Factor de reducción de respuesta estructural,

Φ_P, Φ_E = Coeficientes de configuración estructural en planta y en elevación, respectivamente.

6.2.2 Coeficiente de configuración estructural en planta Φ_P .

6.2.2.1 El coeficiente Φ_P se estimará a partir del análisis de las características de regularidad e irregularidad de las plantas en la estructura, descritas en la Tabla 5 y en la Figura 2. Se utilizará la expresión:

$$\Phi_P = \Phi_{PA} \times \Phi_{PB} \quad (6)$$

donde:

Φ_{PA} = El mínimo valor Φ_{Pi} de cada piso i de la estructura, obtenido de la Tabla 5, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 1, 2 y/o 3 (Φ_{Pi} en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para las tres irregularidades),

Φ_{PB} = Se establece de manera análoga, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 4 y/o 5 en la estructura.

Cuando una estructura no contempla ninguno de los tipos de irregularidades descritas en la Tabla 5, en ninguno de sus pisos, Φ_P tomará el valor de 1.

6.2.3 Coeficiente de configuración estructural en elevación Φ_E .

6.2.3.1 El coeficiente Φ_E se estimará a partir del análisis de las características de regularidad e irregularidad en elevación de la estructura, descritas en la Tabla 6 y en la Figura 3. Se utilizará la expresión:

$$\Phi_E = \Phi_{EA} \times \Phi_{EB} \times \Phi_{EC} \quad (7)$$

donde:

Φ_{EA} = El mínimo valor Φ_{Ei} de cada piso i de la estructura, obtenido de la Tabla 6, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 1 y/o 5 (Φ_{Ei} en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para las dos irregularidades),

Φ_{EB} = Se establece de manera análoga, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 2 y/o 3 en la estructura,

Φ_{EC} = Se establece para cuando se encuentre presente la irregularidad tipo 4 en la estructura.

Cuando una estructura no contempla ninguno de los tipos de irregularidades descritos en la Tabla 6, en ninguno de sus niveles, Φ_E tomará el valor de 1.

Adicionalmente, se debe tomar en cuenta que, cuando la deriva máxima de cualquier piso es menor de 1,3 veces la deriva del piso inmediato superior, puede considerarse que no existen irregularidades de los tipos 1, 2, ó 3.

6.2.4 Período de vibración T : El valor de T será determinado a partir de uno de los métodos descritos a continuación:

6.2.4.1 Método 1: Para estructuras de edificación, el valor de T puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión:

$$T = C_t (h_n)^{3/4} \quad (8)$$

donde:

h_n = Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura

$C_t = 0,09$ para pórticos de acero

$C_t = 0,08$ para pórticos espaciales de hormigón armado

$C_t = 0,06$ para pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales
y para otras estructuras

6.2.4.2 Método 2: El período fundamental T puede ser calculado utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, en un análisis apropiado y adecuadamente sustentado. Este requisito puede ser cumplido mediante la utilización de la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i} \right]^{1/2} \quad (9)$$

donde:

f_i = Representa cualquier distribución aproximada de las fuerzas laterales, de acuerdo con los principios descritos más adelante, o cualquiera otra distribución racional.

δ_i = Deflexión elástica del piso i , calculada utilizando las fuerzas laterales f_i .

El valor de T así calculado no debe ser mayor en un 30% al valor de T calculado con el Método 1.

6.2.5. Factor de reducción de resistencia sísmica R .

6.2.5.1 El factor R a utilizarse en el cálculo del cortante basal aplicado a una estructura de edificación, en cualquiera de las direcciones de cálculo adoptadas, se escogerá de la Tabla 7, tomándose el menor de los valores para los casos en los cuales el sistema resistente estructural resulte en una combinación de varios

sistemas como los descritos en la tabla. Para otro tipo de estructuras diferentes a las de edificación, se deberá cumplir con los requisitos establecidos en la sección 7 de este código. El valor de R podrá aplicarse en el cálculo del cortante basal, siempre y cuando la estructura sea diseñada cumpliendo con todos los requisitos de diseño sismo-resistente acordes con la filosofía de diseño del presente código.

6.3 DISTRIBUCION VERTICAL DE FUERZAS LATERALES.

6.3.1 En ausencia de un procedimiento más riguroso, basado en los principios de la dinámica, las fuerzas laterales totales de cálculo deben ser distribuidas en la altura de la estructura, utilizando las siguientes expresiones:

$$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i \quad (10)$$

$$F_t = 0,07TV \quad (11)$$

donde:

F_t = La fuerza concentrada que se aplicará en la parte más alta de la estructura, constituyéndose una fuerza adicional a la fuerza en el último piso.

n = Número de pisos de la estructura

T = El período utilizado para el cálculo del cortante basal total V .

Sin embargo, F_t no necesita exceder el valor de $0,25 V$, y puede considerarse nulo cuando T es menor o igual a $0,7$ s. La parte restante del cortante basal debe ser distribuido sobre la altura de la estructura, incluyendo el nivel n , de acuerdo con la expresión:

$$F_x = \frac{(V-F_t) w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (12)$$

F_x = La fuerza en el nivel x de la estructura que debe aplicarse sobre toda el área del edificio en ese nivel, de acuerdo a su distribución de masa en cada nivel .

w_i = Es el peso asignado a cada nivel de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W .

Las acciones y deformaciones en cada elemento estructural deben calcularse como resultado del efecto de las fuerzas F_x y F_t , aplicadas en los niveles apropiados de la estructura sobre su base.

6.4 DISTRIBUCION HORIZONTAL DEL CORTANTE .

6.4.1 El cortante de piso V_x , en cualquier piso x , es la suma de las fuerzas F_t y F_x sobre ese piso. V_x debe distribuirse entre los diferentes elementos del sistema resistente a cargas laterales en proporción a sus rigideces, considerando la rigidez del piso.

6.4.2 La masa de cada nivel debe considerarse como concentrada en el centro de masas del piso, pero desplazada una distancia igual al 5 por ciento de la máxima dimensión del edificio en ese piso, perpendicular a la dirección de aplicación de las fuerzas laterales bajo consideración, para tomar en cuenta los posibles efectos de torsión accidental. El efecto de este desplazamiento debe incluirse en la distribución del cortante de piso y en los momentos torsionales.

6.4.3 En el caso de que la estructura presente un sistema de pisos flexibles, la distribución del cortante de piso hacia los elementos del sistema resistente se realizará tomando en cuenta aquella condición.

6.5 MOMENTOS TORSIONALES HORIZONTALES.

6.5.1 El momento torsional de diseño en un piso determinado debe calcularse como el momento resultante de las excentricidades entre las cargas laterales de diseño en los pisos superiores al piso considerado y los elementos resistentes a cargas laterales en el piso, más la torsión accidental (asumiendo el centro de masas desplazado, como se especificó en el numeral 6.4.2).

