

CARGAS SISMICAS

<http://www.um.edu.ar/um/fau/estructura5-anterior/CARGAS.htm>

DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS SÍSMICAS: Pesos y cargas a considerar para la determinación de las solicitaciones por sismo. Clasificación de los edificios según el destino y el tipo estructural. Vinculación en planta de los distintos elementos resistentes. Ductilidad de la estructura. Influencia del terreno en la importancia de las cargas por sismo. Métodos para calcular el Periodo Propio. Coeficiente Sísmico. Corte sísmico en la base. Distribución del corte sísmico en altura. Vuelco. Torsión en planta. Método estático. Conceptos sobre análisis modal.

Los ítems que se indican a lo largo del texto corresponden a los del Código de Construcciones Sismoresistentes de la Provincia de Mendoza.

Cálculo del Peso del Edificio:

El sismo tiene la característica de producir aceleraciones instantáneas, aceleraciones que generan grandes fuerzas, y que afectan a los componentes de la estructura del edificio de modo diferente a la acción de las cargas gravitatorias.

Estas fuerzas sísmicas dependen linealmente de la masa del edificio y se expresan con la fórmula:

$$F = M \times A \quad \text{donde es:}$$

F = fuerza inducida por la aceleración

A = aceleración producida por el sismo

M = masa del edificio

Por este motivo es necesario conocer el peso del edificio, que incluye el peso de la estructura, cierres, pisos, revestimientos, etc. Debe considerarse el peso de todo lo fijado permanentemente al edificio.

Las **cargas móviles** se computan en un porcentaje del total de sobrecarga prevista para el análisis estático. Los porcentajes a usar, según el tipo de sobrecarga, están definidos en el Código de Construcciones Sismo Resistentes.

El peso se calcula piso por piso, computando el peso del entrepiso (losa), vigas, la mitad de la longitud de los tramos de columnas sobre y bajo cada entrepiso, como se indica en las figuras.

Computados los volúmenes de los componentes fijos del edificio, estructurales o no, multiplicados por los pesos específicos, se obtiene el peso del edificio. A este peso debe sumarse la sobrecarga reglamentaria según el código, que se incluye en el análisis de las cargas sísmicas.

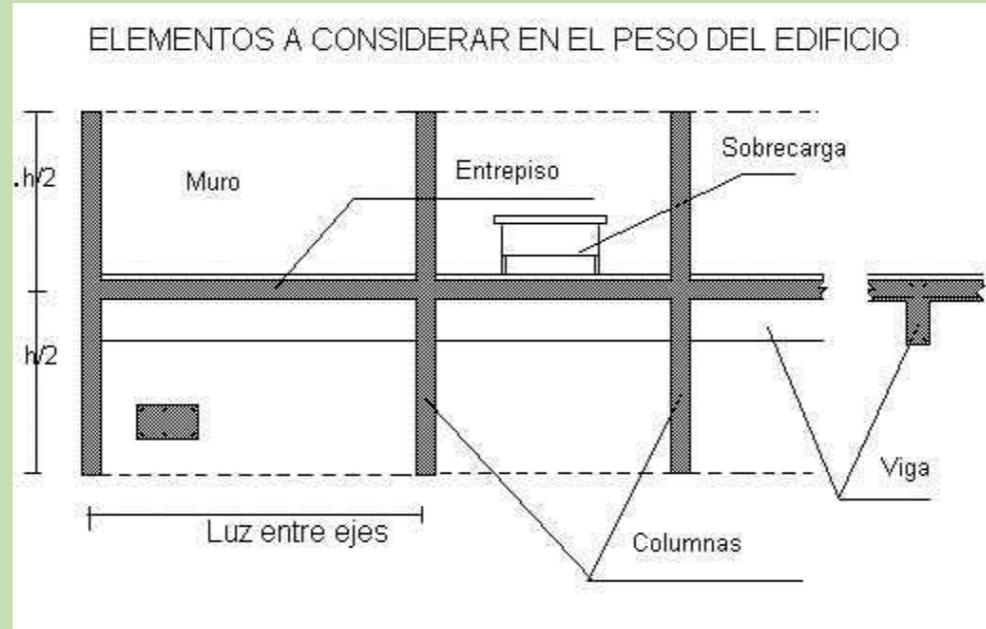
Resumiendo, el peso a considerar está compuesto por:

- * peso estructura
- * peso muros, tabiques divisorios, cierres.
- * peso pisos y revestimientos

- * peso de otros elementos fijos (maquinarias, etc.)
- * peso agua en depósitos de reserva.
- * porcentaje sobrecarga según código.

En los edificios comunes, es suficiente agrupar las cargas en los niveles de entrepisos. Se incluirá el peso propio del entrepiso, muros y otros elementos existentes en su zona de influencia (ver figura)

El centro de gravedad del conjunto se supondrá ubicado en el plano del entrepiso.



El peso de cada entrepiso se calcula con:

$$Q_i = G_i + p \times P_i \quad \text{siendo:}$$

Q_i = Peso total del piso.

G_i = carga permanente que actúa en el piso.

P_i = carga accidental que actúa en todo o en parte del entrepiso.

p = coeficiente de participación de la sobrecarga accidental.

Los valores del coeficiente $[p]$ son: (ítem 4.5.2.1)

$p = 0$ para azoteas y techos inaccesibles

$p = 0,25$ para locales donde no es usual la aglomeración de personas o cosas.

(Edificios de departamentos u oficinas, hoteles, etc.)

$p = 0,50$ para locales donde es usual la aglomeración de personas o cosas.

(Templos, museos, bibliotecas, cines, teatros, etc.)

