

**ALCANCE DIGITAL N° 94**

# **LA GACETA**

**Diario Oficial**

Año CXXXIV

San José, Costa Rica, viernes 13 de julio del 2012

N° 136

## **PODER EJECUTIVO**

### **DECRETOS**

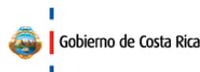
**N° 37070-MIVAH-MICIT-MOPT**

**“CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2010”**  
**(CONSTA DE VEINTE TOMOS)**

### **TOMO III**

2012  
Imprenta Nacional  
La Uruca, San José, C. R.

CONSTRUIMOS UN PAÍS SEGURO



**TABLA 2.3.** Aceleración pico efectiva de diseño,  $a_{ef}$ , para un período de retorno de 475 años y para diferentes zonas sísmicas y tipos de sitio.

Tipo de sitio	Zona II	Zona III	Zona IV
$S_1$	0.20	0.30	0.40
$S_2$	0.24	0.33	0.40
$S_3$	0.28	0.36	0.44
$S_4$	0.34	0.36	0.36

- b. Cuando la edificación deba ser diseñada para otros niveles de sacudida sísmica, de acuerdo con consideraciones de importancia, la aceleración pico efectiva de diseño  $a_{ef}$  de la tabla 2.3 se multiplica por un *factor de importancia*,  $I$ . Conforme al artículo 2.3 y a la tabla 4.1, este factor tiene valores de 1.25 para *sismos extremos* y de 0.75 para *sismos moderados*. La clasificación de las edificaciones según su importancia se presenta en la tabla 4.1. Los valores de  $a_{ef}$  e  $I$  son utilizados en el cálculo del *coeficiente sísmico*,  $C$ , conforme a las indicaciones del capítulo 5.
- c. Adicionalmente a lo estipulado en la tabla 4.1, para el grupo E, durante el proceso constructivo, las *fuerzas sísmicas* correspondientes no pueden ser menores que las que se obtienen al utilizar un *coeficiente sísmico* calculado conforme a las indicaciones del capítulo 5, pero con el 10% del producto  $a_{ef} I$  utilizado en el diseño definitivo y con una *ductilidad global asignada* y una *sobrerresistencia* iguales a la unidad ( $\mu=1$ ;  $SR=1$ ).