6.5.2 Cuando existe irregularidad torsional, como se definió en el numeral correspondiente a irregularidad en planta, los efectos deben ser considerados incrementando la torsión accidental en cada nivel mediante un factor de amplificación A_x , calculado con la expresión:

$$A_x = \left[\frac{\delta_{\text{máx}}}{1,2 \delta_{\text{prom}}} \right]^2 \quad (13)$$

donde:

δ_{prom} = Promedio de los desplazamientos de los puntos extremos de la estructura en el nivel x .

$\delta_{\text{máx}}$ = Valor del desplazamiento máximo en el nivel x .

El valor de A_x no necesita ser mayor que 3,0.

6.6 VOLCAMIENTO.-

6.6.1 Toda estructura debe ser diseñada para resistir los efectos de volcamiento causados por las fuerzas sísmicas especificadas en este código. En cualquier nivel, los momentos de volcamiento a ser resistidos deben determinarse utilizando las fuerzas sísmicas (F_t y F_x), las cuales actúan en los niveles sobre el piso considerado. En cualquier nivel, los cambios incrementales de los momentos de volcamiento de diseño deben ser distribuidos hacia los diferentes elementos resistentes. Los efectos de volcamiento en cada elemento deben transmitirse hacia la cimentación.

6.7 EFECTOS P-Δ

6.7.1 Corresponden a los efectos adicionales, en las dos direcciones principales de la estructura, causados por efectos de segundo orden que producen un incremento en las fuerzas internas, momentos y derivas de la estructura, y que deben considerarse en la evaluación de la estabilidad estructural global y en el diseño mismo de la estructura. Los efectos P-Δ no necesitan ser considerados cuando el índice de estabilidad Q_i , es menor a 0,10.

6.7.2 El índice de estabilidad, para el piso i y en la dirección bajo estudio, puede calcularse por medio de la ecuación:

$$Q_i = \frac{P_i \Delta_i}{V_i h_i} \quad (14)$$

donde:

Q_i = Índice de estabilidad del piso i , es la relación entre el momento de segundo orden y el momento de primer orden.

P_i = Es la suma de la carga vertical total sin mayorar, incluyendo el peso muerto y la sobrecarga por carga viva, del piso i y de todos los pisos localizados sobre el piso i

Δ_i = Es la deriva del piso i calculada en el centro de masas del piso.

V_i = El cortante sísmico del piso .

h_i = La altura del piso considerado.

6.7.3 El índice de estabilidad de cualquier piso, Q_i , no debe exceder el valor de 0,30. Cuando Q_i es mayor que 0,30, la estructura es potencialmente inestable y debe rigidizarse, a menos que se demuestre, mediante procedimientos más estrictos, que la estructura permanece estable y que cumple con todos los requisitos de diseño sismorresistente establecidos en las normativas de diseño en hormigón armado, estructuras metálicas, madera o mampostería, acordes con la filosofía de diseño del presente código.

6.7.4 Para considerar el efecto P-Δ en la dirección bajo estudio, y cuando se cumple que $0,1 < Q_i < 0,3$, tanto las derivas de piso calculadas, Δ_{Ei} , como las fuerzas internas y los momentos de la estructura que aparecen como producto de la aplicación de las cargas laterales de diseño, se multiplicarán por un factor de mayoración $f_{P-\Delta}$ determinado por:

$$f_{P-\Delta} = \left(\frac{1}{1 - Q_i} \right) \quad (15)$$

6.8 LIMITES DE LA DERIVA DE PISO.-

6.8.1 Generalidades: Para la revisión de las derivas de piso se utilizará el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos Δ_M de la estructura, causada por el sismo de diseño. Las derivas obtenidas como consecuencia de la aplicación de las fuerzas laterales de diseño estáticas (Δ_E), para cada dirección de aplicación de las fuerzas laterales, se calcularán, para cada piso, realizando un análisis elástico estático de la estructura. Pueden también calcularse mediante un análisis dinámico, como se especifica en la sección correspondiente de este código. El cálculo de las derivas de piso debe incluir las deflexiones debidas a efectos traslacionales y torsionales, y los efectos P-Δ. Adicionalmente, en el caso de pórticos con estructura metálica, debe considerarse la contribución de las deformaciones de las zonas de conexiones a la deriva total de piso.

6.8.2 Límites de la deriva.-

El valor de Δ_M debe calcularse mediante:

$$\Delta_M = R \Delta_E \quad (16)$$

no pudiendo Δ_M superar los valores establecidos en la Tabla 8.

6.8.3 Las fuerzas laterales utilizadas para el cálculo de las derivas de piso deben obtenerse a partir del coeficiente C de la expresión del cortante basal, calculado sin tomar en cuenta el límite inferior del valor de C, ni las limitantes del Método 2 de determinación del valor de T.

6.9 SEPARACIÓN ENTRE ESTRUCTURAS ADYACENTES.

6.9.1 Dentro de la misma estructura: Todos los elementos de la estructura deben diseñarse y construirse para que actúen como un solo esquema estructural a efectos de resistir el sismo de diseño, a menos que intencionalmente se separen unos elementos de otros una distancia suficiente para evitar problemas de colisión entre ellos. Para determinar la distancia mínima de separación entre los elementos estructurales, se deberá verificar si los sistemas de entrepiso de cada una de las partes intencionalmente separadas coinciden a la misma cota en altura. De no coincidir, la distancia mínima de separación será el promedio de los valores absolutos de los desplazamientos máximos horizontales Δ_M , obtenidos según lo especificado en este código, para cada una de las partes de la estructura que se desee actúen separadamente. Por el contrario, si las cotas de los entrepisos coinciden, la separación mínima será la mitad del valor absoluto del desplazamiento máximo horizontal Δ_M de una de las partes, el más desfavorable. Dichos valores deben medirse en la dirección perpendicular a la junta que las separe, a menos que se tomen medidas para que no se produzcan daños a los elementos estructurales al utilizar una distancia menor.

6.9.2 Entre estructuras adyacentes: Una de las responsabilidades de la reglamentación urbana de las ciudades será la de fijar la separación mínima que debe existir entre estructuras colindantes que no formen parte de la misma unidad estructural. En ausencia de una reglamentación de este tipo, pueden utilizarse las siguientes recomendaciones:

6.9.2.1 Cuando ya exista una estructura vecina en la cual previamente se haya dejado una separación con respecto al lindero del terreno, y cuyas cotas de los diferentes entrepisos coincidan con las cotas de los entrepisos de la estructura por diseñarse, la nueva estructura debe separarse de la existente una distancia

igual a la cuarta parte del desplazamiento máximo horizontal Δ_M del último piso, más 0,005 veces la altura de la estructura vecina, menos la separación previamente existente entre la estructura vecina y la nueva por diseñarse. Sin embargo, en el caso de que las cotas de los entrepisos de la estructura vecina no coincidan con las cotas de entrepisos de la estructura por diseñarse, la distancia mínima de separación deberá ser la mitad del desplazamiento máximo horizontal del último piso de la estructura a diseñarse, más el uno por ciento de la altura de la estructura vecina, menos la separación previamente existente entre ambas estructuras.