$p = 1$ Tanques de agua, silos y otro tipo de recipiente

Como considerar las cargas en las construcciones en general:

Las cargas Q_i se supondrán concentradas en los centros de gravedad de cada agrupamiento (entrepiso y accesorios), y se determinarán siguiendo las instrucciones y valores del coeficiente $[p]$ dados en 4.5.2.1. En el caso de equipos de instalaciones industriales será suficiente considerar la sobrecarga o contenido con mayor valor en condiciones normales de servicio.

Clasificación de los edificios según el destino y el tipo estructural

Las normas sísmo resistentes de la Provincia de Mendoza clasifican los edificios según el destino. Esta clasificación tiene como finalidad asignar un coeficiente γ_d que afecta al coeficiente sísmico. El coeficiente γ_d multiplica al coeficiente zonal C_o mayorándolo en el caso de edificios o construcciones con destinos de interés público, o que contienen elementos valiosos para la comunidad o peligrosos, como ser gasómetros, plantas de energía nuclear, embalses, etc. En el caso de construcciones con un factor de ocupación bajo o cuyo contenido no es crítico el coeficiente γ_d disminuye el coeficiente C_o .

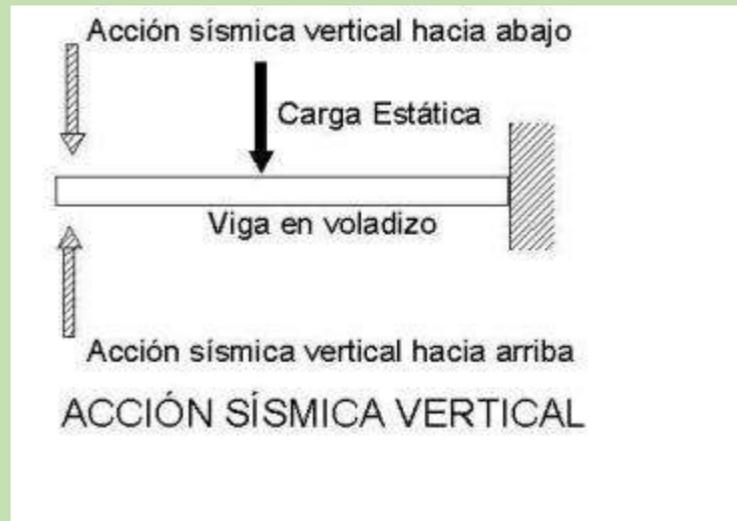
Cargas Sísmicas Verticales Item (4.6.1.2)

Solo es necesario tener en cuenta la acción sísmica vertical en las construcciones o en partes de las mismas, que tienen una sola posibilidad de falla por acciones verticales, o que pueden amplificar notablemente la acción sísmica en dirección vertical o en las que se pueden originar inversiones en el sentido de las sollicitaciones para las cuales el material pudiera resultar incompetente. En el caso de edificios comunes:

Voladizos, marquesinas, balcones, etc.

Estructuras cuyo periodo de vibración vertical esté comprendido entre 0,2 y 1,2 segundos.

Vigas de hormigón pretensado con luces superiores a 10 m y esbeltez geométrica (L/h) superior a 20. Losa de hormigón pretensado con luces superiores a 8 m y esbeltez geométrica superior a 30.



Clasificación por Destino Item (4.2)

Grupo AE - $\gamma_d = 2.0$, corresponde a obras en las que el colapso total o parcial podría generar acciones catastróficas sobre poblaciones importantes (sectores y componentes altamente radioactivos de instalaciones nucleares de potencia mayor a 20 Mw), depósitos de gases o líquidos inflamables, embalses de altura mayor de 40 m o capacidad mayor de 200 Hm³. La inclusión en este grupo de una construcción, componente, instalación o equipamiento deberá ser considerada por el Consejo del Código de Construcciones Sismo Resistentes, a solicitud de la Repartición o Empresa responsable de su habilitación.

Grupo A - $\gamma_d = 1.4$, corresponde a construcciones e instalaciones en las que se desarrollan funciones que son esenciales inmediatamente de ocurrido un terremoto (hospitales, salas de primeros auxilios, estaciones de radio y televisión, centrales telefónicas, oficinas de correo, etc.). Construcciones en las que el colapso tiene grave repercusión (edificios públicos de dependencias nacionales, provinciales o municipales, edificios educacionales: escuelas, colegios, universidades, etc.). Construcciones de uso público con ocupación superior a 100 personas y superficie cubierta mayor de 200 m² (templos, estadios, cines, teatros, terminales y estaciones de transporte de pasajeros, grandes comercios, etc.). Construcciones con contenido de gran valor (museos, bibliotecas públicas) o de gran importancia pública (centrales de bombeo, centrales eléctricas). Construcciones de infraestructura de importancia pública no incluidas en el grupo AE (puentes y obras de arte de vías de comunicación primarias o únicas vías de acceso a áreas pobladas por más de 10000 habitantes, diques, etc.). Construcciones cuyo colapso pueda afectar a otra incluida en el grupo AE.

Grupo B - $\gamma_d = 1.0$, corresponde a construcciones destinadas a vivienda unifamiliar o multifamiliar, hoteles, comercio e industrias o construcciones del grupo C cuya falla afecte a otra del grupo A. Construcciones de infraestructura no incluidas en el grupo A.

Grupo C - $\gamma_d = 0.8$, corresponde a construcciones e instalaciones industriales aisladas, con ocupación inferior a 10 personas y cuya falla no afecte a población o a construcciones del grupo A (depósitos vitivinícolas o similares, establos, silos, casillas aisladas, etc.).