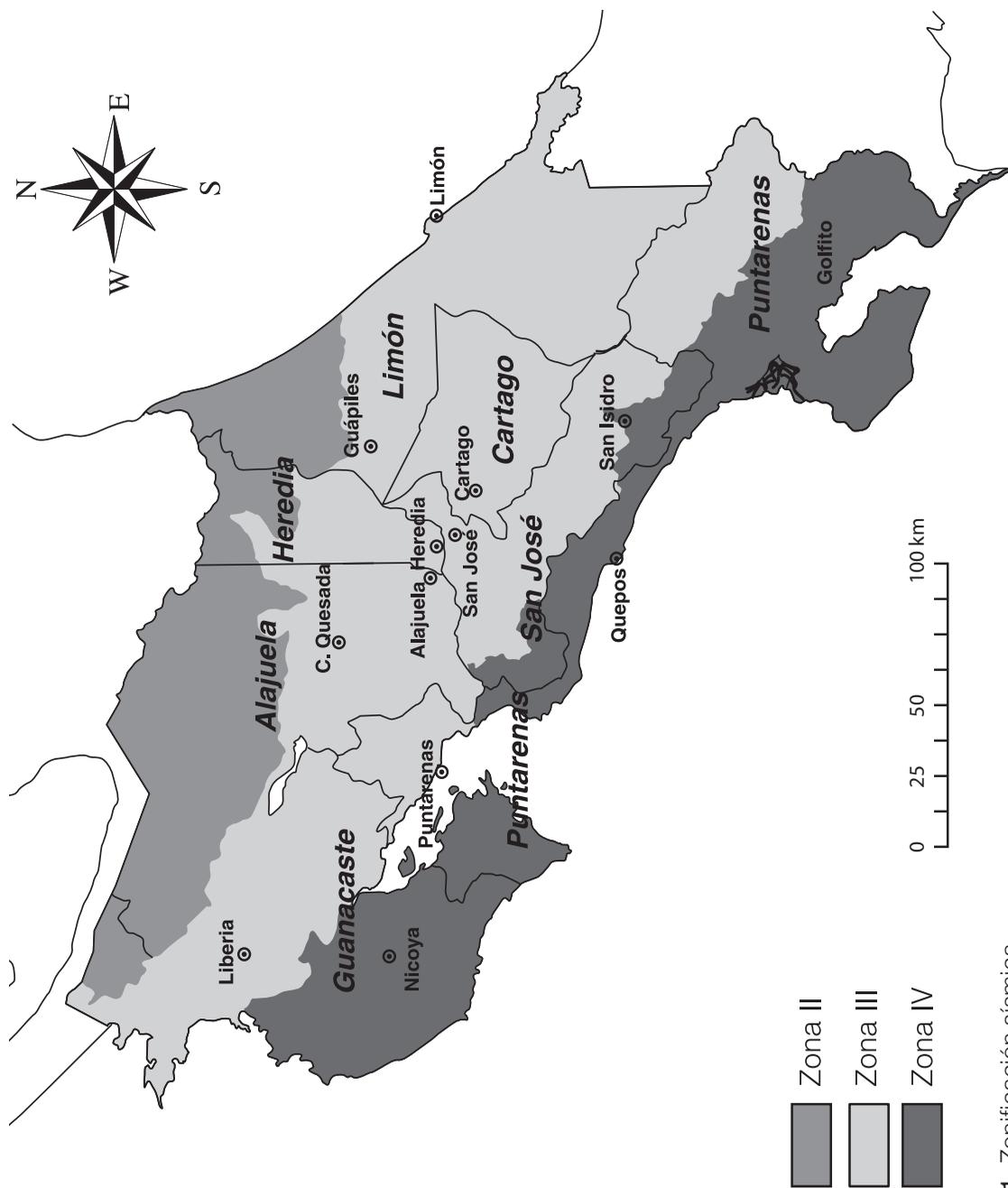
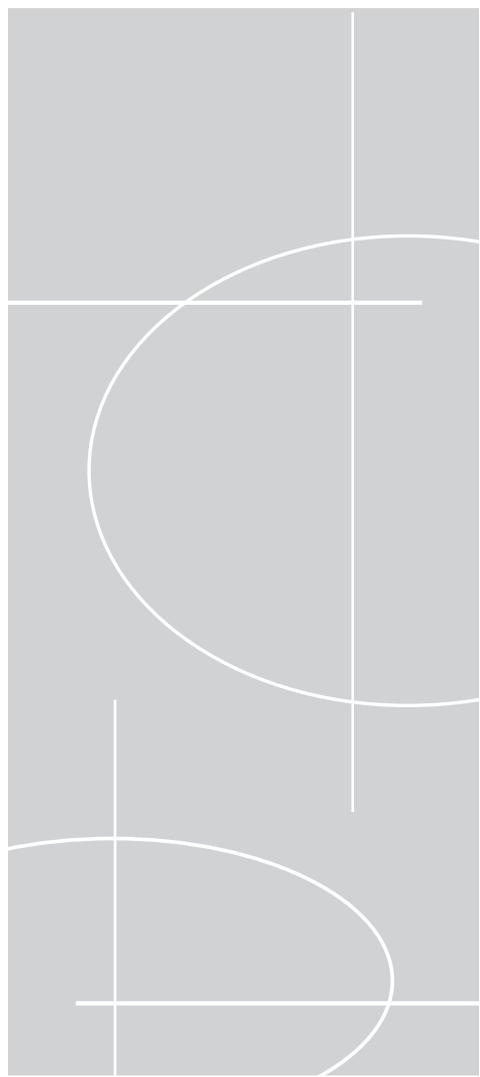


FIGURA 2.1. Zonificación sísmica





## SECCIÓN 2

---

Determinación de cargas y  
análisis de edificaciones





# Consideraciones generales

Los requisitos de la sección 2, que contiene los capítulos 3 a 7, reglamentan los procedimientos para la determinación de las cargas y para el análisis de edificaciones y obras similares; asimismo, establecen los criterios de aceptación incluyendo los límites máximos aceptables en los desplazamientos.

