

CAPÍTULO 10. ESTADOS DE CARGA

10.1. En la comprobación de los "estados límite últimos" que corresponden a máximos de la capacidad portante (agotamiento de secciones críticas, pérdidas de equilibrio parcial o total, transformación de la estructura en un mecanismo, inestabilidad del equilibrio, etc.), los valores de las acciones sísmicas definidas en el presente Reglamento se considerarán como valores últimos.

Para el análisis y diseño sismorresistente de las construcciones y de sus componentes se deberán considerar los estados de carga y correspondientes combinaciones de efectos que se indican a continuación, tanto para la comprobación de resistencia como para la verificación de deformaciones.

Se adoptará la combinación mas desfavorable de efectos correspondiente a las siguientes alternativas:

$$Y \quad \begin{array}{l} 1, 3 E_W \pm E_S \\ 0, 85 E_W \pm E_S \end{array}$$

siendo:

E_W los efectos provocados por las cargas gravitatorias definidas en el Capítulo 9;

E_S los efectos de las acciones sísmicas de diseño especificadas en el Capítulo 7.

10.2. Cuando corresponda, se agregarán los efectos causados por movimientos diferenciales de apoyos como consecuencia de la acción sísmica (ver los artículos 17.4. y 17.5.)

10.3. La construcción y sus componentes deberán además verificarse con los estados de carga pertinentes que no incluyen el sismo.

10.4. No se considera necesaria la verificación bajo acción simultánea de viento y sismo.

CAPÍTULO 11. DIRECTIVAS Y CRITERIOS GENERALES PARA ANÁLISIS Y DISEÑO

11.1. GENERALIDADES

Toda construcción y cada una de sus componentes deberá ser proyectada, ejecutada y mantenida para resistir, como mínimo, las acciones sísmicas indicadas en el presente Reglamento.

11.2. ACCIONES SÍSMICAS A CONSIDERAR

Las estructuras se analizarán considerando las acciones sísmicas horizontales actuando en forma independiente según dos direcciones ortogonales y, cuando sea significativo, bajo la acción sísmica vertical.

11.3. SELECCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

La estructura debe poseer adecuada resistencia según las dos direcciones principales de la construcción y además formar un mecanismo apto para la resistencia a torsión.

En el planteo del sistema estructural se evitarán aquellas situaciones que configuren cambios bruscos de rigidez y/o resistencia en elevación y/o planta, procurándose obtener una distribución uniforme y continua de resistencia, rigidez y ductilidad. Asimismo, se procurará evitar marcadas asimetrías de masas y rigideces.

Se recomiendan planteos estructurales que presenten varias líneas sucesivas de resistencia (redundancia estructural), conectando entre sí los subsistemas resistentes mediante elementos de elevada ductilidad.

Se evitarán los esquemas estructurales y situaciones que hayan presentado un comportamiento inadecuado frente a excitaciones sísmicas, como por ejemplo: "pisos flexibles" y "columnas cortas".

Se proveerá a la estructura de equilibrados valores de resistencia, rigidez y ductilidad en elementos estructurales, en sus conexiones (nudos) y en sus soportes.

La resistencia y rigidez de la estructura debe resultar compatible con el sistema de fundación y el tipo de suelo.

El sistema estructural debe poseer suficiente rigidez inicial y presentar aceptables deformaciones totales en estado de agotamiento, de manera que se minimicen los daños frente a terremotos de frecuente ocurrencia y que los daños provocados por terremotos severos resulten económica y técnicamente reparables.

Para lograr esto, se tendrá en cuenta la naturaleza del suelo y los tipos estructurales posibles.

11.4. SIMULTANEIDAD DE EFECTOS DE LAS ACCIONES SÍSMICAS HORIZONTALES

a) En edificios regulares en planta y elevación, se considerarán para el diseño los valores más desfavorables que se obtengan combinando los correspondientes efectos de: cargas gravitatorias y una componente horizontal de la acción sísmica.