Clasificación por tipo estructural Item (4.3.3)

-

La influencia de la tipología estructural en el comportamiento del edificio ante un sismo se considera introduciendo un coeficiente γ_e . El coeficiente estructural se descompone en los factores:

$$\gamma_e = \gamma_{vi} \times \gamma_{du} \quad \text{donde es:}$$

γ_{vi} = coeficiente que está en función de la vinculación interna de los elementos sismo resistentes a través de los diafragmas de entrepiso.

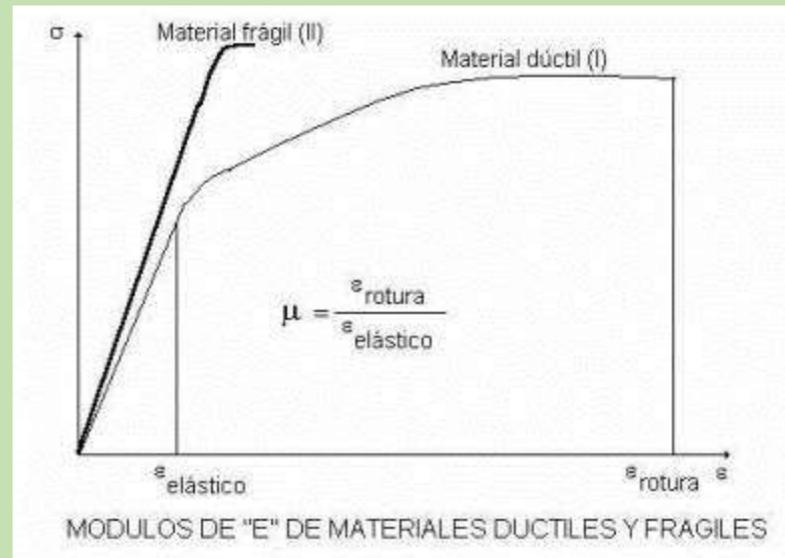
γ_{du} = coeficiente que depende de la ductilidad de la estructura. Expresa la capacidad de disipar energía de la estructura.

Coeficiente γ_{vi} (4.3.3.1)

- a) $\gamma_{vi} = 1,00$ **Estructura con buena vinculación interna.** Cuando en los distintos agrupamientos de masas existen diafragmas (ej. Losas) que vinculan los componentes y sistemas sismo resistentes y estos diafragmas pueden transmitir y redistribuir fuerzas en su plano durante el terremoto con deformaciones menores que las que de los sistemas conectados en el lugar de conexión, de tal modo que la falla de un componente o sistema aislado no produce el colapso local o general de la construcción.
- b) $\gamma_{vi} = 1,15$ **Estructura con vinculación interna parcial.** Cuando los distintos agrupamientos de masas están conectados con los sistemas sismo resistentes por vinculaciones que pueden transmitir y redistribuir parcialmente fuerzas en su plano, o bien solo son capaces de vinculación en una dirección (ej. Riostras o bielas en tracción compresión). En general cuando la falla un componente o sistema puede originar el colapso local, o por lo menos deformaciones locales muy grandes (del orden de las dimensiones de la sección).
- c) $\gamma_{vi} = 1,30$ **Estructura internamente desvinculada.** Estructura con sus componentes o sistemas sismo resistentes completamente desvinculados entre sí, en uno o en dos sentidos de la dirección considerada para la acción sísmica (ej. Tensores). Estructuras con un único sistema sismo resistente (chimeneas, torres y tanques no sustentados por otras construcciones, muros de sostenimiento), o con un componente que soporta más del 80 % de la acción sísmica en la construcción.

Ductilidad:

Se dice que un sistema estructural es dúctil cuando es capaz de soportar deformaciones importantes bajo carga prácticamente constante, sin alcanzar niveles excesivos de daños.



La curva (I) de la figura representa un comportamiento inicial dúctil, opuesto al del material representado en la curva (II), que tiene un comportamiento frágil.

De las curvas carga-deformación para el primer ciclo de carga, no puede conocerse un comportamiento dúctil en ciclos posteriores, puesto que en los ciclos siguientes de carga pueden producirse deterioros de rigidez y resistencia.

Para evaluar la ductilidad se usa el llamado **factor de ductilidad (μ)**, que se define como el cociente entre la deformación necesaria para alcanzar la falla (deformación máxima, d_{max}) dividida por la deformación correspondiente al límite elástico ($d_{elast.}$)

Es evidente la importancia de conocer el comportamiento de los materiales, a través de las curvas carga-deformación, en una estructura destinada a resistir sismos. Considerando el peligro que representa una falla de tipo frágil, que aparece sin signos previos de deterioro.

Como la disminución de la rigidez y la resistencia puede producirse luego de varios ciclos de cargas alternadas, es importante seleccionar materiales, realizar un diseño estructural y estudiar detalles constructivos que prevengan ese deterioro.

Coeficiente γ_{du} (4.3.3.2)

El coeficiente γ_{du} debe ser asignado tomando en cuenta el probable mecanismo de colapso de la construcción, que el proyectista debe explicitar en sus hipótesis, que luego debe manifestarse en los detalles de proyecto y que el responsable de la construcción debe materializar en la obra.

Los valores tabulados son válidos para cada sistema estructural y para construcciones formadas por un solo tipo de sistemas. Para construcciones complejas se aplica 4.3.3.3.

- a) $\gamma_{du} = 0,85$: **Estructura muy dúctil**. Compuesta exclusivamente por pórticos sismo resistentes de hormigón armado o acero, con nudos, vigas y columnas con gran ductilidad por flexión y cuando se adoptan disposiciones para favorecer la formación de rótulas plásticas en las vigas.
- b) $\gamma_{du} = 1,00$: **Estructura dúctil**. Compuesta exclusivamente por pórticos sismo resistentes de hormigón armado o de acero o de madera, con nudos, vigas y columnas con ductilidad por flexión.
Tabiques sismo resistentes de hormigón armado acoplados entre si o con columnas por vigas dúctiles.
- c) $\gamma_{du} = 1,15$: **Estructura semidúctil**. Compuesta exclusivamente por:

Tabiques sismo resistentes de hormigón armado.