6.9.2.2 Cuando ya exista una estructura vecina en la cual no existe una separación con respecto al lindero del terreno, y no se conozcan sus desplazamientos máximos, la nueva estructura debe separarse de la existente una distancia igual a la cuarta parte del desplazamiento máximo horizontal Δ_M del último piso, más una distancia igual a 0,005 veces la altura de la estructura vecina, para el caso en el que las cotas de los entrepisos de la estructura vecina coincidan con las cotas de la estructura por diseñarse. Si por el contrario, las cotas de los entrepisos de la estructura vecina no coinciden con las cotas de entrepisos de la estructura nueva, la distancia mínima de separación requerida será el doble del valor descrito en este numeral, para el caso de coincidencia de cotas de entrepisos.

6.9.2.3 Cuando no se haya construido aún en el terreno colindante, y la reglamentación urbana permita construir estructuras adosadas, en aquellos pisos en los cuales no se requiere adosamiento, la estructura debe separarse del lindero del terreno una distancia igual a la mitad del desplazamiento máximo horizontal Δ_M del último piso.

6.10 COMPONENTES VERTICALES DEL SISMO DE DISEÑO

6.10.1 De existir voladizos horizontales en las estructuras, éstos se diseñarán para una fuerza neta vertical reversible F_v expresada por

$$F_v = \frac{2}{3} ZIC_m W_p \quad (17)$$

donde:

W_p = El peso que actúa en el voladizo.

6.11 PROCEDIMIENTO DINAMICO DE CALCULO DE FUERZAS.

6.11.1 Generalidades: Cuando se utilicen procedimientos de cálculo dinámico, éstos deberán cumplir con los criterios establecidos en este código. La base del análisis constituirá una representación apropiada de la acción sísmica, de conformidad con los principios de la dinámica estructural, tal como se describe en el presente código.

6.11.2 Para estructuras de edificación, la acción sísmica utilizada debe representar, como mínimo, a un sismo con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, sin la aplicación del factor de reducción de respuesta R , y puede ser una de las siguientes:

6.11.2.1 El espectro de respuesta elástico normalizado proporcionado en la Figura 4, consistente con el tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura y considerando los valores de la tabla 3.

6.11.2.2 Un espectro de respuesta elástico obtenido para un sitio específico, basado en la geología, tectónica, sismología y características del suelo local. El espectro debe desarrollarse para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico de 0,05, a menos que la utilización de otros valores sea consistente con el comportamiento estructural previsto y con la intensidad del sismo establecida para el sitio.

6.11.2.3 Acelerogramas desarrollados para el sitio específico que sean representativos de los terremotos reales esperados en la zona. Los espectros de respuesta de tales acelerogramas, tanto individualmente como su combinación, deben aproximarse al espectro de respuesta descrito en el numeral 6.11.2.1.

Para estructuras localizadas en el perfil de suelo tipo S4, se debe tomar en cuenta la posible amplificación de la respuesta de la estructura, debido a los efectos de interacción suelo-estructura.

La componente vertical del sismo puede definirse mediante el escalamiento de la componente horizontal de la aceleración por un factor de $2/3$.

6.11.3 Modelo Matemático: El modelo matemático de la estructura incluirá todos los elementos que conforman el sistema estructural resistente, así como también la distribución espacial de las masas y rigideces en la estructura, con una aproximación tal que sea capaz de capturar las características más significativas del comportamiento dinámico. Para el análisis dinámico de estructuras irregulares se utilizará un modelo tridimensional. Para el caso de estructuras de hormigón armado y de mampostería, en el cálculo de la rigidez se deberán utilizar los valores de las inercias agrietadas I_{cr} de los elementos estructurales, de similar forma a la descrita para el procedimiento de cálculo estático de fuerzas sísmicas.

6.11.4 Descripción de los Procedimientos de Análisis.

6.11.4.1 Análisis dinámico espectral: Constituye un análisis dinámico elástico de la estructura, que utiliza la máxima respuesta de todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura. Las respuestas modales máximas son calculadas utilizando las ordenadas de un espectro de respuesta apropiado, que corresponden a los períodos de los modos de vibración. Las contribuciones modales máximas son combinadas de una forma estadística para obtener una aproximación de la respuesta estructural total.

6.11.4.2 Análisis paso a paso en el tiempo: Constituye un análisis de la respuesta dinámica de la estructura en cada incremento de tiempo, cuando la base de la misma está sujeta a un acelerograma específico.

6.11.5 Análisis dinámico espectral.

6.11.5.1 Representación del espectro de respuesta e interpretación de resultados: Los parámetros de respuesta, incluyendo fuerzas, momentos y desplazamientos, obtenidos mediante la utilización de un espectro de respuesta elástico que cumple con los requisitos descritos en el numeral correspondiente a la definición de la acción sísmica, se describirán como parámetros de respuesta elástica. Los parámetros de respuesta elástica pueden ser reducidos de acuerdo con 6.11.5.4.

6.11.5.2 Número de modos: El requerimiento de que se utilicen en el análisis todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura, puede satisfacerse al utilizar todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas.

6.11.5.3 Combinación de modos: Las fuerzas máximas en elementos, los desplazamientos, cortantes de piso, fuerzas cortantes y reacciones máximas para cada modo, se combinarán utilizando métodos reconocidos por la dinámica estructural. Cuando se utilicen modelos tri-dimensionales, los efectos de interacción modal deben ser considerados cuando se combinen los valores modales máximos.

6.11.5.4 Reducción de los parámetros de respuesta elástica para diseño: Los parámetros de respuesta elástica pueden ser reducidos para propósitos de diseño, con el limitante de que en ningún caso podrán reducirse los parámetros de respuesta elástica a valores tales que el cortante basal de diseño correspondiente sea menor que el cortante basal de respuesta elástica dividido por R . El valor de R debe obtenerse de la Tabla 7 y podrá ser aplicado en el cálculo del cortante basal, siempre y cuando la estructura sea diseñada cumpliendo con todos los requisitos de diseño sismorresistente acordes con la filosofía de diseño del presente código.

6.11.5.5 Efectos direccionales: Los efectos direccionales de las componentes horizontales de los sismos se deben tomar en cuenta de igual forma a la descrita para el método estático. Cuando existe la presencia de voladizos horizontales, los efectos de la componente vertical de los sismos debe considerarse de similar manera a la descrita en el método estático. Alternativamente, la respuesta dinámica vertical puede

calcularse utilizando métodos dinámicos; sin embargo, en ningún caso la respuesta utilizada para diseño será menor que la obtenida aplicando el método estático.

6.11.5.6 Torsión: El análisis deberá considerar los efectos torsionales, incluyendo los efectos debidos a la torsión accidental especificados para el caso del análisis estático. Cuando se utilizan modelos tri-dimensionales en el análisis, los efectos de la torsión accidental deben considerarse, mediante una apropiada re-localización de las masas, o mediante la aplicación de los procedimientos estáticos equivalentes descritos en la sección correspondiente al análisis estático de este código.