## 3.1 Requisitos de los sistemas sismorresistentes

Toda edificación debe tener un *sistema estructural* compuesto por uno o varios *sistemas sismorresistentes*, de resistencia, rigidez y *ductilidad* apropiadas, capaces de transmitir todas las fuerzas por medio de una o, preferiblemente, de varias trayectorias continuas y redundantes, desde su punto de aplicación hasta los cimientos de la estructura. También debe resistir deformaciones internas compatibles con los desplazamientos laterales correspondientes a la *ductilidad global asignada* o a la *ductilidad global requerida*, en caso de que se utilicen los métodos alternos de análisis del artículo 7.7, sin pérdida sensible de su capacidad.

Para esto, el *sistema estructural* de la edificación se debe diseñar para resistir todas las combinaciones de cargas definidas en el artículo 6.2, satisfacer los requisitos de desplazamientos definidos en el artículo 7.8, y cumplir con los requisitos del diseño generales y específicos de la sección 3 de esta normativa.

## 3.2 Consideraciones para desarrollar la ductilidad del sistema estructural

En todo diseño *sismorresistente* que considere una respuesta inelástica de la estructura, es decir, que defina una *ductilidad global asignada* mayor que la unidad para cada uno de los *sistemas sismorresistentes* que configuren el *sistema estructural*, el profesional responsable del diseño debe identificar las trayectorias de las *fuerzas sísmicas* desde su origen hasta la cimentación y clasificar los diversos elementos, *componentes* y uniones estructurales que los conforman, como dúctiles o frágiles, conforme al inciso 4.4.1.

En cualquier *sistema sismorresistente* todos sus elementos, *componentes* y uniones deben ser capaces de deformarse de manera compatible con los desplazamientos presentes durante la acción sísmica, sin que pierdan su capacidad de resistir las cargas gravitacionales presentes durante el sismo. En consecuencia, en este caso, todos los *elementos, componentes y uniones frágiles* deben ser capaces de soportar esos desplazamientos en el rango elástico y los dúctiles, deformándose sin pérdida sensible de su capacidad estructural.

## 3.3 Sobrerresistencia

Como resultado del diseño estructural, que considera factores como redundancia, sobrestimación de cargas y proceso constructivo, y de las dimensiones y propiedades mecánicas reales de los *elementos, componentes y uniones estructurales*, todo *sistema estructural* posee una *capacidad real sismorresistente* que es mayor que la *capacidad nominal sismorresistente*, siendo la *sobrerresistencia, SR*, la razón entre ambas capacidades.

Según se desprende de la ecuación [5-1], la *sobrerresistencia* permite obtener un *coeficiente sísmico, C*, reducido por este factor. En el capítulo 5 se definen los valores de *sobrerresistencia, SR*, según los *sistemas estructurales* definidos en el artículo 4.2 y los métodos de análisis indicados en el capítulo 7.

## 3.4 Factor incremental

Como consecuencia de la reducción inherente al cálculo del *coeficiente sísmico* definido en el capítulo 5, ya sea solo por *sobrerresistencia* o, cuando corresponda, también por la *ductilidad global asignada* al *sistema estructural*, y para procurar la integridad estructural de los *elementos, componentes y uniones frágiles*, estos deben ser diseñados para resistir las *fuerzas sísmicas* provenientes del análisis, incrementadas por un *factor incremental, FI*, el cual se debe calcular conforme al inciso 6.2.2 y a la tabla 6.2.

### 3.5 Consideraciones sobre diafragmas de entrepiso

Debe procurarse que los entrepisos se comporten como *diafragmas rígidos* en su propio plano, capaces de distribuir las *fuerzas sísmicas* entre los *sistemas sismorresistentes*, de acuerdo con sus respectivas rigideces y capacidades. El profesional responsable del diseño debe verificar que la rigidez y la capacidad estructural de los *diafragmas rígidos* sea la adecuada para cumplir con estos requisitos.

Salvo que el profesional responsable del diseño justifique alguna *ductilidad*, los *diafragmas* de entrepiso se consideran *componentes* frágiles y, por consiguiente, deben ser diseñados para resistir las fuerzas cortantes y los momentos de torsión incrementados por su *factor incremental*, *FI*, calculado conforme al inciso 6.2.2 y a la tabla 6.2. La clasificación de los *diafragmas* de entrepiso como rígidos o flexibles se debe hacer como se indica en el artículo 4.6.