Gravitatoria \pm Sismo Dirección 1

Gravitatoria \pm Sismo Dirección 2

b) En edificios irregulares, tanques, torres, columnas aisladas, estructuras tipo péndulo invertido etc., se considerarán para el diseño los valores más desfavorables que se obtengan combinando los correspondientes efectos de: cargas gravitatorias, la componente horizontal de la acción sísmica según una dirección y el 30% de los efectos de la componente horizontal de la acción sísmica según la otra dirección.

Gravitatoria \pm Sismo Dirección 1 \pm 0,30 Sismo Dirección 2

Gravitatoria \pm Sismo Dirección 2 \pm 0,30 Sismo Dirección 1

11.5. DIRECCIONES DE ANÁLISIS

11.5.1. Cuando la planta de la construcción es aproximadamente simétrica respecto de un eje, una de las direcciones de análisis deberá coincidir con dicho eje.

11.5.2. Cuando la planta de la construcción no presenta ningún eje de simetría se deberá adoptar alguna de las alternativas siguientes:

a) Fijar en forma arbitraria dos direcciones ortogonales tomando en cada una de ellas la acción sísmica prescrita correspondiente, incrementada en un 15%.

b) Seleccionar dos juegos de direcciones ortogonales giradas entre sí 45° en planta y considerar las sollicitaciones y deformaciones que resulten más desfavorables de acuerdo con lo establecido para las superposiciones de efectos indicadas en el artículo 11.4.

11.6. Se considerará en general, como nivel de base, el correspondiente a la unión de la estructura con las fundaciones, o el plano horizontal a partir del cual se produzcan deformaciones apreciables a causa de las acciones sísmicas.

11.7. Cuando puedan resultar significativos, se deberán considerar los efectos de los desplazamientos verticales y giros provocados por las acciones sísmicas horizontales.

Para el análisis de estructuras tipo péndulo invertido se tendrán en cuenta los efectos de la inercia rotacional.

11.8. Los efectos de las cargas gravitatorias sobre la estructura deformada por acciones sísmicas horizontales (efectos P-Delta) serán considerados cuando modifiquen en más del 10% los valores de sollicitaciones y deformaciones correspondientes a la suposición de estructura indeformada.

11.9. Cuando por la configuración estructural resulten apreciables las deformaciones de columnas por esfuerzos axiales, se tendrán en cuenta en el análisis.

11.10. Las losas de entrepisos y techos, cuando posean suficiente rigidez y resistencia en su plano, se considerarán como diafragmas rígidos que distribuyen los esfuerzos provocados por la excitación sísmica entre los distintos planos verticales sismorresistentes.

A tal fin, la transmisión de esfuerzos debe efectuarse con deformaciones de la losa en su plano, menores que las deformaciones horizontales de la estructura.

Los segmentos de losas de entrepiso comprendidos entre planos sismorresistentes verticales deberán ser diseñados para resistir acciones en su plano cuya magnitud se establecerá de la siguiente manera:

a) Se evaluarán las cargas autoequilibradas actuantes en cada nivel k , a saber:

- Fuerzas de inercia F_k originadas por la aceleración de las cargas gravitatorias operantes en el nivel considerado.

- Variación del esfuerzo de corte de cada plano sismorresistente vertical, en el nivel considerado.

b) Con las cargas determinadas en a) se obtendrán los esfuerzos coplanares en la losa de entrepiso. Las solicitaciones resultantes deberán ser afectadas por un factor de amplificación igual a:

$$\frac{a_s}{g} \cdot \frac{W_k}{F_k} \quad \text{cuando} \quad \frac{F_k}{W_k} < \frac{a_s}{g}$$

Si la condición de diafragma rígido no se cumple, en el análisis se tendrá en cuenta su flexibilidad.

11.11. En el análisis y diseño de la estructura se considerará la incidencia de los elementos denominados "no estructurales" (cerramientos, tabiques divisorios, paneles, etc.), que puedan afectar su respuesta a la excitación sísmica a través de las características dinámicas, distribución de esfuerzos e interacciones.