6.11.6 Análisis paso a paso en el tiempo.

6.11.6.1. Registros de aceleración: Los análisis paso a paso en el tiempo deben realizarse utilizando los dos componentes horizontales de registros de acelerogramas apropiadamente seleccionados y escalados a partir de los registros de no menos de 3 eventos sísmicos. Estos acelerogramas deben poseer las características de magnitud, distancia a la falla, mecanismos de falla y efectos del suelo, consistentes con aquellos parámetros que controlen el sismo de diseño. Cuando no se disponga de al menos 3 eventos sísmicos, pueden utilizarse acelerogramas apropiadamente simulados para generar el número de registros y de componentes requeridos. Para cada par de componentes horizontales de los acelerogramas, debe construirse la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los espectros característicos del sitio, para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico de 0,05. Los acelerogramas deben ser escalados de tal forma que el valor promedio de los espectros provenientes de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los espectros de los registros no se encuentre por debajo del espectro amortiguado al 5% del sismo de diseño para períodos entre 0,2 T y 1,5 T, siendo T el período fundamental de la estructura, medido en segundos. Ambas componentes de los acelerogramas deben aplicarse simultáneamente al modelo, a fin de considerar efectos torsionales.

Los parámetros de interés deben calcularse para cada paso de tiempo del registro dato. Si se realizan los análisis para los 3 pares de registros, se tomarán para el diseño la respuesta máxima de los parámetros de interés. Si se realizan 7 o más análisis paso a paso en el tiempo, se utilizará para el diseño el valor promedio de los parámetros de respuesta de interés.

6.11.6.2 Análisis elásticos paso a paso en el tiempo: Los análisis elásticos paso a paso en el tiempo deben cumplir con los requisitos especificados en este código para realizar análisis dinámicos, construir modelos matemáticos de las estructuras, definir la acción sísmica, el número de modos, la reducción de los parámetros elásticos de respuesta a efectos de diseño, los efectos direccionales, de torsión y de registros de aceleración. Los parámetros de respuesta obtenidos a partir de análisis elásticos paso a paso se denominarán parámetros de respuesta elástica, y pueden reducirse de conformidad con lo dispuesto en este código para el caso de análisis dinámicos.

6.11.6.3 Análisis no-lineales paso a paso en el tiempo: Los análisis no-lineales paso a paso en el tiempo deberán cumplir con los principios establecidos por la dinámica estructural, y los acelerogramas a utilizar deberán cumplir con los mismos requisitos especificados en 6.11.6.1. Las capacidades y las características de los elementos estructurales no-lineales deberán modelarse de manera consistente con datos experimentales o mediante análisis adecuadamente sustentados. La respuesta máxima inelástica en desplazamientos no deberá ser reducida y cumplirá con los límites establecidos anteriormente en este código.

6.11.6.4 Revisión del diseño cuando se utilicen análisis no-lineales paso a paso en el tiempo: Si se realiza un análisis no lineal paso a paso con el fin de justificar un diseño estructural, se deberá realizar una revisión del diseño de la estructura por parte de un equipo independiente de ingenieros que incluyan a personas ampliamente reconocidas y experimentadas en métodos de análisis sísmicos. La revisión del diseño de la estructura deberá incluir, pero no limitarse a lo siguiente:

- Revisión de los criterios aplicados para la obtención de un espectro para el sitio de emplazamiento y /o para la generación de acelerogramas.
- Revisión del diseño preliminar de la estructura (previo a la aplicación del análisis no-lineal)
- Revisión del diseño final de la estructura y de todos los criterios de análisis empleados.

La memoria de cálculo incluirá, a más de los cálculos y los planos de detalle, un escrito firmado por todos los miembros del equipo independiente de ingenieros que realizó la revisión, en el que se certifique que todas las revisiones descritas se han realizado.

7. OTRAS ESTRUCTURAS DIFERENTES A LAS DE EDIFICACION.

7.1 Generalidades: Las estructuras distintas a las de edificación incluyen todas las estructuras autoportantes que no son edificios, las cuales soportan cargas verticales y deben resistir los efectos sísmicos, tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, presas, tuberías, etc., cuyo comportamiento dinámico es distinto al comportamiento de las estructuras de edificación. Este tipo de estructuras se diseñarán para resistir las fuerzas laterales mínimas especificadas en este numeral, complementadas mediante consideraciones adicionales especiales aplicables a cada tipo de estructura. El diseño se realizará de conformidad con los requisitos aplicables de las secciones anteriores de este código, modificadas con los requisitos que se describen en los siguientes numerales.

7.2 Criterios: Las fuerzas sísmicas mínimas de diseño descritas en esta sección se han establecido a un nivel tal, necesario para producir desplazamientos sobre modelos elásticos de estructuras empotradas en su base, comparables con los desplazamientos esperados en estructuras reales sometidas al sismo de diseño. Se permite una reducción de estas fuerzas mediante el factor R (Tabla 9) cuando el diseño de este tipo de estructuras provea de suficiente resistencia y ductilidad a las mismas, de manera consistente con la filosofía de diseño y las especificaciones del presente código.

7.3 Peso W: El peso de las estructuras incluirá todas las cargas muertas definidas anteriormente para el caso de edificios. Para propósitos de cálculo de fuerzas laterales de diseño, W deberá incluir todos los pesos presentes debidos a los contenidos de dichas estructuras, en condiciones de operación máxima.

7.4 Período: El período fundamental de la estructura se calculará utilizando métodos reconocidos de la dinámica estructural, tales como el Método 2 descrito anteriormente en este código para el caso de estructuras de edificación.

7.5 Deriva: Los límites de deriva establecidos para estructuras de edificios no necesitan ser aplicados para este tipo de estructuras. Los límites de deriva deben establecerse para los elementos estructurales y no estructurales cuya falla podría ocasionar peligro para la vida y la seguridad. Sin embargo, los efectos P-Δ deben calcularse para estructuras cuyas derivas excedan los límites establecidos en el presente código para el caso de estructuras de edificación.

7.6 Efectos de Interacción: Las estructuras que soporten elementos no-estructurales flexibles cuyo peso combinado exceda en un 25% al peso de la estructura, deberán diseñarse considerando los efectos de interacción entre la estructura y dichos elementos.

7.7 Fuerzas laterales: Los procedimientos de cálculo de fuerzas laterales para sistemas estructurales similares a los utilizados para el caso de edificaciones, deberán diseñarse como tales. Para el caso de estructuras rígidas (con períodos menores a 0,6 s), éstas se deberán diseñar (incluidos sus anclajes) aplicando la fuerza lateral obtenida mediante la ecuación

$$V = 0,6 Z I W \quad (18)$$

mientras que la fuerza V debe distribuirse de acuerdo con la distribución de masas y debe aplicarse en cualquier dirección horizontal.