Columnas de hormigón armado o acero (a flexo compresión) sin integrar pórticos, a las que sus vínculos les impiden los giros en uno o dos de sus extremos.

Estructuras de acero con triangulaciones de rigidización.

Estructuras sismo resistentes con componentes pretensados.

Estructuras sismo resistentes de madera no aporticadas.

d) $\gamma_{du} = 1,30$: **Estructura con baja ductilidad**. Compuesta exclusivamente por:

Muros sismo resistentes de mampostería de ladrillos macizos o de piedras canteadas o de hormigón simple.

Estructuras de hormigón armado con triangulaciones de rigidización.

e) $\gamma_{du} = 1,50$: **Estructura semifrágil**. Compuesta exclusivamente por:

Muros sismo resistentes de mampostería de ladrillos aligerados o de bloques de hormigón.

Sistemas de hormigón armado en estados límites por tensiones de corte (ej: *columna corta*).

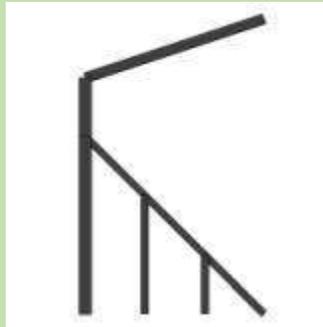
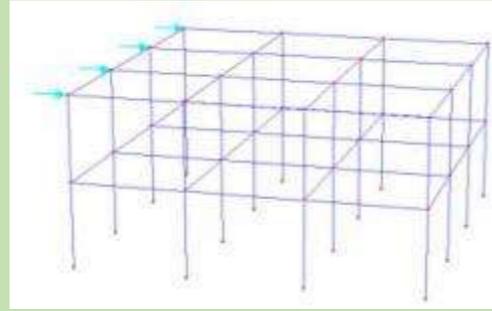
f) $\gamma_{du} = 1,80$: **Estructura frágil**. Compuesta exclusivamente por muros sismo resistentes de ladrillos huecos o de piedra no canteada asentada con mortero.

El coeficiente γ_{du} para la construcción en su conjunto.

La capacidad de absorción de energía de sistemas complejos depende de la ductilidad de los sistemas componentes, de la ubicación relativa y de la capacidad relativa de cada uno. Salvo estudios detallados de la formación y desarrollo del mecanismo de colapso, el coeficiente γ_{du} global de la construcción se valorará por los siguientes procedimientos:

Sistemas en paralelo: cuando varios sistemas están unidos de modo que la acción se distribuye entre todos ellos, como coeficiente γ_{du} global se adoptará el mayor de todos los que corresponden a los sistemas asociados.

Sistemas en serie: Cuando varios sistemas están unidos de modo que la acción es transferida íntegramente de uno a otro, aunque puedan sumarse acciones externas en el lugar de conexión, para coeficiente γ_{du} global se adoptará el valor mayor de todos los que corresponden a los sistemas componentes.



Sistemas mixtos: se evaluarán primero los coeficientes de los sistemas en serie y luego los de estos en paralelo, siguiendo el orden de transferencia y distribución de las acciones.

Influencia del terreno en la importancia de las cargas por sismo (4.4)

c) σ_{ad} $\geq 3 \text{ kg/cm}^2$

Terrenos Tipo 2 (Terrenos medios) (4.4.2)

$$s_{max} = 1,0$$

Terrenos cuyas características se encuentran comprendidas entre las de los suelos tipo 1 las de los suelos tipo 2.

Terrenos Tipo 3 (Terrenos blandos) (4.4.3)

$$s_{max} = 1,2$$

Son suelos granulares de baja densidad relativa ($<0,33$), suelos arcillosos o limosos poco consolidados ($C < 0,4 \text{ kg/cm}^2$), caracterizados por:

- a) SPT < 7 golpes
- b) Velocidad de ondas $< 150 \text{ m/seg}$
- c) σ_{ad} $< 0,8 \text{ kg/cm}^2$

-

-

Terrenos no incluidos en los tres grupos anteriores (4.4.4)

Cuando el terreno pueda ser caracterizado definitivamente en alguno de los grupos anteriores se adoptarán los valores que correspondan al estrato de menor número de golpes del ensayo de penetración SPT dentro del espesor de 6 metros bajo la fundación definido en 4.4.

Métodos para calcular el Periodo Propio (4.8.1)

En la determinación del periodo propio se tomarán en cuenta todos los elementos que restringen las deformaciones, sean reglamentariamente considerados estructurales o no. (*)
Se considerarán los valores instantáneos de los módulos de elasticidad,. La determinación del periodo propio puede hacerse por la aplicación de las fórmulas empíricas dadas por el código o racionalmente aplicando métodos de la dinámica estructural.

(*) Los valores de los módulos de elasticidad de los materiales serán los módulos secantes en condiciones de sollicitación dinámica correspondientes a 2/3 de las deformaciones al límite de fluencia (real o convencional) si el material presenta fluencia, o de rotura en caso contrario.

[Periodo propio para edificios comunes de H° A° y mampostería \(4.8.1.1\)](#)

En el caso de edificios comunes, con estructura de hormigón armado y muros de relleno de mampostería aligerada de ladrillo cerámico hueco o de mampostería, tipo de construcción habitual en Mendoza, se puede usar la siguiente formula:

$$T_o = \frac{H}{100} \sqrt{\frac{30}{L} + \frac{2}{1 + 30.\Delta}}$$

Donde:

To : Periodo propio (seg)

H: Altura total de la construcción sobre el nivel de referencia en metros.