11.12. La presencia de mampostería incluida en pórticos sismorresistentes, cuando por sus características afecte a la distribución de esfuerzos entre los distintos planos verticales sismorresistentes, a la resistencia de los pórticos y a las características dinámicas de la estructura, deberá ser tenida en cuenta en la modelación para análisis estructural y en el dimensionamiento.

Se comprobará que las zonas próximas a los nudos de pórticos de hormigón armado tengan suficiente resistencia a los esfuerzos de corte que se originan por el empuje de la mampostería.

Como solicitaciones de diseño se adoptarán las combinaciones más desfavorables correspondientes a las alternativas de considerar o no la presencia de la mampostería.

La determinación de las características dinámicas, solicitaciones, así como el dimensionamiento, se realizará únicamente en la hipótesis de pórticos no rigidizados, cuando la mampostería no restrinja las deformaciones de los pórticos. Pero en tal caso deberán preverse las medidas de sujeción de la mampostería a la estructura en forma tal de asegurar su estabilidad y el cumplimiento de las hipótesis de análisis.

11.13. Si un solo elemento de la estructura resiste más del 20% de la solicitación total de un nivel determinado, dicho elemento se diseñará para soportar una solicitación igual a 1,2 veces la que originalmente le corresponda.

11.14. En el diseño de elementos estructurales que se hayan supuesto como no integrantes del dispositivo sismorresistente principal, se deberán considerar las solicitaciones provocadas por las deformaciones inducidas por éste último.

11.15. La asignación del factor de ductilidad global de la estructura deberá realizarse de manera conservadora y teniendo en cuenta que las posibilidades de disipación de energía por deformaciones anelásticas depende de múltiples factores y circunstancias, como por ejemplo: configuración estructural, distribución de rigideces y resistencias, características de componentes estructurales y uniones, materiales, dimensionamiento y detalles, aspectos constructivos, etc. En particular, se tendrá en cuenta que las estructuras de hormigón armado resultan muy sensibles a los detalles de dimensionamiento, armaduras y ejecución.

En estructuras cuya ley fuerza-deformación cambie según sea el sentido de aplicación de las acciones horizontales, se deberá considerar esta circunstancia para el establecimiento de su capacidad de disipar energía.

CAPÍTULO 12. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LAS ESTRUCTURAS

12.1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de los parámetros que caracterizan el comportamiento dinámico de las estructuras se realizará considerando los principios de la Dinámica Estructural, con las siguientes premisas:

- a) Se admitirá que la estructura funciona en el campo elástico lineal.
- b) Para los materiales que componen la construcción, el módulo de elasticidad a emplear será:

Para aquellos materiales que presentan fase definida de comportamiento lineal: el módulo de elasticidad real o convencional.

Para aquellos materiales con comportamiento no lineal desde el comienzo de la carga: el módulo de elasticidad equivalente para el análisis de deformaciones instantáneas, de acuerdo con lo establecido en los correspondientes Reglamentos y especificaciones particulares.

- c) En las construcciones de Hormigón Armado y de Hormigón Pretensado, los valores de las secciones (momentos de inercia, áreas) se adoptarán de acuerdo con las indicaciones de los respectivos Reglamentos para la determinación de magnitudes hiperestáticas.

- d) Los parámetros a adoptar para el suelo de fundación serán compatibles con los niveles de deformación asociados a la excitación sísmica de diseño y tendrán en consideración el nivel tensional inducido por las cargas gravitatorias operantes.

12.2. PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN

12.2.1. El período fundamental de vibración se determinará considerando las propiedades de la estructura en la dirección que se examina y aplicando los procedimientos de la Dinámica Estructural.

La modelación para el análisis reflejará en forma adecuada la distribución de masas y rigideces.

Para edificios, se admitirá que la discretización de masas se realice concentrándolas en los niveles de losas de entrepiso y techos.

También podrán adoptarse valores del período fundamental de vibración obtenidos mediante pruebas realizadas sobre construcciones similares o fórmulas empíricas fundamentadas en análisis experimentales.