7.8 Tanques con fondo apoyado: Los tanques cuyo fondo se encuentra apoyado directamente sobre la superficie del suelo o bajo ella, y los tanques cuyo fondo se encuentra apoyado sobre otros elementos estructurales, se diseñarán para resistir las fuerzas laterales calculadas utilizando el procedimiento descrito para estructuras rígidas en el numeral anterior, incluyendo todo el peso del tanque y el de su contenido. Alternativamente, estos tanques pueden diseñarse siguiendo uno de los dos siguientes procedimientos:

- Un análisis espectral, el cual incluya las consideraciones de un sismo esperado en el sitio y los efectos de la inercia de los fluidos contenidos en el tanque.

- Un procedimiento prescrito por códigos y normativas internacionales de reconocido valor, aplicables al caso de estructuras de tanques.

7.9 Otras estructuras diferentes a las estructuras de edificación: Otras estructuras que no sean de edificación y que no estén cubiertas por los numerales anteriores, se diseñarán para resistir fuerzas laterales mínimas no menores a las determinadas para estructuras de edificación especificadas anteriormente en este código, con los siguientes requisitos y excepciones adicionales:

7.9.1 El factor R se determinará según la Tabla 9, considerando que el cortante basal de diseño no debe ser menor que

$$V = 0,48 ZIW \quad (19)$$

ni tampoco menor que

$$V = \frac{1,14 ZI}{R} W(20)$$

7.9.2 Debe tomarse en cuenta que la utilización del factor de reducción de respuesta R puede utilizarse únicamente cuando las estructuras se diseñen conforme lo establecen las especificaciones de diseño sísmo-resistente de estructuras de hormigón armado, mampostería, metálicas, madera u otros consistentes con la filosofía de diseño del presente código.

7.9.3 La distribución vertical de las fuerzas sísmicas de diseño se determinará mediante los requisitos de distribución vertical de fuerzas laterales aplicables a estructuras de edificación, o mediante procedimientos de análisis dinámico.

Tabla 1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.4

Figura 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño

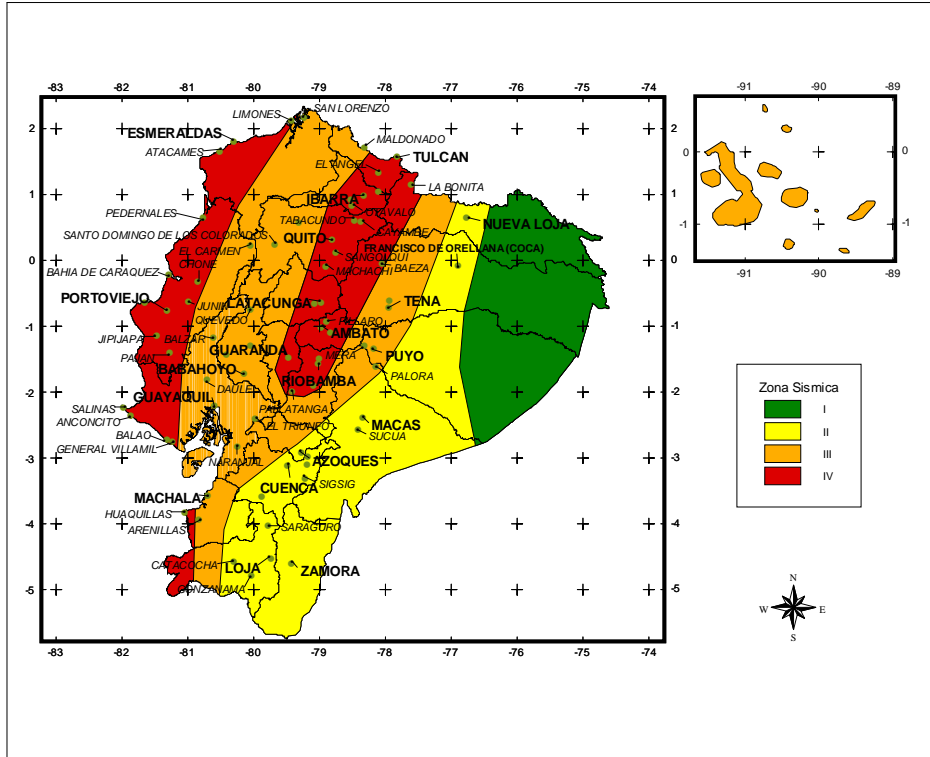


Tabla 2. Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z

CIUDAD	PROVINCIA	CANTON	PARROQUIA	ZONA
CHORDELEG	AZUAY	CHORDELEG	CHORDELEG	2
CUENCA	AZUAY	CUENCA	CUENCA	2
EL GIRON	AZUAY	GIRON	GIRON	2
EL PAN	AZUAY	EL PAN	EL PAN	2
GUACHAPALA	AZUAY	GUACHAPALA	GUACHAPALA	2
GUALACEO	AZUAY	GUALACEO	GUALACEO	2
NOBON	AZUAY	NABON	NABON	2
OÑA	AZUAY	OÑA	OÑA	2
PAUTE	AZUAY	PAUTE	PAUTE	2
PUCARA	AZUAY	PUCARA	PUCARA	2
SAN FERNANDO	AZUAY	SAN FERNANDO	SAN FERNANDO	2
SANTA ISABEL	AZUAY	SANTA ISABEL	SANTA ISABEL (CHAGUARURCO)	2
SEVILLA DE ORO	AZUAY	SEVILLA DE ORO	SEVILLA DE ORO	2
SIGSIG	AZUAY	SIGSIG	SIGSIG	2
CALUMA	BOLIVAR	CALUMA	CALUMA	3
ECHANDIA	BOLIVAR	ECHEANDIA	ECHEANDIA	3
LAS NAVES	BOLIVAR	LAS NAVES	LAS NAVES	3
CHILANES	BOLIVAR	CHILLANES	CHILLANES	4