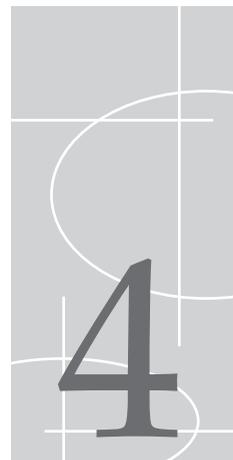
### 3.6 Efectos de la componente vertical del sismo

La componente vertical del sismo debe ser considerada cuando, a criterio del profesional responsable del diseño, su efecto en la respuesta de la edificación o de alguno de sus elementos, *componentes* y uniones sea significativa y su efecto en el diseño sea determinante.

En especial, según se menciona en el inciso 7.2.3, cuando la flexibilidad vertical de la estructura, elementos y *componentes* sea significativa debe tomarse en cuenta en el modelado de la edificación. Asimismo, las componentes direccionales del sismo deben ser consideradas conforme al artículo 7.3.

Los efectos de la demanda gravitacional y sísmica correspondientes deben satisfacer las combinaciones de carga del inciso 6.2.1.





# Clasificación de las estructuras y sus componentes

## 4.1 Clasificación de las edificaciones según importancia y definición de objetivos de desempeño

### 4.1.1 Clasificación de las edificaciones según su importancia

Toda edificación debe ser clasificada según la importancia de su ocupación o función conforme a la tabla 4.1. A cada grupo le corresponde un *factor de importancia*,  $I$ , el cual define la sacudida sísmica para la cual se debe diseñar, según el artículo 2.3. Cuando existan sistemas o *componentes* no estructurales, se utilizará el factor  $I_p$  correspondiente para su diseño, tal como se indica en el capítulo 14. Este factor  $I_p$  es mayor que el factor de importancia  $I$  para reducir el nivel de vulnerabilidad de los sistemas o *componentes* no estructurales en relación con los estructurales durante el sismo.

TABLA 4.1. Clasificación de edificaciones según importancia.

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

Nota. Cuando no representen riesgo elevado a los transeúntes, las tapias y muros de colindancia pueden diseñarse como sistemas o *componentes* no estructurales conforme al capítulo 14, si su longitud no excede 15 m y su altura no excede 3 m.

### 4.1.2 Objetivos de desempeño

Con base en la clasificación de la tabla 4.1, se establecen los siguientes *objetivos de desempeño*:

- a) En edificaciones de ocupación normal, grupo D, y ante *sismos fuertes* ( $I=1.0$  según artículo 2.3 y tabla 4.1), se protege la vida de ocupantes y transeúntes, evitando el colapso parcial o total de la estructura y de aquellos *componentes* no estructurales capaces de causar daño. La edificación debe mantener su integridad estructural durante y después del sismo, y permitir una segura evacuación de sus ocupantes, aunque podría sufrir daños en su estructura o en sus *componentes* no estructurales.
- b) En edificaciones de ocupación especial, grupo C, y ante *sismos fuertes* ( $I=1.0$  según artículo 2.3 y tabla 4.1), se protege la vida de ocupantes y transeúntes. La edificación no solo debe mantener su integridad estructural, sin el colapso parcial o total de la estructura y de aquellos componentes no estructurales capaces de causar daño, sino que se debe minimizar la ocurrencia de daños en la estructura y en todos aquellos componentes y sistemas no estructurales capaces de interrumpir seriamente los servicios y funciones propias de la edificación.
- c) En edificaciones e instalaciones riesgosas, grupo B, y ante sismos extremos ( $I=1.25$  según artículo 2.3 y tabla 4.1), además de protegerse la vida de ocupantes y transeúntes, se debe minimizar la ocurrencia de daños en la estructura y en sus componentes y sistemas no estructurales cuando estos puedan causar daños graves en la población o en el ambiente.
- d) En edificaciones e instalaciones esenciales, grupo A, y ante sismos extremos ( $I=1.25$  según artículo 2.3 y tabla 4.1), además de protegerse la vida de ocupantes y transeúntes, se debe minimizar la ocurrencia de daños en la estructura y en aquellos componentes y sistemas no estructurales capaces de interrumpir seriamente los servicios y funciones propios de la edificación.
- e) En edificaciones misceláneas, grupo E, se debe asegurar el mismo desempeño definido para las edificaciones de ocupación normal pero para sismos moderados ( $I=0.75$  según artículo 2.3 y tabla 4.1).