12.2.2. Fórmulas aproximadas de la Dinámica Estructural

En el caso de estructuras sobre base fija, y en las que puedan suponerse las masas concentradas en n niveles, el período fundamental de vibración T_0 podrá obtenerse mediante la expresión siguiente:

$$T_0 = 2 \pi \left[\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot u_i^2}{g \sum_{i=1}^n \bar{F}_i \cdot u_i} \right]^{1/2}$$

siendo:

T_0 el período fundamental de vibración;

W_i la carga gravitatoria ubicada en el nivel i;

g la aceleración de la gravedad;

u_i el desplazamiento estático del nivel i, provocado por las fuerzas horizontales normalizadas \bar{F}_i actuando en todos los niveles del edificio;

\bar{F}_i la fuerza horizontal normalizada, expresada en la misma unidad que W y aplicada en el nivel i y cuya expresión es la siguiente:

$$\bar{F}_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i}$$

con:

h_i la altura del nivel i, medida desde el nivel basal.

En edificios regulares de n niveles típicos, se considera suficiente aproximación adoptar:

$$T_0 = 2\pi \left[\frac{W_n \cdot u_n}{g \cdot \bar{F}_n} \right]^{1/2}$$

siendo:

T_0 el período fundamental de vibración;

W_n la carga gravitatoria operante en el último nivel típico de la estructura;

g la aceleración de la gravedad;

u_n el desplazamiento estático del último nivel, provocado por las fuerzas horizontales normalizadas F_i , actuando en todos los niveles del edificio;

\bar{F}_n la fuerza horizontal normalizada, expresada en la misma unidad que W y aplicada en el último nivel y cuya expresión es la siguiente:

$$\bar{F}_n = \frac{W_n \cdot h_n}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i}$$

con:

h_n la altura del último nivel sobre el nivel basal.

12.2.3. Fórmula empírica

Alternativamente, podrá determinarse el período fundamental en edificios regulares de n niveles mediante la fórmula empírica siguiente:

$$T_{oe} = \frac{h_n}{100} \left[\frac{30}{l} + \frac{2}{1 + 30d} \right]^{1/2}$$

siendo:

T_{oe} el período fundamental del edificio en la dirección analizada, expresado en segundos;

h_n la altura total del edificio medida entre el nivel basal y el último nivel típico, expresada en metros;

l la longitud del edificio en la dirección analizada, expresada en metros;

d la densidad de muros. Cociente entre el área de la sección horizontal de los muros ubicados según la dirección analizada y el área de la planta tipo.

Se tendrán en cuenta sólo aquellos muros que se continúen en todos los niveles del edificio y que estén vinculados rígidamente a la estructura (valor adimensional).

12.2.4. Valores del período fundamental a considerar

12.2.4.1. Para el análisis de edificios según el Método Estático, en la determinación del coeficiente sísmico no se podrán tomar valores del período fundamental mayores que $1,25 T_{oe}$ para las zonas 4 y 3, y $1,5 T_{oe}$ para las otras zonas, cuando se determine el período por otro procedimiento.

12.2.4.2. Si se tiene en cuenta la influencia de la deformabilidad del terreno en la determinación del período fundamental, a los efectos de la determinación del coeficiente sísmico en el Método Estático, no se podrá tomar un valor mayor que 1,3 veces el período fundamental correspondiente a la hipótesis de base fija. Sin embargo, a los efectos de la verificación de las deformaciones y efectos P-Delta, se tendrá en cuenta el período efectivo calculado considerando la deformabilidad del terreno de fundación.

12.3. AMORTIGUAMIENTO

Los valores de amortiguamiento ξ expresados como porcentaje del valor crítico, a considerar para la aplicación del presente Reglamento y de los espectros en él contenidos, se indican en la Tabla 7.

No se permitirán reducciones para valores mayores de amortiguamiento, excepto casos especiales en que se justifique exhaustivamente, pero en ningún caso se tomarán valores superiores al 10%.

Tabla 7. Valores del amortiguamiento ξ en función del tipo de construcción.