L: Longitud total del edificio en la dirección estudiada en metros.

Δ : Densidad de muros (Area de la sección horizontal de los muros/ área de la planta baja) (m²/m²).

Para la determinación de D se deben considerar todos los muros continuos en la altura H, sean de mampostería o de hormigón y cualquiera sea su espesor.

Esta expresión empírica se obtuvo de la respuesta dinámica de más de 250 edificios de la Ciudad de Mendoza, en un estudio realizado por el Instituto de Investigaciones Antisísmicas de la Facultad de Ingeniería Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Cuyo (San Juan), registrando las oscilaciones de los edificios a los microtemblores producidos por el tránsito vehicular, en el año 1966. El estudio fue realizado por el ingeniero Juan S. Carmona.

[Periodo propio para edificios en general \(4.8.1.2\)](#)

Para edificios en general, que no se encuadren en el tipo constructivo definido en el ítem anterior se utilizará la fórmula general de la dinámica de las estructuras:

$$T_o = 2 \pi \sqrt{\frac{\sum Q_i d_i}{g \sum Q_i}}$$

Donde:

- To : Periodo propio (seg)
- Qi: Peso o carga gravitatoria en nivel i.
- di: Desplazamiento del baricentro Qi cuando se aplican fuerzas Qi en cada carga Qi en la dirección en se estudia el periodo.
- g: aceleración de la gravedad.

[Aplicación de procedimientos de la dinámica estructural \(4.8.1.3\)](#)

Es aplicable cualquier procedimiento racional derivado de la dinámica estructural, siempre que se respeten sus hipótesis básicas y que el modelo represente adecuadamente el funcionamiento de la construcción, incluyendo aquellos componentes reglamentariamente considerados no estructurales que pudieran restringir las deformaciones.

[Coeficiente de influencia del suelo\(4.8.2\)](#)

El coeficiente s, que afecta al coeficiente sísmico con la influencia del terreno de fundación se determina con la fórmula:

$$s = s_{max} - (s_{max} - s_{min}) \times (T_o - T_1) / (T_2 - T_1)$$

donde los valores a usar según el tipo de terreno son los siguientes:

Suelo	s _{max}	s _{min}	T ₂	T ₁
1	0.80	0.20	0.20	1.00
2	1.00	0.40	0.40	1.60
3	1.20	0.60	1.20	2.40

[Coeficiente Sísmico – Fuerza resultante del sismo \(4.8.3\)](#)

El coeficiente sísmico total se calcula con la fórmula:

$$C_s = C_o \times \gamma_d \times \gamma_e \times s$$

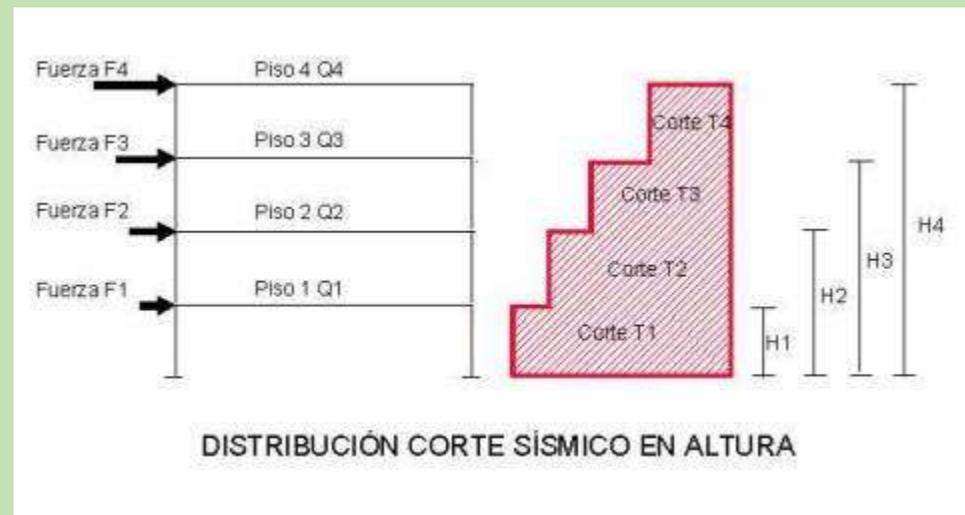
La fuerza resultante de la acción sísmica se calcula mediante:

$$F_s = C_s \times Q$$

Donde C_o , γ_d , γ_e , s y Q tienen los significados usados antes.

Distribución del corte sísmico en altura(4.8.3.1)

La fuerza F_s es el total de la acción sísmica actuando al nivel de la base del edificio, o corte sísmico en la base. Este corte debe ser distribuido en la altura, piso a piso, para considerar como influye en cada nivel según la distribución de masa y rigideces del edificio.



Para edificios comunes y todas las cargas excepto la última:

$$F_{si} = \frac{Q_i \cdot d_i}{\sum Q_i \cdot d_i} \alpha F_s$$

En la última carga Q_n , se aplica:

$$F_{si} = \frac{Q_i \cdot h_n}{\sum Q_i \cdot h_i} \alpha + (1 - \alpha) F_s$$

Donde:

Qi: Peso o masa del nivel i.

Hi: altura de la carga Qi sobre el nivel de referencia.