Para procurar el cumplimiento de estos *objetivos de desempeño* se establecen los requisitos señalados en la tabla 4.2 para cada categoría de edificación.

TABLA 4.2. Requisitos para el cumplimiento de los objetivos de desempeño.

Categoría de edificación según importancia	Posibilidad de <i>irregularidad grave</i> (1)	Límites a los desplazamientos relativos (2)	Requisitos de <i>ductilidad local</i> (3)
A. Esencial	Se prohíbe (4)	Especial	Óptima (5)
B. Riesgosa	Se prohíbe	Normal	Moderada u óptima
C. Especial	Se prohíbe	Especial	Moderada u óptima
D. Normal	Se permite	Normal	Moderada u óptima
E. Miscelánea	Se permite	Normal	Moderada u óptima

(1) La condición de *irregularidad grave* se define en el inciso 4.3.4.

(2) Los límites normales y especiales de los desplazamientos relativos se definen en la tabla 7.2.

(3) La *ductilidad local* moderada y óptima se definen en el inciso 4.4.1.

(4) Debe procurarse que las edificaciones del grupo A sean regulares en altura y en planta, según los incisos 4.3.1 y 4.3.2.

(5) Este requisito puede omitirse siempre y cuando el profesional responsable demuestre, utilizando los métodos alternos de análisis del artículo 7.7, que no se requiere tener una *ductilidad local óptima* y que una *ductilidad local moderada* es suficiente para que la estructura desarrolle la *ductilidad global requerida*.

## 4.2 Clasificación de los sistemas estructurales

Las recomendaciones de esta normativa tienen como referencia los siguientes tipos de *sistema estructural*, clasificados según sus propiedades geométricas, físicas y estructurales:

### 4.2.1 Tipo marco

Se incluyen dentro de este tipo aquellas edificaciones que resisten las *fuerzas sísmicas* por medio de *sistemas sismorresistentes* constituidos por *marcos* de concreto reforzado, acero o madera, vinculados o no, por medio de un sistema horizontal o entrepiso de concreto reforzado, acero u otros, en cada *nivel*. No forman parte de este tipo los *sistemas estructurales* constituidos exclusivamente por columnas y losas planas, los cuales se prohíben expresamente como *sistemas sismorresistentes*.

### 4.2.2 Tipo dual

Se incluyen dentro de este tipo aquellas edificaciones que resisten las *fuerzas sísmicas* por medio de *sistemas sismorresistentes* constituidos por: a) *marcos* de concreto reforzado, acero o madera, y b) *muros* de concreto o de mampostería reforzada, *marcos arriostrados* de concreto reforzado, acero o madera. También se incluyen dentro de este tipo los *sistemas sismorresistentes* constituidos por *marcos parcialmente arriostrados*, solos o en combinación con

alguno de los sistemas (a) y (b) anteriores. Estos sistemas están vinculados o no por medio de un sistema horizontal o entrepiso de concreto reforzado, acero u otros, en cada *nivel*.

En cada *nivel*, para los *marcos* de los sistemas duales, la sumatoria de las fuerzas cortantes en las columnas, calculadas como se indica a continuación, debe ser igual o mayor que el 25% de las fuerzas cortantes de diseño obtenidas del análisis para ese nivel. En caso contrario, la edificación se considera como tipo *muro* y los *marcos* no se consideran como parte de los *sistemas sismorresistentes*.

La fuerza cortante de cada columna, para los efectos de este inciso, se calcula como el menor valor de los siguientes: a) la suma de su capacidad en flexión en los extremos superior e inferior dividida por su altura libre y b) su capacidad en cortante. Para la determinación de esta última, se considera la menor capacidad en la altura de la columna, así como, para el caso de concreto reforzado, lo estipulado en el inciso 8.7.1(c).