Tipo de construcción	Amortiguamiento ξ
Tuberías de acero	1%
Construcciones o componentes de acero sin presencia de elementos que incrementen el amortiguamiento.	2%
Construcciones usuales de: - Hormigón armado - Hormigón pretensado - Madera - Mampostería - Estructuras de acero, con presencia de elementos que incrementen el amortiguamiento	5%

CAPÍTULO 13. DEFORMACIONES

El análisis de las deformaciones está asociado con los siguientes aspectos del comportamiento sismorresistente:

- Daños sobre los denominados elementos no estructurales.
- Condiciones de estabilidad y resistencia final.
- Martilleo contra estructuras adyacentes.

13.1. CONTROL DE LA DISTORSIÓN HORIZONTAL DE PISO

La distorsión horizontal de piso θ_{sk} provocada por la excitación sísmica, se define como la diferencia entre los desplazamientos

horizontales totales correspondientes a los niveles superior e inferior del piso, dividida por la distancia entre ambos niveles:

$$\theta_{sk} = \frac{\delta_k - \delta_{k-1}}{h_{sk}} = \frac{\Delta_{sk}}{h_{sk}}$$

siendo:

θ_{sk} la distorsión horizontal de piso;

δ_k, δ_{k-1} los desplazamientos horizontales totales correspondientes a los niveles superior e inferior del piso, respectivamente;

h_{sk} la distancia entre los niveles considerados;

Δ_{sk} la deformación relativa del piso k.

Los desplazamientos δ se obtendrán multiplicando por la ductilidad global μ , los valores de los desplazamientos obtenidos considerando la acción de las fuerzas sísmicas reducidas por la capacidad de disipación de energía de la estructura.

13.1.1. Se controlará que la distorsión horizontal de piso no supere los límites indicados en la Tabla 8 en función del grupo de construcciones a que pertenece la estructura y de las condiciones siguientes:

Condición D.:

existen elementos no estructurales que pueden ser dañados por las deformaciones impuestas por la estructura.

Condición N.D.:

cuando los elementos no estructurales están unidos a la estructura de forma que no sufran daños por las deformaciones de ésta.

Tabla 8. Valores límite de la distorsión horizontal de piso θ_{sk}

Condición	Grupo de construcción		
	A ₀	A	B
D.	0,010	0,011	0,014
N.D.	0,010	0,015	0,019

13.1.2. La verificación de la distorsión horizontal de piso no será necesaria para las estructuras que se indican en el Capítulo 16.

13.2. EFECTOS P-DELTA (Teoría de 2° orden)

Corresponden a las solicitaciones y deformaciones adicionales provocadas por las cargas gravitatorias sobre la estructura deformada por las acciones sísmicas.

Los efectos P-Delta deberán tomarse en cuenta en solicitaciones y deformaciones cuando en algún piso se verifique la siguiente condición:

$$\frac{P_k \cdot \Delta_{sk}}{V_k \cdot h_{sk}} \geq 0,08$$

siendo:

Δ_{sk} la deformación relativa del piso k;

V_k el esfuerzo de corte en el nivel k;

h_{sk} la altura del piso comprendida entre los niveles k y k-1;

P_k la carga gravitatoria total operante hasta el nivel k, incluido éste, determinada mediante la siguiente expresión:

$$P_k = \boxed{\times} W_i$$

con:

W_i la carga gravitatoria operante en el nivel i .

13.2.1. Una forma aproximada de considerar los efectos P-Delta consiste en amplificar los esfuerzos y las deformaciones provocados por las acciones sísmicas especificadas en este Reglamento, mediante la aplicación del coeficiente de amplificación determinado mediante la siguiente expresión:

$$\psi = \frac{1}{1 - \left(\frac{P_k \cdot \Delta_{sk}}{V_k \cdot h_{sk}} \right)_{\text{máx}}}$$

siendo:

ψ el coeficiente de amplificación

P_k la carga gravitatoria total operante hasta el nivel k ;

Δ_{sk} la deformación relativa del piso k ;

V_k el esfuerzo de corte en el nivel k ;

h_{sk} la altura del piso comprendida entre los niveles k y $k-1$.