Para construcciones en general, y en todas las cargas Qi, excepto la última:

$$F_{si} = \frac{Q_i \cdot d_i}{\sum Q_i \cdot d_i} \alpha F_s$$

En la última carga Qn, aplicamos:

$$F_{si} = \frac{Q_i \cdot d_i}{\sum Q_i \cdot d_i} \alpha + (1 - \alpha) F_s$$

Donde:

Qi: Peso o masa del nivel i.

di: Desplazamiento del baricentro de Qi por la acción de todas las cargas

gravitatorias Qi supuesto que actúen en la dirección de la acción sísmica en estudio.

Cada fuerza Fi se aplicará en la carga gravitatoria Qi, con la dirección y sentido di.

Estas cargas representan un estado de carga equivalente al efecto del sismo sobre la estructura que se analiza. Se considera que las fuerzas Fsi debidas a la acción del sismo actúan en dos direcciones perpendiculares y paralelas a ellas.

El coeficiente α es función del periodo propio de la construcción según se indica:

$\alpha = 1$ para

To \leq 0.5 seg

$\alpha = 0.95$ para

To \leq 1.0 seg

$\alpha = 0.90$ para

To $>$ 1.0 seg

[Momento de Vuelco](#)(4.6.3.2)

Un edificio en su totalidad, bajo la acción de las fuerzas en su conjunto, estas originan un momento de vuelco, para determinarlo y aplicarlo a los diferentes elementos resistentes de la estructura se utiliza el siguiente procedimiento:

El momento de vuelco en el nivel i es el momento de todas las fuerzas F_{sj} ubicadas sobre dicho nivel. Se calcula con:

$$M_{si} = \sum F_{sj} (h_j - h_i)$$

o también con la fórmula:

$$M_{si} = \sum T_{sj} (h_j - h_{j-1})$$

Momento torsor en planta(*)(4.6.3.3)

Los efectos de la concentración accidental de cargas gravitatorias, de variaciones instantáneas de rigidez y amplificaciones dinámicas se tendrán en cuenta desplazando los puntos de aplicación de las fuerzas sísmicas F_{si} de los respectivos baricentros de las cargas Q_i . Todas las fuerzas F_{si} se desplazarán $0,15 l_i$ en dirección perpendicular a sus rectas de acción simultáneamente en el mismo sentido y sucesivamente en ambos sentidos. La longitud l_i es la mayor dimensión en planta de la carga gravitatoria Q_i , medida en dirección perpendicular a la acción sísmica considerada.

(*)MOMENTO TORSOR La torsión se produce entre dos niveles de un edificio, por la falta de coincidencia del centro de masas (ideal) del entrepiso y el centro de rigideces (ideal). La fuerza sísmica está aplicada en el centro de masas, y la reacción resistente actúa aplicada en el centro de rigideces. Las dos fuerzas de igual magnitud y sentido opuesto forman un par que es el responsable del momento torsor.



Cálculo del momento torsor en planta (4.6.3.3)

Sin perjuicio de la aplicación de procedimientos más precisos, se admite la definición aproximada del Centro de Giro, de la Excentricidad de Cálculo y del Momento Torsor en cada nivel:

Definición aproximada de los Centros de Giro:

Se definen como centros de giro correspondientes a la acción sísmica horizontal a todos los puntos de la construcción que no se desplazan horizontalmente cuando se aplica una cupla(*) arbitraria de eje vertical en el nivel más alto de la construcción.

Excentricidad:

La excentricidad de cálculo se define por:

$$e_i = e_{oi} \pm 0,15 l_i$$

Donde :

e_{oi} : distancia entre el centro de giro y el centro de gravedad de Q_i medida en dirección perpendicular a F_s .

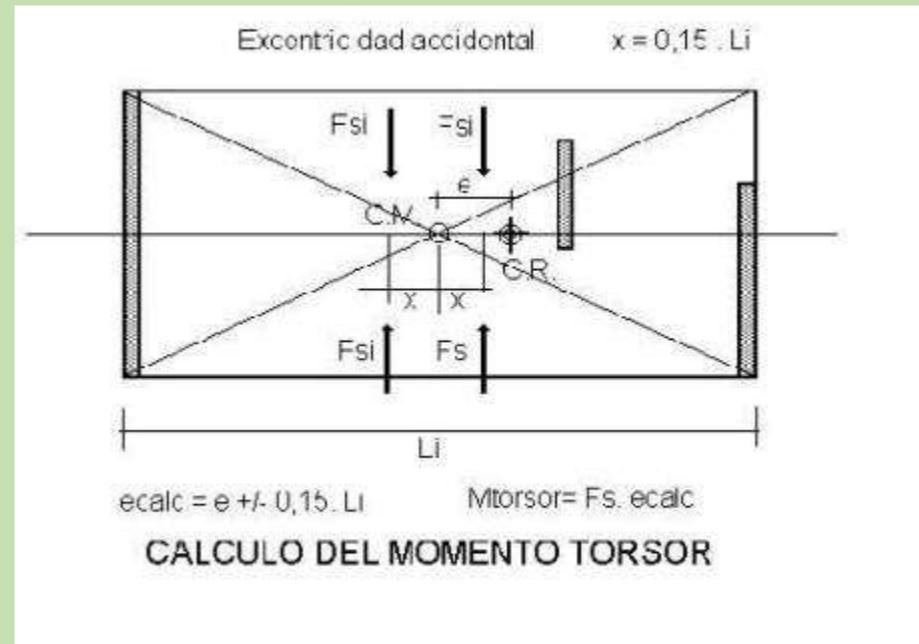
l_i : Máxima dimensión en planta del nivel i medida en dirección perpendicular a F_s .

