



ACCIONES SÍSMICAS

Arq. Eduardo Rodríguez Cimino

Estructuras III A

Prof. Titular:

Eduardo Rodríguez Cimino

Prof. Adjunta:

Julieta Mansilla

Prof. Asistentes:

Leonel Ghiglione

Horacio Altamirano

Anabella Cardellino

Ana Ostera

Madeleine Ledezma Orozco

3 ACCIONES SISMICAS

Como vimos en el capítulo anterior, la respuesta de una estructura ante el movimiento del suelo dependerá de las propiedades dinámicas de la estructura, principalmente de su periodo de vibración, y amortiguamiento. Esta respuesta puede ser medida mediante numerosos indicadores, entre los cuales podemos nombrar la aceleración, el desplazamiento y la velocidad que experimenta la masa vibrante durante el sismo.

Pero una vez conocidos estos indicadores, ¿cómo puedo diseñar una estructura adecuada? Entre los diversos **métodos de diseño** existentes podemos plantear una clasificación en tres tipos principales:

- Diseño basado en **fuerzas**: Es el método más antiguo y el más empleado, por el cual la demanda se obtiene a partir de un espectro de aceleraciones considerando las propiedades dinámicas de la estructura. Luego mediante un análisis estructural (estático o dinámico) se determinan las solicitaciones y desplazamientos producidos y con ellos se verifican las resistencias requeridas y distorsiones máximas para limitar el daño.
- Diseño basado en **desplazamientos**: En este caso se parte de la definición de las condiciones límite de deformación, luego mediante un espectro de desplazamientos se obtiene el periodo de la estructura, y por ende su rigidez necesaria. Por último, a partir de la rigidez y el desplazamiento pueden obtenerse las fuerzas producidas por el sismo.
- Diseño basado en **energía**: En este caso se utilizan espectros de energía, concepto que combina fuerzas y desplazamientos. Este es el método de menor difusión.

En el presente trabajo utilizaremos solo el diseño basado en fuerzas.

3.1 FACTORES INTERVINIENTES EN LA MAGNITUD DE LA FUERZA

Para obtener el valor de las fuerzas sísmicas, debemos tener en cuenta la incidencia de los algunos factores, independientemente del método que utilicemos para calcularlas:

3.1.1 El peligro sísmico

Como ya se mencionó en el capítulo 1, el peligro sísmico es la probabilidad de ocurrencia de un sismo de determinada magnitud en un lugar dado. Este parámetro queda establecido en base a mapas de zonificación sísmica que cada país elabora en base a sus registros sísmicos. En ellos puede identificarse la aceleración máxima esperada para el sismo de diseño de cada zona geográfica.

3.1.2 El suelo de fundación

Podría decirse que el suelo mismo es un vibrador de comportamiento plástico, y modifica el movimiento que llega en forma de ondas desde el epicentro del sismo. Al igual que sucede con otros tipos de ondas que cambian sus características al pasar de un medio a otro, las ondas sísmicas se amplifican al pasar de un suelo

rígido a uno blando, por ello flexibilidad o rigidez del terreno son factores que afectarán a las fuerzas de inercia durante un sismo.

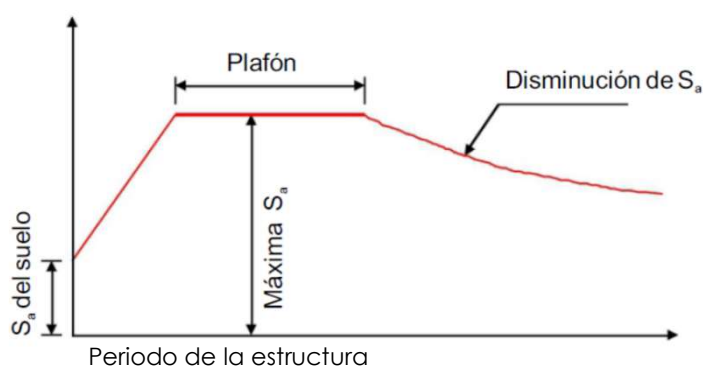
Conforme se propagan las ondas a través del suelo bajo la estructura de los edificios, estas pueden ser atenuadas o amplificadas dependiendo del periodo fundamental del material que vayan atravesando. El periodo de un terreno puede variar entre 0,4 s en suelos compactos o rocosos, hasta 2 s en suelos muy blandos. Si el periodo del suelo entra dentro del rango de periodos del edificio, puede ocurrir una condición de resonancia. En general las construcciones flexibles se verán más afectadas en suelos blandos, y viceversa.