#### 4.2.3 Tipo muro

Se incluyen dentro de este tipo aquellas edificaciones que resisten las *fuerzas sísmicas* por medio de *sistemas sismorresistentes* constituidos por: a) *marcos arriostrados* de concreto reforzado, acero o madera, b) *muros* de concreto, *mampostería reforzada*, acero o madera, o c) la combinación de *sistemas sismorresistentes* descritos en a) y b), comportándose de manera independiente o combinada, vinculados o no por medio de un sistema horizontal o entrepiso de concreto reforzado, acero u otros, en cada *nivel*.

#### 4.2.4 Tipo voladizo

Se incluyen dentro de este tipo aquellas edificaciones que resisten las *fuerzas sísmicas* por medio de *sistemas sismorresistentes* formados exclusivamente por una o varias columnas o *muros* que actúan esencialmente como voladizos aislados, libres o articulados en su extremo superior y empotrados en la base, tales como cubiertas tipo péndulo invertido, tanques elevados, chimeneas, torres y naves industriales que presenten esta estructuración.

#### 4.2.5 Tipo otros

Se incluyen dentro de este último tipo aquellas edificaciones cuyo *sistema sismorresistente* está compuesto por estructuraciones, elementos o materiales diferentes a los explícitamente descritos en los tipos estructurales *marco*, *dual*, *muro* y *voladizo*, salvo que se demuestre mediante pruebas experimentales y cálculos analíticos que son capaces de un desempeño similar al de alguno de estos tipos.

## 4.3 Clasificación de estructuras según la regularidad para efectos de asignación de la ductilidad global

### 4.3.1 Regularidad en altura

Se considera que una edificación de varios pisos es regular en altura cuando satisface cada uno de los requisitos siguientes:

- Todos los elementos verticales de los *sistemas sismorresistentes* son continuos desde la cimentación hasta el nivel superior de cada uno de estos elementos, sin discontinuidades o desfases horizontales en ningún nivel.
- Los *diafragmas* de todos los niveles salvo el nivel de techo, que podría no serlo, son *diafragmas rígidos*.
- La capacidad en cortante de cada piso en ambas direcciones horizontales no es menor que la capacidad en cortante del piso superior inmediato.

### 4.3.2 Regularidad en planta

Se considera que un edificio es regular en planta cuando satisface cada uno de los siguientes requisitos:

- Para cada nivel  $i$  la excentricidad, o distancia entre los centros de masa y de rigidez, en cada una de las direcciones ortogonales  $x$ ,  $y$  no excede en más del 5% la dimensión en planta en la respectiva dirección.

$$e_{xi} / D_{xi} \leq 0.05 \quad [4-1]$$

$$e_{yi} / D_{yi} \leq 0.05 \quad [4-2]$$

donde:

$e_{xi}$ ,  $e_{yi}$  = componentes de la excentricidad en el nivel  $i$ , en las direcciones  $x$ ,  $y$  respectivamente.

$D_{xi}$ ,  $D_{yi}$  = dimensiones en planta en las direcciones  $x$ ,  $y$  del nivel  $i$ .

Las componentes de excentricidad  $e_{xi}$  y  $e_{yi}$  se pueden calcular de la siguiente forma:

$$e_{xi} = \frac{1}{K_{yi}} \sum_j (k_{yi}^j x_j) \quad [4-3]$$

$$e_{yi} = \frac{1}{K_{xi}} \sum_j (k_{xi}^j y_j) \quad [4-4]$$

donde:

$x_p, y_i$  = componentes en las direcciones  $x, y$ , de la distancia del centro de masa al elemento resistente,

$K_{x_i} = \sum_j k_{x_i}^j$ , rigidez de traslación del *nivel i* en la dirección  $x$ ,

$K_{y_i} = \sum_j k_{y_i}^j$ , rigidez de traslación del *nivel i* en la dirección  $y$ ,

$k_{x_i}^j, k_{y_i}^j$  = rigidez en las direcciones  $x, y$ , de los elementos resistentes verticales o inclinados  $j$  que llegan al *nivel i*. Deben considerarse todos los elementos verticales o inclinados (columnas, muros, riostras laterales, etc.) que vinculan el nivel  $i$  con los *niveles* inferior y superior. El cálculo de estas rigideces puede hacerse suponiendo al elemento empotrado en sus extremos. Para pisos que contengan entresuelos (“mezzanines”) o niveles interrumpidos, el cálculo de su rigidez se hace para la altura total del piso, con la debida consideración de los efectos del entresuelo o nivel interrumpido, en las columnas o muros que estén ligados a él.