13.3. EFECTOS DE MARTILLO, SEPARACIONES Y JUNTAS SÍSMICAS

13.3.1. Para controlar los efectos de impacto dinámico entre construcciones adyacentes o entre cuerpos estructuralmente independientes de una misma construcción, se deberán proyectar y construir separaciones y juntas sísmicas de espesor suficiente para evitar choques o contactos dañinos entre ellos, bajo las deformaciones totales inducidas por las acciones sísmicas prescriptas.

13.3.2. Separaciones

Toda nueva construcción deberá proyectarse y construirse separada de sus linderos con predios vecinos.

Excepcionalmente se permitirá la continuidad entre edificios adyacentes, si se comprueba que tanto el conjunto como las partes aisladas satisfacen los requerimientos del presente Reglamento, las estructuras son de características y dimensiones similares, y los niveles de losas son aproximadamente coincidentes.

13.3.3. Juntas sísmicas

El proyecto y construcción de juntas sísmicas puede obedecer a los siguientes objetivos:

- Dividir una construcción irregular (cambios bruscos de rigidez y/o de masas en planta y elevación: plantas en forma de L, T, E, H; cuerpos de distintas alturas, etc.) en unidades estructuralmente independientes que presenten regularidad en planta y elevación, y que además signifiquen un mejor comportamiento sismorresistente y permitan evaluar con mayor precisión la respuesta de la construcción frente a la excitación sísmica.
- Fraccionar una construcción como consecuencia de requerimientos vinculados a variaciones de temperatura (juntas de dilatación).
- Independizar partes de una construcción que tendrán como apoyo suelos de características diversas o fundaciones en distintos niveles. En estos casos la junta debe necesariamente afectar también a las fundaciones.

13.3.4. Dimensionamiento de separaciones y juntas sísmicas

La distancia Y_k de la construcción al eje medianero o al eje de la junta sísmica en cada nivel deberá cumplir simultáneamente las condiciones a), b) y c) siguientes:

$$a) Y_k \geq \delta_k + f_s \cdot h_k$$

$$b) Y_k \geq 1 \text{ cm} + f_o \cdot h_k$$

$$c) Y_k \geq 2,5 \text{ cm}$$

siendo:

Y_k la distancia de la construcción al eje medianero o al eje de la junta sísmica en el nivel k considerado;

δ_k el desplazamiento horizontal total correspondiente al nivel k, obtenido como se indica en el artículo 13.1., teniendo en cuenta la incidencia de las acciones torsionales;

f_s un factor que depende del tipo de suelo de fundación, indicado en la Tabla 9;

h_k la altura del nivel considerado medida a partir del nivel basal, expresada en cm para la condición b);

f_o un factor que depende de la zona sísmica y del tipo de suelo de fundación, indicado en la Tabla 10.

Tabla 9. Valores de f_s en función del tipo de suelo de fundación.

Suelo Tipo	I	II	III
f_s	0,0010	0,0015	0,0025

Tabla 10. Valores de f_o en función de la zona sísmica y del tipo de suelo de fundación.

Zonas sísmicas	Suelo Tipo		
	I	II	III
1 y 2	0,003	0,004	0,006
3 y 4	0,005	0,007	0,010

13.3.5. Construcción y mantenimiento de separaciones y juntas sísmicas

Se extremarán las precauciones en la ejecución de las zonas de separaciones y juntas sísmicas, disminuyendo las tolerancias geométricas usuales en la construcción de edificios.

Los espacios de separaciones y juntas deben quedar completamente libres de obstáculos, escombros, etc., para permitir los desplazamientos relativos de las construcciones adyacentes, en cualquier dirección. Esta condición debe mantenerse a través del tiempo.

Se admite el relleno de los espacios mencionados utilizando materiales compresibles especiales que garanticen la posibilidad de que se produzca cualquier desplazamiento relativo sin transmisión de fuerzas significativas o interacciones entre las partes adyacentes.

Cuando se empleen cubrejuntas, deberán diseñarse y construirse de manera que permitan los movimientos relativos sin alterar la función específica de la separación o junta.