Momento Torsor:

El momento torsor en el nivel i se calcula usando la expresión:

$$M_{ti} = \sum F_{sj} \cdot e_i$$

(*) **Cupla (Par de Vectores)**: Sistema de dos vectores paralelos, de sentidos opuestos, no alineados y del mismo módulo. Un par de vectores imprime una rotación al cuerpo al cual está aplicado. El plano de los dos vectores es el plano del par y la distancia entre sus rectas de acción es el brazo del par.



Método estático:

La evaluación del efecto sísmico se hace con la aplicación de un estado de carga estático equivalente, calculado con las fórmulas dadas en los párrafos anteriores. El estado de carga equivalente origina en la construcción esfuerzos de corte, momentos de vuelco y momentos torsores en planta.

Es suficiente suponer que la acción sísmica actúa independientemente en dos direcciones independientes entre sí. Esas direcciones se definirán según las direcciones principales de la construcción. Cuando no se realice la determinación de las direcciones principales será suficiente analizar la construcción para dos direcciones perpendiculares y una tercera a 45 grados con ellas.

Para una aplicación del método estático de análisis sísmico vea **SISGUIA_2000**, puede bajar de este sitio sisguia.zip . Es una guía de cálculo con un ejemplo desarrollado aplicando el código de construcciones sismo resistentes de la Provincia de Mendoza.

Conceptos sobre análisis modal.

El movimiento de un edificio ante la acción de un sismo es semejante al movimiento de un péndulo invertido. En este movimiento la masa no tiene una velocidad uniforme. Al pasar por el centro, es más rápida y va disminuyendo hasta llegar a uno de los extremos del recorrido, donde la masa se detiene totalmente para iniciar su retorno. La proyección horizontal del movimiento de un punto se puede representar como la que tendría en el diámetro de un círculo un punto que lo recorriera con velocidad uniforme. En ese diámetro la velocidad es mayor al pasar por el centro y se anula al llegar a los extremos.

El desarrollo de una circunferencia es igual a $2 \pi r$ y cualquiera sea su tamaño siempre vale 6,28 radianes. Por ejemplo, si un punto que recorre la circunferencia lo hace en 5 segundos, recorre en ese tiempo 6,28 radianes, entonces decimos que su **velocidad angular** ω es:

$$6,28/5 = 1,26 \text{ rad/seg (radianes por segundo)}$$

El periodo correspondiente del edificio será también de 5 segundos, y también podemos expresarlo por la velocidad angular, o sea, como 1,26 radianes por segundo.

Se dice que es una velocidad angular porque es la velocidad con que la masa recorre un determinado ángulo, independientemente del tamaño de la circunferencia y de la velocidad lineal que desarrolla al recorrerla. Logicamente a mayor tamaño de la circunferencia recorrida corresponde mayor velocidad lineal. Un mayor recorrido lineal se corresponde, en el caso de las estructuras, a una mayor deformación.

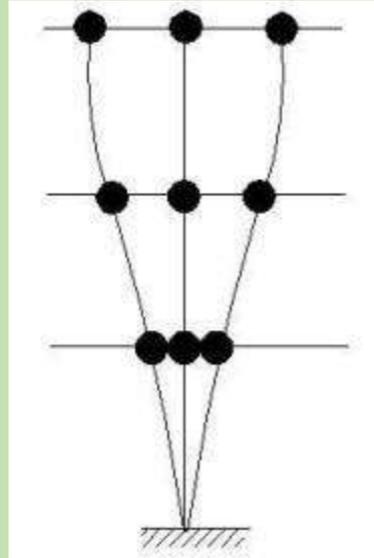
En todos los casos la velocidad angular es:

$$\omega = 6.28 / T$$

En el caso de las estructuras las deformaciones a que nos referimos, son pequeñas y congruentes con la capacidad resistente del material, podemos admitir que una estructura con una masa en su extremo libre se deforma como se indica en el dibujo:



Si se trata de una barra de varias masas, se deforma según la siguiente figura:



De todas maneras, independientemente del número de masas, el periodo de vibración del edificio, que como se ha explicado, es el tiempo dura su oscilación completa, mientras no se salga su estructura de los límites de la elasticidad, tendrá siempre la misma duración y corresponderá también a una misma velocidad angular.

A este periodo de oscilación se le llama **periodo fundamental de vibración**. La forma que tome la deformada de la construcción depende del peso de las masas y de la rigidez de los diferentes elementos resistentes que vinculan las masas entre si.

Mientras las masas y las rigideces no varían, la deformada podrá alejarse más o menos de la posición de reposo, según el esfuerzo que se aplique, pero siempre conservará las mismas proporciones en sus diferentes deformaciones y naturalmente, también su mismo periodo.

Cuando más se deforme, mas fuerza llevará cada masa al cruzar por el centro y, a la vez, la amplitud de la deformación dependerá de la fuerza o impacto que el terreno al moverse ejerza en la construcción.

La fuerza que cualquier masa produce al pasar por la posición de reposo, estará en proporción al valor de su masa M , al cuadrado de la velocidad angular ω^2 y al desplazamiento y que significa la distancia entre esa posición de reposo y la posición extrema de su recorrido.

$$F = M.\omega^2.y$$

Modos de Vibración:

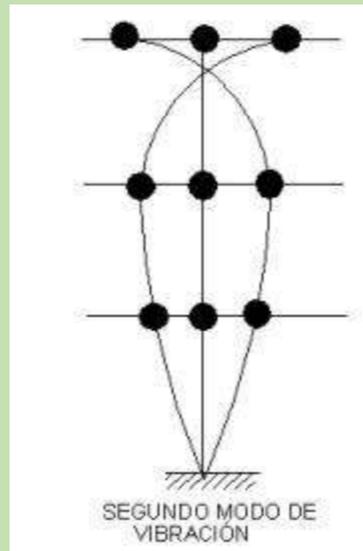
El periodo de vibración con que se mueve la estructura tiene que corresponder al del terreno donde se encuentra, o sea, que deberá tener la misma duración.