GUARANDA	BOLIVAR	GUARANDA	GUARANDA	4
SAN JOSE DE CHIMBO	BOLIVAR	CHIMBO	SAN JOSE DE CHIMBO	4
SAN MIGUEL	BOLIVAR	SAN MIGUEL	SAN MIGUEL	4
AZOQUES	CAÑAR	AZOGUES	AZOGUES	2
BIBLIAN	CAÑAR	BIBLIAN	NAZON (PAMPA DE DOMINGUEZ)	2
DELEG	CAÑAR	DELEG	DELEG	2
CAÑAR	CAÑAR	CAÑAR	CAÑAR	3
EL TAMBO	CAÑAR	EL TAMBO	EL TAMBO	3
LA TRONCAL	CAÑAR	LA TRONCAL	LA TRONCAL	3
BOLIVAR	CARCHI			4
EL ANGEL	CARCHI	ESPEJO	EL ANGEL	4
HUACA	CARCHI	SAN PEDRO DE HUACA	HUACA	4
MIRA	CARCHI			4
SAN GABRIEL	CARCHI			4
TULCAN	CARCHI	TULCAN	TULCAN	4
ALASI	CHIMBORAZO	ALASI	ALASI	3
CHUNCHI	CHIMBORAZO	CHUNCHI	CHUNCHI	3
CUMANDA	CHIMBORAZO	CUMANDA	CUMANDA	3
CHAMBO	CHIMBORAZO	CHAMBO	CHAMBO	4
GUAMOTE	CHIMBORAZO	GUAMOTE	GUAMOTE	4
GUANO	CHIMBORAZO	GUANO	GUANO	4
LA UNION	CHIMBORAZO	COLTA	CAJABAMBA	4
PALLATANGA	CHIMBORAZO	PALLATANGA	PALLATANGA	4
PENIPE	CHIMBORAZO	PENIPE	PENIPE	4
RIOBAMBA	CHIMBORAZO	RIOBAMBA	RIOBAMBA	4
EL CORAZON	COTOPAXI	PANGUA	EL CORAZON	3
LA MANA	COTOPAXI	LA MANA	LA_MANA	3
SIGCHOS	COTOPAXI	SIGCHOS	SIGCHOS	3
LATACUNGA	COTOPAXI	LATACUNGA	LATACUNGA	4
PUJILI	COTOPAXI	PUJILI	PUJILI	4
SAN MIGUEL	COTOPAXI	SALCEDO	SAN MIGUEL	4
SAQUISILI	COTOPAXI	SAQUISILI	SAQUISILI	4
CHILLA	EL ORO	CHILLA	CHILLA	2
PACCHA	EL ORO	ATAHUALPA	PACCHA	2
PIÑAS	EL ORO	PIÑAS	PIÑAS	2
PORTOVELO	EL ORO	PORTOVELO	PORTOVELO	2
ZARUMA	EL ORO	ZARUMA	SALVIAS	2
ARENILLAS	EL ORO	ARENILLAS	ARENILLAS	3
BALSAS	EL ORO	BALSAS	BALSAS	3
EL GUABO	EL ORO	EL GUABO	EL GUABO	3
LA VICTORIA	EL ORO	LAS LAJAS	LA VICTORIA	3
MACHALA	EL ORO	MACHALA	MACHALA	3
MARCABELI	EL ORO	MARCABELI	MARCABELI	3
PASAJE	EL ORO	PASAJE	PASAJE	3
SANTA ROSA	EL ORO	SANTA ROSA	SANTA ROSA	3
HUAQUILLAS	EL ORO	HUAQUILLAS	HUAQUILLAS	4
LA UNION	ESMERALDAS	QUININDE	LA UNION	3
ROSA ZARATE (QUININDE)	ESMERALDAS	QUININDE	ROSA ZARATE (QUININDE)	3
SAN LORENZO	ESMERALDAS	SAN LORENZO	SAN LORENZO	3
ATACAMES	ESMERALDAS	ATACAMES	ATACAMES	4
ESMERALDAS	ESMERALDAS	ESMERALDAS	ESMERALDAS	4

MUISNE	ESMERALDAS	MUISNE	MUISNE	4
VALDEZ (LIMONES)	ESMERALDAS	ELOY ALFARO	VALDEZ (LIMONES)	4
ALFREDO BAQUERIZO	GUAYAS	ALF. BAQUE. MORENO (JUAN)	ALF. BAQUE. MORENO(JUAN)	3
BALAO	GUAYAS	BALAO	BALAO	3
BALZAR	GUAYAS	BALZAR	BALZAR	3
COLIMES	GUAYAS	COLIMES	COLIMES	3
CRNL MARCELINO (NN)	GUAYAS	CRNL MARCELINO MARIDUEÑA	CRNL MARCELINO MARIDUEÑA	3
DAULE	GUAYAS	DAULE	DAULE	3
EL SALITRE	GUAYAS	URBINA JADO	EL SALITRE (LAS RAMAS)	3
EL TRIUNFO	GUAYAS	EL TRIUNFO	EL TRIUNFO	3
ELOY ALFARO	GUAYAS	DURAN	ELOY ALFARO(DURAN)	3
GRAL ANTONIO ELIZALDE	GUAYAS	GENERAL ANTONIO ELIZALDE	GENERAL ANTONIO ELIZALDE	3
GENERAL VILLAMIL	GUAYAS	PLAYAS	GENERAL VILLAMIL (PLAYAS)	3
GUAYAQUIL	GUAYAS	GUAYAQUIL	CHONGON	3
LOMAS DE SARGENTILLO	GUAYAS	LOMAS DE SARGENTILLO	LOMAS DE SARGENTILLO	3
MILAGRO	GUAYAS	MILAGRO	MILAGRO	3
NARANJAL	GUAYAS	NARANJAL	NARANJAL	3
NARANJITO	GUAYAS	NARANJITO	NARANJITO	3
NARCISA DE JESUS (BOBOL)	GUAYAS	NOBOL	NARCISA DE JESUS	3
PALESTINA	GUAYAS	PALESTINA	PALESTINA	3
PEDRO CARBO	GUAYAS	PEDRO CARBO	SALINAS	3
SAN BORONDON	GUAYAS	SAMBORONDON	SAMBORONDON	3
SANTA LUCIA	GUAYAS	SANTA LUCIA	SANTA LUCIA	3
SIMON BOLIVAR	GUAYAS	SIMON BOLIVAR	SIMON BOLIVAR	3
VELASCO IBARRA	GUAYAS	EL EMPALME	VELASCO IBARRA(EL EMPALME)	3
YAGUACHI NUEVO	GUAYAS	YAGUACHI	YAGUACHI NUEVO	3
LA LIBERTAD	GUAYAS	LA LIBERTAD	LA LIBERTAD	4
SALINAS	GUAYAS	SALINAS	SALINAS	4
SANTA ELENA	GUAYAS	SANTA ELENA	SANTA ELENA	4
ATUNTAQUI	IMBABURA	ANTONIO ANTE	ATUNTAQUI	4
COTACACHI	IMBABURA	COTACACHI	COTACACHI	4
IBARRA	IMBABURA	IBARRA	IBARRA	4
OTAVALO	IMBABURA	OTAVALO	OTAVALO	4
PIMAMPIRO	IMBABURA	PIMAMPIRO	PIMAMPIRO	4
URCUQUI	IMBABURA	URCUQUI	URCUQUI	4
AMALUZA	LOJA	ESPINDOLA	AMALUZA	2
CARIAMANGA	LOJA	CALVAS	CARIAMANGA	2
CATACUCHA	LOJA	PALTAS	CATACUCHA	2
CATAMAYO	LOJA	CATAMAYO	CATAMAYO (LA TOMA)	2
GONZANAMA	LOJA	GONZANAMA	GONZANAMA	2
GUAGUARPAMBA	LOJA	CHAGUARPAMBA	CHAGUARPAMBA	2
LOJA	LOJA	LOJA	LOJA	2
QUILANGA	LOJA	QUILANGA	QUILANGA	2
SARAGURO	LOJA	SARAGURO	SAN ANTONIO DE CUMBE	2
SOZORANGA	LOJA	SOZORANGA	SOZORANGA	2
ALAMOR	LOJA	PUYANGO	ALAMOR	3
CELICA	LOJA	CELICA	CELICA	3
MACARA	LOJA	MACARA	MACARA	3
PINDAL	LOJA	PINDAL	PINDAL	3