3.1.3 La altura

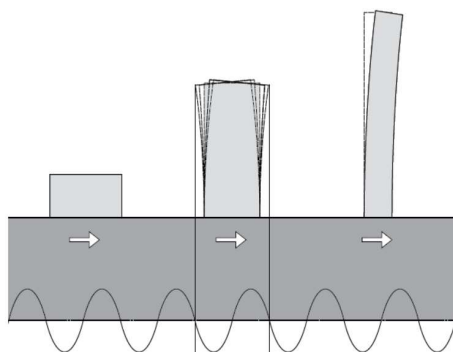
Como vimos en el capítulo anterior, la respuesta de una estructura a la acción sísmica está condicionada por la relación entre el periodo de la excitación y el periodo propio de vibración de la estructura, pudiendo ocurrir el fenómeno de resonancia en caso de que ambos periodos coincidieran.

El periodo de la estructura depende de su masa y rigidez, y la rigidez a su vez depende de los materiales, secciones, composición y principalmente de la altura total que posea.

Los edificios tendrán entonces periodos de vibración más largos mientras más altos sean. Ello no significa que también sufran más los efectos del sismo, porque como se aprecia en los espectros de respuesta, las aceleraciones tienden a disminuir cuando el periodo es muy largo, por lo cual la acción sísmica en edificios altos pierde relevancia en relación con otras acciones horizontales como el viento (que crece siempre con la altura).



Forma típica del espectro de respuesta elástica de aceleraciones



Los edificios que por su altura posean periodos de vibración similares al movimiento del del suelo, sufrirán más las acciones del sismo

3.1.4 Masa

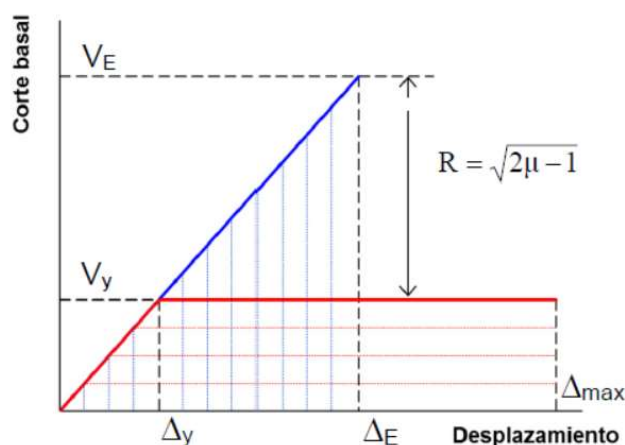
Es la responsable de la aparición de las fuerzas de inercia, y por lo tanto de su magnitud. Mientras mayor sea la masa, mayor será la inercia.

Recordemos que cuando hablamos de masa, hacemos referencia no solo a la correspondiente a la estructura, sino a la masa total de la edificación, contando también componentes no estructurales, equipamientos, y toda la que derive de su uso y ocupación que pueda estar presente al momento de un sismo.

Esto último implica que también debemos contar una parte de la sobrecarga de uso (cargas vivas) que consideremos que es probable que esté actuando sobre la estructura en simultaneo con la acción sísmica.

3.1.5 La ductilidad

La ductilidad es la capacidad de la estructura para soportar sollicitaciones más allá del límite elástico, sin perder resistencia. Al deformarse plásticamente la estructura disipa energía convirtiéndola en calor, lo que permite que la fuerza sísmica sea menor a la que correspondería en caso de mantenerse en estado elástico (queda limitada en el valor de fluencia), pero al precio de aceptar deformaciones permanentes. La estructura queda con daños, pero se evita el colapso.



Equivalencia de energía en sistemas elásticos y elasto-plásticos

En el siguiente gráfico se representa en el eje de ordenadas el valor de la fuerza sísmica total (corte basal) y en abscisas el desplazamiento producido. La línea azul corresponde a una estructura en estado elástico, con una relación lineal entre tensiones y deformaciones. La línea roja, en cambio, representa una estructura que entra en fluencia al llegar al valor V_y , y comienza a deformarse plásticamente sin aumentar la fuerza. La superficie sombreada debajo de cada línea representa la energía consumida en el proceso de deformación, que resulta igual para ambas estructuras, pero con valores de fuerza muy menores para la aquella que se comportó de manera dúctil.