De manera alternativa se considera que se satisface el requisito (a) si se comprueba que en cada nivel y para el modo de oscilación predominante en la dirección  $x$  o en la dirección  $y$ , la rotación multiplicada por la dimensión transversal máxima del edificio en ese nivel no excede el 30% del desplazamiento del *centro de masa* en cada dirección.

- b) La estructura ofrece resistencia en al menos dos ejes diferentes en cada dirección ortogonal.
- c) La proyección, en un plano horizontal, de los centros de masa de todos los niveles está circunscrita por un rectángulo de dimensiones iguales al 10% de las máximas dimensiones del edificio en cada dirección ortogonal. Igual restricción deben satisfacer los centros de rigidez calculados según 4.3.2(a).

### 4.3.3 Irregularidad moderada

Todo edificio que no cumple los requisitos de regularidad en altura o en planta de los incisos 4.3.1 y 4.3.2 se considera de *irregularidad moderada*, salvo que se incumpla el requisito 4.3.2(b) o que se excedan los límites indicados en el inciso 4.3.4.

### 4.3.4 Irregularidad grave

Los edificios irregulares en planta o en altura se consideran de *irregularidad grave* cuando presenten cualesquiera de las siguientes condiciones:

- a) Cuando se incumpla el requisito 4.3.2(b).

- b) Cuando la rigidez lateral de un piso cualquiera es menor que el 60% de la rigidez del piso inmediatamente superior o su capacidad en cortante es menor que el 80% de la capacidad del piso superior.
- c) Cuando en algún nivel  $i$  la excentricidad en cualesquiera de las direcciones ortogonales excede el 25% de la dimensión de esa planta, en la respectiva dirección:

$$e_{x_i}/D_{x_i} > 0.25 \quad [4-5]$$

$$e_{y_i}/D_{y_i} > 0.25 \quad [4-6]$$

### 4.3.5 Excepciones

Se exceptúan de los requisitos previos del artículo 4.3 las casetas de maquinaria, los techos livianos colocados en la azotea o nivel superior, los sótanos de propiedades mayores que las de los niveles y pisos superiores, los entresuelos (“mezzanines”) y otras estructuras menores que, para efectos del análisis de regularidad, no son considerados como niveles.

## 4.4 Ductilidad de los sistemas estructurales y sus componentes

### 4.4.1 Elementos, componentes y uniones dúctiles y frágiles

Los elementos, *componentes* y uniones que forman parte de los *sistemas sismorresistentes* de un edificio se clasifican como frágiles o dúctiles:

- a) Se clasifican como *elementos, componentes y uniones frágiles*, o gobernados por fuerzas, aquellos que son incapaces de mantener al menos el 80% de su capacidad máxima cuando sus deformaciones exceden el doble de las deformaciones correspondientes al límite de cedencia. Tal como lo señala el artículo 3.4, estos elementos, *componentes* y uniones se deben calcular con *cargas sísmicas* incrementadas por el *factor incremental, FI*. Conforme al artículo 3.5, los *diafragmas rígidos* de entrepiso, en general, se consideran *componentes* frágiles. Adicionalmente, estos elementos, *componentes* y uniones deben ser capaces de resistir deformaciones compatibles con los niveles de desplazamientos relativos máximos especificados en la tabla 7.2 para la estructura en consideración, manteniendo su capacidad de resistir cargas gravitacionales cuando les corresponda.
- b) Se clasifican como *elementos, componentes y uniones dúctiles*, o gobernados por desplazamientos, todos aquellos capaces de resistir deformaciones inelásticas, de naturaleza cíclica y reversible, manteniendo al menos el 80% de su capacidad máxima cuando sus deformaciones

excedan el doble de las deformaciones correspondientes al límite de cedencia. Adicionalmente, estos elementos, *componentes* y uniones deben ser capaces de resistir deformaciones compatibles con los niveles de desplazamientos relativos máximos especificados en la tabla 7.2 para la estructura en consideración.