Cuando la estructura se mueve de modo que todas sus masas pasan totalmente de un lado a otro de la posición de reposo, se llama **primer modo** o **modo fundamental de vibración**.

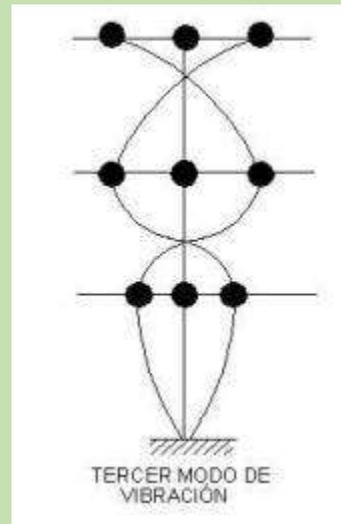
La magnitud de la deformación que alcanza la estructura en cada nivel, no depende de la fuerza que se aplique en la base, o sea, la fuerza que produce el sismo. Si esta fuerza es mayor o menor, sucederá que las masas de los pisos se desplazarán más o menos y al cruzar la vertical de la posición de reposo, llevarán un impulso de mayor o menor intensidad.

Los desplazamientos de las masas son proporcionales entre sí.

Ocurre que, si el terreno se mueve con un periodo de tiempo más corto, independientemente de la fuerza con que lo haga, la estructura podrá deformarse de uan segunda manera; cuando la fuerza es mayor; el desplazamiento será mayor. A este modo de moverse se le llama **segundo modo de vibración**.



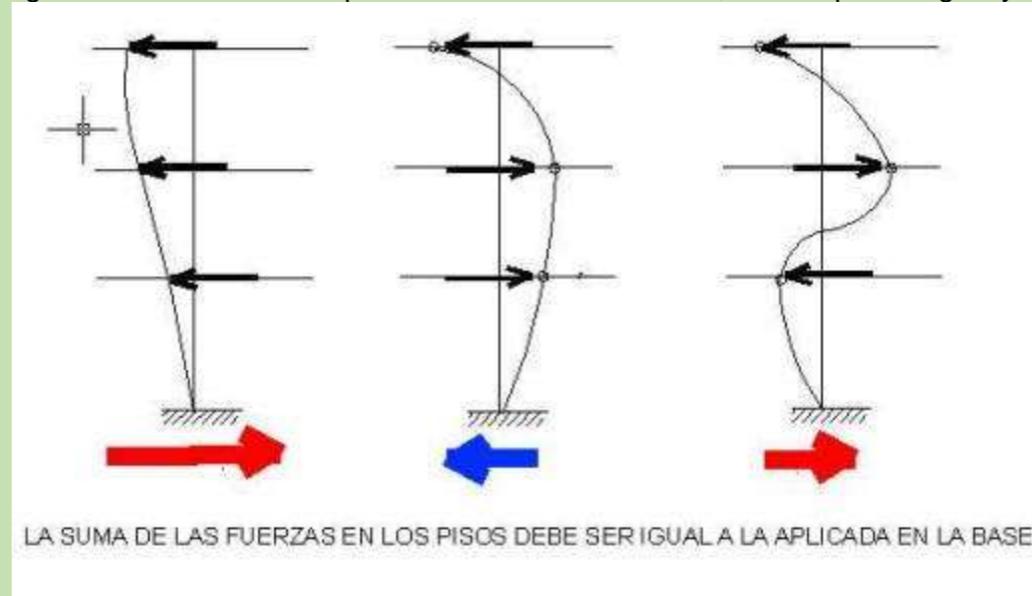
Finalmente, si aún se reduce el periodo de tiempo del movimiento del terreno, la estructura puede llegar a moverse de una tercera manera, que es el tercer modo de vibración que es como se indica en la figura.



En el caso de una estructura de tres pisos (o masas), existen tres modos distintos de vibración, si la estructura tuviera cuatro pisos, existirían cuatro modos de vibración y así sucesivamente. Para un edificio de quince pisos, considerando que tiene quince masas, podrá tener teóricamente 15 modos de vibración. Y si tenemos una estructura continua, como por ejemplo una chimenea de hormigón armado, que podemos dividir en tantas masas como queramos, puede tener un número infinito de modos de vibración.

Cuando el edificio vibra en el modo fundamental, todas las masas se desplazan a un mismo lado y sus fuerzas actúan en el mismo sentido, pero según los otros modos las fuerzas actúan en diferentes sentidos.

En cualquiera de los modos de vibrar, como sucede en el primer modo, según la intensidad de la fuerza que actúa en la base será la magnitud de los desplazamientos que sufre cada masa, pero los desplazamientos en cada modo conservarán su proporcionalidad.
En todos los casos para que exista equilibrio, la suma algebraica de las fuerzas que se verifican en las masas, tendrá que ser igual y de sentido contrario a la que el terreno impone a la base.



El periodo que requiere la estructura para moverse de un modo determinado depende los valores de sus masas y de la flexibilidad de sus elementos sismo resistentes, de modo que durante un mismo temblor y con la misma vibración del terreno, una estructura puede vibrar de un modo y otra vibrar de otro modo.
En los modos que siguen al primero, es muy posible que algunas de las fuerzas que actúan en los distintos niveles, sean más intensas que la que se verifica en el terreno.

Pero lo más importante de este análisis, es que las fuerzas que se obtienen del mismo son las que necesitamos conocer para calcular la estructura.

Los métodos para realizar este análisis será incorporarán a esta página mas adelante.