La ductilidad de una estructura está influida por tres aspectos:

- El material: existen materiales de gran ductilidad, como el acero, o frágiles como el vidrio. En el caso del hormigón armado, debe garantizarse el cumplimiento de cuantías máximas y mínimas, y el confinamiento producido por los estribos para lograr una adecuada ductilidad.

- La sollicitación crítica: Algunas sollicitaciones como el corte o la compresión, producen modos de rotura muy frágiles, de manera brusca y repentina, mientras que la flexión o la tracción presentan un modo de fallo dúctil, con deformaciones plásticas visibles previas a la rotura.
- Los detalles constructivos: La concentración de tensiones en pequeños sectores de una pieza estructural produce fallas frágiles. La falta de confinamiento del hormigón comprimido puede producir una rotura brusca por corte en una pieza flexionada, antes de que logre desarrollar su ductilidad.

3.1.6 El destino o importancia de la construcción

Por último, tenemos que nombrar un factor que no tiene una justificación desde el punto de vista físico o matemático, sino que se aplica por cuestiones prácticas y de seguridad pública. Los efectos del sismo no tienen igual relevancia si afectan construcciones que usualmente se encuentren deshabitadas (depósitos, instalaciones agrícolas, etc.), o edificios cuyas funciones sean indispensables en ocasión de desastre (hospitales, instituciones públicas, centrales de energía, etc.). Para preservar a estos últimos de eventuales daños se les otorga un mayor nivel de seguridad incrementando la intensidad de las fuerzas sísmicas de diseño.



Construcciones de interés público como museos (izq.) son diseñados con mayores acciones sísmicas que edificios comunes de vivienda colectiva (der.)

3.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS

Existen diversos métodos que permiten evaluar las acciones sísmicas, cada uno con distintos niveles de complejidad, que deben aplicarse según la dificultad que presente cada estructura para predecir su comportamiento.

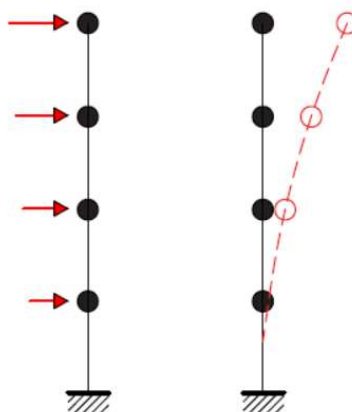
Algunos de estos métodos son:

3.2.1 Análisis estático equivalente

Este método es de muy fácil aplicación y resulta válido en estructuras razonablemente regulares, hasta cierto límite de altura, y en las que el primer modo de vibración sea el dominante en la respuesta, todas características presentes la mayoría de los edificios comunes, por lo cual es el más usado para obras de arquitectura.

En este procedimiento se reemplaza a la acción dinámica del movimiento del suelo, por un sistema de fuerzas estáticas aplicadas en las masas, que producen la misma deformación que la respuesta dinámica en el primer modo de vibración.

Se considera a la estructura como una ménsula empotrada en el suelo, con una masa por cada piso de la construcción, concentrada en el centro de gravedad de cada plano horizontal.



Fuerzas estáticas equivalentes al primer modo de vibración

Cada una de las fuerzas es igual al producto de la masa del nivel, por la aceleración que recibe (segunda ley de Newton).

$$F = m \cdot a$$

Si todas las masas oscilan con el mismo periodo, a medida que nos ubicamos en pisos más altos, cada masa debe recorrer una distancia más larga, en el mismo tiempo, por lo cual debe tener aceleraciones mayores. De esto se deduce que las fuerzas aplicadas deben ser más grandes en los niveles más altos.

Las aceleraciones pueden obtenerse del espectro de respuesta elástica correspondiente a la peligrosidad sísmica y el tipo de suelo donde está ubicada la estructura, y en función de su periodo de vibración.

La fuerza sísmica total se calcula multiplicando la masa total del edificio por la aceleración obtenida del espectro. Luego esta fuerza se distribuye en los distintos niveles de manera proporcional a la masa y altura de cada uno.

Para finalizar es posible por un lado reducir la fuerza según la ductilidad que posea la estructura, y por otro incrementarla en el caso de que se trate de un edificio cuyo destino sea de una importancia relevante en caso de desastre.

3.2.2 Análisis modal espectral

Recordemos que el espectro elástico de respuesta está construido a partir del análisis de un oscilador de un grado de libertad. Es por ello que el método anterior permite obtener solo un valor de aceleración, y una fuerza total que luego tendremos que distribuir entre todos los niveles (masas) de la estructura.