Con el propósito de definir la *ductilidad global asignada*, conforme a la tabla 4.3, los *elementos, componentes y uniones dúctiles* se clasifican a su vez en:

- i) Elementos, *componentes* y uniones de *ductilidad local* óptima. Pertenecen a esta clasificación los elementos de concreto reforzado, de mampostería y de acero diseñados y detallados conforme a los requisitos para *ductilidad local* óptima de los capítulos 8, 9 y 10, así como los elementos, *componentes* y uniones de estos u otros materiales estructurales que, en pruebas experimentales, demuestren ser capaces de resistir deformaciones cíclicas correspondientes a *razones de deriva* de 0.030 o más sin que su capacidad se reduzca a menos del 80% de su capacidad máxima.
- ii) Elementos, *componentes* y uniones de *ductilidad local* moderada. Son los *elementos, componentes y uniones dúctiles* de concreto, mampostería, acero y madera que cumplen con los requisitos mínimos especificados en los capítulos 8, 9, 10 y 11.

#### 4.4.2 Sistemas estructurales dúctiles y frágiles

Con el propósito de definir la *ductilidad global asignada* conforme a la tabla 4.3, el *sistema estructural* se clasifica como de *ductilidad local* óptima o moderada de acuerdo con la clasificación correspondiente de aquellos elementos, *componentes* y uniones cuya *ductilidad* sea determinante para asegurar el comportamiento dúctil del *sistema estructural*.

Asimismo, un *sistema estructural* se considera frágil si posee *elementos, componentes y uniones frágiles* que sean determinantes en su comportamiento estructural ante la acción de un sismo.

Según se indica en el inciso 1.1(f), los *sistemas estructurales* frágiles no son aceptados ni en las edificaciones nuevas ni en las existentes. El diagnóstico y la adecuación estructural de edificaciones existentes, según se define en el capítulo 15, debe contemplar este requisito.

Independientemente de la *ductilidad global asignada* considerada en el análisis y el diseño, toda estructura debe poseer una *ductilidad global intrínseca* mínima de 1.5. Cuando se utiliza la *ductilidad global asignada* de la tabla 4.3 para determinar la demanda sísmica y se cumple con los requisitos de diseño y detallado de los capítulos de materiales estructurales de la sección 3 de este código, no es necesario demostrar que la estructura es capaz de desarrollar

esta *ductilidad global intrínseca*. Esto es válido aun cuando la *ductilidad global asignada* sea igual a 1.0, ya que lo anterior no implica aceptar que la estructura sea frágil, sino definir un nivel de demanda elástico para realizar el análisis. En el caso de estructuras que no satisfagan los requisitos de diseño y detallamiento de la sección 3 mencionados arriba, es necesario recurrir a los métodos alternos de análisis del artículo 7.7 o a otros métodos que consideren el comportamiento no lineal de estructuras y que cuenten con el adecuado respaldo técnico, para corroborar que se tiene una *ductilidad global intrínseca* mínima de 1.5.

#### 4.4.3 Ductilidad global asignada

La *ductilidad global asignada*  $\mu$  para cada uno de los tipos estructurales del artículo 4.2 se define en la tabla 4.3 según las clasificaciones de la regularidad del *sistema estructural* (artículo 4.3) y de la *ductilidad local* de los *componentes* y uniones (inciso 4.4.1).

Esta tabla clasifica los *sistemas estructurales* con una sola *ductilidad global asignada* para ambas direcciones de análisis. Si la *ductilidad global asignada* fuese diferente en cada una de las dos direcciones ortogonales del edificio, se debe utilizar la menor de las dos en ambas direcciones, excepto si el sistema se diseña para niveles de fuerzas elásticas en alguna de sus direcciones (*ductilidad global asignada* igual a uno), en cuyo caso se puede utilizar la *ductilidad* correspondiente en la otra dirección.

La *ductilidad global asignada* indicada en la tabla 4.3 corresponde a la *ductilidad* máxima a utilizar en el análisis y diseño de la edificación, salvo que se utilicen los métodos alternos de análisis indicados en el artículo 7.7.