ZAPOTILLO	LOJA	ZAPOTILLO	ZAPOTILLO	4
BABA	LOS RIOS	BABA	BABA	3
BABAHOYO	LOS RIOS	BABAHOYO	PIMOCHA	3
CATARAMA	LOS RIOS	URDANETA	CATARAMA	3
MONTALVO	LOS RIOS	MONTALVO	MONTALVO	3
PALENQUE	LOS RIOS	PALENQUE	PALENQUE	3
PUEBLO VIEJO	LOS RIOS	PUEBLOVIEJO	PUEBLOVIEJO	3
QUEVEDO	LOS RIOS	QUEVEDO	QUEVEDO	3
SAN JACINTO DE BUENA FE	LOS RIOS	BUENA FE	SAN JACINTO DE BUENA FE	3
VALENCIA	LOS RIOS	VALENCIA	VALENCIA	3
VENTANAS	LOS RIOS	VENTANAS	VENTANAS	3
VINCES	LOS RIOS	VINCES	VINCES	3
EL CARMEN	MANABI	EL CARMEN	EL CARMEN	3
OLMEDO	MANABI	OLMEDO	OLMEDO	3
PICHINCHA	MANABI	PICHINCHA	PICHINCHA	3
BAHIA DE CARAQUEZ	MANABI	SUCRE	BAHIA DE CARAQUEZ	4
CALCETA	MANABI	BOLIVAR	CALCETA	4
CHONE	MANABI	CHONE	CHONE	4
FLAVIO ALFARO	MANABI	FLAVIO ALFARO	FLAVIO ALFARO	4
JIPIJAPA	MANABI	JIPIJAPA	JIPIJAPA	4
JUNIN	MANABI	JUNIN	JUNIN	4
MANTA	MANABI	MANTA	MANTA	4
MONTECRISTI	MANABI	MONTECRISTI	MONTECRISTI	4
PAJAN	MANABI	PAJAN	PAJAN	4
PEDERNALES	MANABI	PEDERNALES	PEDERNALES	4
PORTOVIEJO	MANABI	PORTOVIEJO	PORTOVIEJO	4
PUERTO LOPEZ	MANABI	PUERTO LOPEZ	PUERTO LOPEZ	4
ROCAFUERTE	MANABI	ROCAFUERTE	ROCAFUERTE	4
SANTA ANA	MANABI	SANTA ANA	SANTA ANA	4
SUCRE	MANABI	24 DE MAYO	SUCRE	4
TOSAGUA	MANABI	TOSAGUA	TOSAGUA	4
GRAL LEONIDAS P. GUTIERREZ	MORONA SANTIAGO	LIMON INDANZA	GRAL LEONIDAS P. GUTIERREZ	2
GUALAQUIZA	MORONA SANTIAGO	GUALAQUIZA	GUALAQUIZA	2
MACAS	MORONA SANTIAGO	MORONA	GENERAL PROAÑO	2
PABLO SEXTO	MORONA SANTIAGO	HUAMBOYA	HUAMBOYA	2
SAN JUAN BOSCO	MORONA SANTIAGO	SAN JUAN BOSCO	SAN JUAN BOSCO	2
SANTIAGO DE MENDEZ	MORONA SANTIAGO	SANTIAGO	SANTIAGO DE MENDEZ	2
SUCUA	MORONA SANTIAGO	SUCUA	SANTA MARIANITA DE JESUS	2
PALORA	MORONA SANTIAGO	PALORA	PALORA (METZERA)	3
ARCHIDONA	NAPO	ARCHIDONA	ARCHIDONA	3
NUEVO ROCAFUERTE	NAPO	AGUARICO	NUEVO ROCAFUERTE	3
TENA	NAPO	TENA	TENA	3
BAEZA	NAPO	QUIJOS	BAEZA	4
EL CHACO	NAPO	EL CHACO	EL CHACO	4
LA JOYA DE LOS SACHAS	ORELLANA	LA JOYA DE LOS SACHAS	LA JOYA DE LOS SACHAS	2
LORETO	ORELLANA	LORETO	AVILA (CAB. EN HUIRUNO)	2
FRANCISCO ORELLANA (COCA)	ORELLANA	ORELLANA	FRANCISCO DE ORELLANA (COCA)	2
MERA	PASTAZA	MERA	MERA	3
PUYO	PASTAZA	PASTAZA	VERACRUZ (INDILLAMA)	3
SANTA CLARA	PASTAZA			3

PEDRO VICENTE MALDONADO	PICHINCHA	PEDRO VICENTE MALDONADO	PEDRO VICENTE MALDONADO	3
PUERTO QUITO	PICHINCHA	PUERTO QUITO	PUERTO QUITO	3
SAN MIGUEL DE LOS BANCOS	PICHINCHA	SAN MIGUEL DE LOS BANCOS	SAN MIGUEL DE LOS BANCOS	3
STO DOMINGO DE COLORADOS	PICHINCHA	SANTO DOMINGO	ZARACAY	3
CAYAMBE	PICHINCHA	CAYAMBE	CAYAMBE	4
MACHACHI	PICHINCHA	MEJIA	MACHACHI	4
QUITO	PICHINCHA	QUITO	QUITO	4
SANGOLQUI	PICHINCHA	RUMIÑAHUI	RUMIPAMBA	4
TABACUNDO	PICHINCHA	PEDRO MONCAYO	TABACUNDO	4
EL CARMEN DEL PUTUMAYO	SUCUMBIOS	PUTUMAYO	EL CARMEN DEL PUTUMAYO	1
SHUSHUFINDI	SUCUMBIOS	SHUSHUFINDI	SHUSHUFINDI	1
NUEVA LOJA	SUCUMBIOS	LAGO AGRIO	NUEVA LOJA	2
EL DORADO DE CASCALES	SUCUMBIOS	CASCALES	EL DORADO DE CASCALES	3
LUMBAQUI	SUCUMBIOS	PIZARRO	LUMBAQUI	3
LA BONITA	SUCUMBIOS	SUCUMBIOS	LA BONITA	4
AMBATO	TUNGURAHUA	AMBATO	AMBATO	4
BAÑOS	TUNGURAHUA	BAÑOS	BAÑOS	4
CEVALLOS	TUNGURAHUA	CEVALLOS	CEVALLOS	4
MOCHA	TUNGURAHUA	MOCHA	MOCHA	4
PATATE	TUNGURAHUA	PATATE	PATATE	4
PELILEO	TUNGURAHUA	PELILEO	PELILEO	4
PILLARO	TUNGURAHUA	PILLARO	PILLARO	4
QUERO	TUNGURAHUA	QUERO	QUERO	4
TISALEO	TUNGURAHUA	TISALEO	TISALEO	4
28 DE MAYO	ZAMORA CHINCHIPE	YACUAMBI	28 DE MAYO (SN JOSE DE YACUAM)	2
EL PANGUI	ZAMORA CHINCHIPE	EL PANGUI	EL PANGUI	2
GUAYZIMI	ZAMORA CHINCHIPE	NANGARITZA	GUAYZIMI	2
YANTZAZA	ZAMORA CHINCHIPE	YANTZAZA	YANTZAZA	2
ZAMORA	ZAMORA CHINCHIPE	ZAMORA	ZAMORA	2
ZUMBA	ZAMORA CHINCHIPE	CHINCHIPE	ZUMBA	2
ZUMBI	ZAMORA CHINCHIPE	CENTINELA DEL CONDOR	ZUMBI	2

Tabla 3. Coeficiente de suelo S y Coeficiente Cm

Perfil tipo	Descripción	S	Cm
S1	Roca o suelo firme	1,0	2,5
S2	Suelos intermedios	1,2	3,0
S3	Suelos blandos y estrato profundo	1,5	2,8
S4	Condiciones especiales de suelo	2,0*	2,5

(*) = Este valor debe tomarse como mínimo, y no substituye los estudios de detalle necesarios para construir sobre este tipo de suelos.

Tabla 4. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor
1. Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación, transmisión y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1,5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1,3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1,0

FIGURAS 2 y 3. Irregularidades en planta y en elevación

Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación

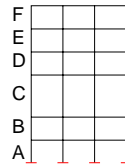
IRREGULARIDADES EN ELEVACION

Tipo 1 - Piso flexible - $\phi_{E_i} = 0.9$

Rigidez $K_c < 0.70$ Rigidez K_D

ó

Rigidez $K_c < 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$

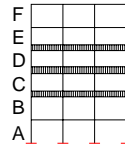


Tipo 2 - Distribución de masas - $\phi_{E_i} = 0.9$

$m_D > 1.50 m_E$

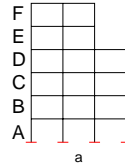
ó

$m_D > 1.50 m_C$



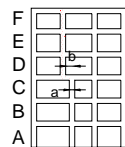
Tipo 3 - Irregularidad Geométrica - $\phi_{E_i} = 0.9$

$a > 1.30 b$



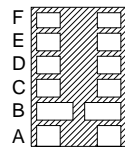
Tipo 4 - Desalineamientos en ejes verticales - $\phi_{E_i} = 0.8$

$b > a$



Tipo 5 - Piso débil - $\phi_{E_i} = 0.8$

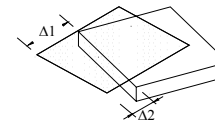
Resistencia Piso B < 0.70 Resistencia Piso C



IRREGULARIDADES EN PLANTA

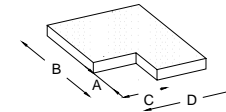
Tipo 1 - Irregularidad torsional - $\phi_{P_i} = 0.9$

$$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta_1 + \Delta_2)}{2}$$



Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas - $\phi_{P_i} = 0.9$

$$A > 0.15B \text{ y } C > 0.15D$$



Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso - $\phi_{P_i} = 0.9$



$$1) C \times D > 0.5A \times B$$

$$2) (C \times D + C \times E) > 0.5A \times B$$

Tipo 4 - Desplazamiento de los planos de Acción - $\phi_{P_i} = 0.8$
de elementos verticales



Tipo 5 - Ejes estructurales no paralelos - $\phi_{P_i} = 0.9$

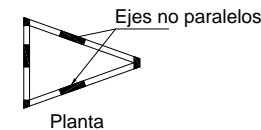


Tabla 5. Coeficientes de configuración en planta.

Tipo	Descripción de las irregularidades en planta	Φ_{pi}
1	<p><i>Irregularidad torsional</i> Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	0,9
2	<p><i>Entrantes excesivos en las esquinas</i> La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	0,9
3	<p><i>Discontinuidad en el sistema de piso</i> La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	0,9
4	<p><i>Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales</i> Una estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.</p>	0,8
5	<p><i>Ejes estructurales no paralelos</i> La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	0,9
6	<p><i>Sistema de piso flexible</i> Cuando la relación de aspecto en planta de la edificación es mayor que 4:1 o cuando el sistema de piso no sea rígido en su propio plano se deberá revisar la condición de piso flexible en el modelo estructural</p>	-

Tabla 6. Coeficiente de configuración en elevación

Tipo	Descripción de las irregularidades en elevación	Pórticos espaciales y pórticos con vigas banda ΦE_i	Sistemas duales o con diagonales ΦE_i
1	<p><i>Piso blando (irregularidad en rigidez)</i> La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	0,9	1,0
2	<p><i>Irregularidad en la distribución de las masas</i> La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	0,9	1,0
3	<p><i>Irregularidad geométrica</i> La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	0,9	1,0
4	<p><i>Desalineamiento de ejes verticales</i> La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento. Se exceptúa la aplicabilidad de este requisito cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificación sin otras cargas adicionales de tanques o equipos.</p>	0,8	0,9
5	<p><i>Piso débil-Discontinuidad en la resistencia</i> La estructura se considera irregular cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).</p>	0,8	1,0
6	<p><i>Columnas cortas</i> Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.</p>	-	-

Tabla 7. Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R

Sistema estructural	R
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón armado(sistemas duales).	12
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente.	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y muros estructurales de hormigón armado(sistemas duales).	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y diagonales rigidizadoras.*	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras. *.	9
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda.	8
Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de acero conformados en frío. Estructuras de aluminio.	7
Estructuras de madera	7
Estructura de mampostería reforzada o confinada	5
Estructuras con muros portantes de tierra reforzada o confinada	3

(*) = Cuando se utilizan diagonales, se debe verificar que los elementos en tensión cedan antes que los elementos en compresión.

Tabla 8. Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso

Estructuras de	Δ_M máxima
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0,020
De mampostería	0,010

Figura 4. Espectro sísmico elástico del presente reglamento, que representa el sismo de diseño.

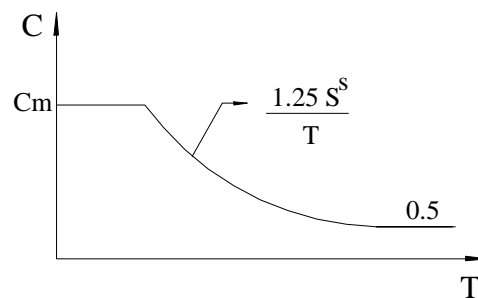


Tabla 9. Factor de reducción de respuesta R para estructuras diferentes a las de edificación.

Tipos de estructuras	R
Reservorios y depósitos, incluidos tanques y esferas, soportadas mediante columnas o soportes arriostrados o no arriostrados.	3
Silos de hormigón fundido en sitio y chimeneas que poseen paredes continuas desde la cimentación.	5
Estructuras tipo cantiliver tales como chimeneas, silos y depósitos apoyados en sus bordes.	4
Torres en celosía (autoportantes o atirantadas)	4
Estructuras en forma de péndulo invertido	3
Torres de enfriamiento	5
Depósitos elevados soportados por un pila o por apoyos no arriostrados	4
Letreros y carteleras	5
Estructuras para vallas publicitarias y monumentos	3
Otras estructuras no descritas en este código	3