Mediante el análisis modal espectral, es posible obtener la respuesta para una estructura de varios grados de libertad, mediante la superposición de las respuestas de cada uno de los modos de vibración.

El procedimiento consiste en determinar cada una de las formas modales y periodos naturales de cada uno de los modos de vibración posibles. Luego mediante el

espectro de respuesta se obtienen las fuerzas de cada modo, y se superponen considerando un factor de participación de cada modo en la respuesta total.



Modos de vibración

3.2.3 Análisis dinámico temporal (time history)

Este método permite definir la acción sísmica mediante registros reales de la aceleración producida por un sismo.

Esto permite conocer la historia de desplazamientos de cada masa durante el tiempo que dura la excitación sísmica y, por consiguiente, las acciones sobre la estructura. El método requiere de un proceso computacional considerable y es generalmente usado con fines de investigación.

3.2.4 Análisis estático no lineal incremental (push over)

Este método permite evaluar la secuencia de formación del mecanismo de colapso, siguiendo la evolución paso a paso de la formación de rótulas plásticas en la estructura.

Consiste en la aplicación paulatina de las cargas sísmicas, realizando análisis sucesivos en donde se va incrementando su valor paso a paso. Esto permite que en cada uno de los análisis se pueda ir considerando la pérdida de rigidez de la estructura a medida que se va desarrollando su ductilidad, mediante la plastificación de distintos puntos específicos denominados “rotulas plásticas”.

Para poder calcular con precisión la rigidez de la estructura se requiere una definición al detalle de la misma antes de comenzar el análisis. Esto incluye el detallado de armaduras, en especial de las zonas donde deben formarse las rotulas, lo que convierte al método en extremadamente laborioso.

3.3 CÁLCULO DE ACCIONES SEGÚN REGLAMENTO INPRES-CIRSOC 103

El Instituto Nacional de Prevención Sísmica desarrolla el reglamento argentino para construcciones sismorresistentes, que actualmente, al año 2023, está compuesto por 5 partes:

- Parte I – Construcciones en general (2018)
- Parte II – Construcciones de hormigón armado (2021)
- Parte III – Construcciones de mampostería (2018)
- Parte IV – Construcciones de acero (2005)
- Parte V – Soldadura de estructuras de acero (2018)



Reglamentos INPRES – CIRSOC

El propósito principal de la reglamentación sismorresistente es evitar el colapso total o parcial de la construcción y pérdidas de vidas. No se establece como objetivo limitar los daños ni mantener las funciones luego de la ocurrencia de un terremoto, ya que este requerimiento llevaría a costos económicos inviables y a una rigidez que produciría aceleraciones extremadamente grandes.

Esto significa que se admite el comportamiento plástico de las estructuras, y por consecuencia, deformaciones permanentes que pueden ocasionar daños en componentes no estructurales. Se pretende con este criterio dar un alto grado de protección a la vida, con costos económicos razonables.

En la Parte I del reglamento, se indica que se admiten 3 métodos para la evaluación de la acción sísmica:

- Método estático
- Método dinámico
- Verificación simplificada

3.3.1 Método estático

Corresponde a la aplicación del sistema de fuerzas estáticas equivalentes, que se calculan de la siguiente forma:

Se obtiene la fuerza sísmica total, también denominada corte basal (V_0) dado que produce un esfuerzo de corte en la base del edificio de igual valor. Esta fuerza depende de los factores antes mencionados, y puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$V_0 = \frac{S_a}{R} \cdot \gamma_r \cdot W$$

Donde:

V_0 es el corte basal

S_a es el valor de aceleración obtenido del espectro de respuesta

R es el factor de reducción por la ductilidad de la estructura

γ_r es el factor de riesgo según el destino del edificio

W es la masa total del edificio

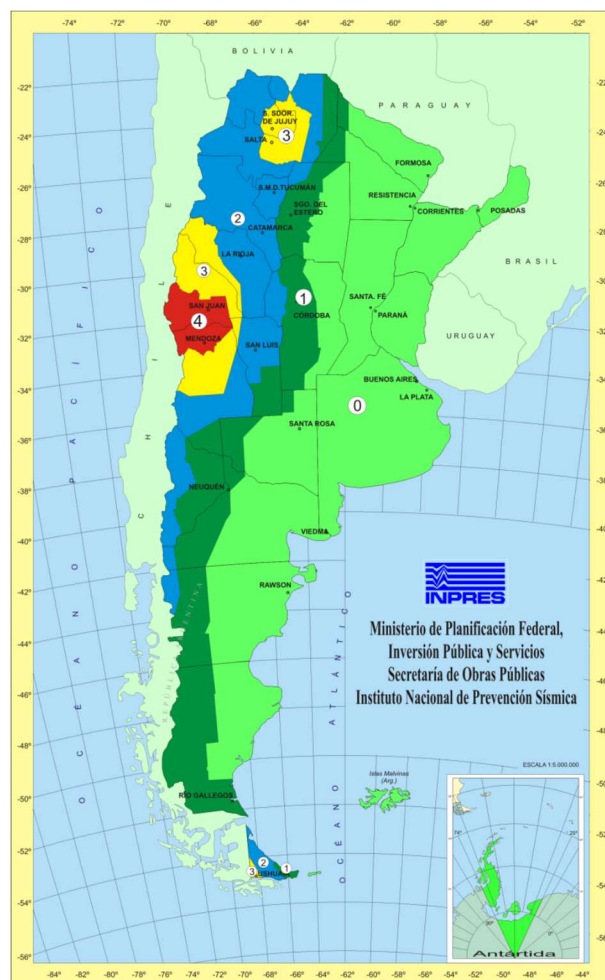
- **Pseudoaceleración S_g**

Se obtiene del espectro de respuesta que provee el reglamento para cada zona sísmica y tipo de suelo, según el periodo de vibración de la estructura.

El territorio nacional se divide en 5 zonas sísmicas de acuerdo con la peligrosidad sísmica existente en cada región.

<i>Zona sísmica</i>	<i>Peligrosidad</i>
0	Muy reducida
1	Reducida
2	Moderada
3	Elevada
4	Muy elevada

Los límites de cada zona pueden verse en el siguiente mapa:

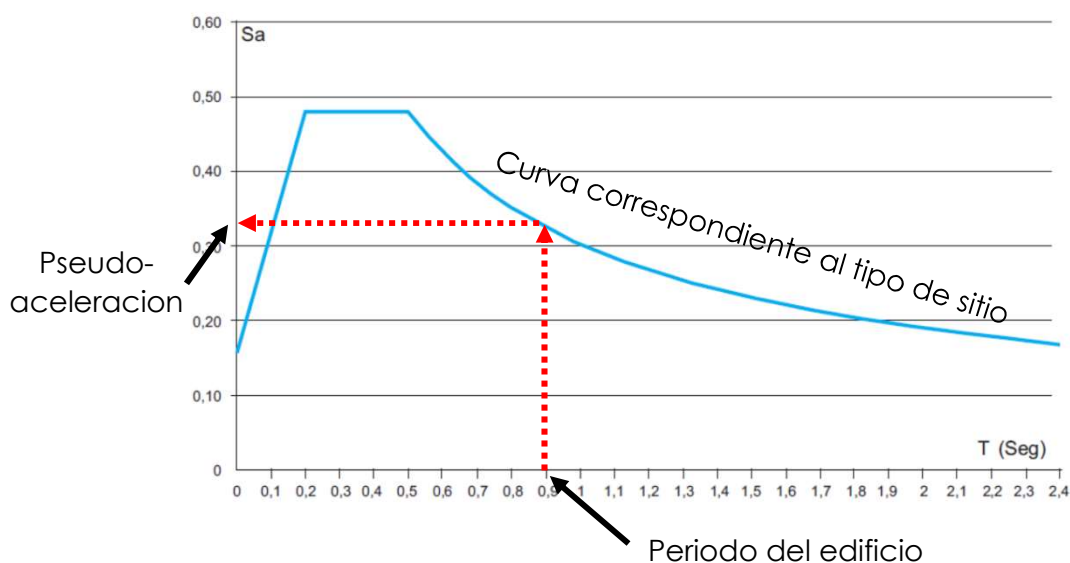


Zonificación sísmica de la república Argentina

Según las propiedades del suelo comprendido hasta los 30 m de profundidad, el reglamento clasifica 3 tipos de sitio, que pueden identificarse mediante un ensayo de penetración normalizado, o uno de resistencia al corte.

Tipo espectral	Sitio	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELOS	PROPIEDADES DE SUELO PROMEDIO		
			Velocidad media de la onda de corte, V_{sm} (m/s)	Nº de golpes medio del ensayo de penetración normalizado N_m	Resistencia media al corte no drenado S_{um} (kPa)
Tipo 1	S_A	Formación de roca dura, con presencia superficial y escasa meteorización.	>1500	-	-
	S_B	Formación de roca dura con pequeña capa de suelo denso y/o roca meteorizada <3m	760 a 1500	-	-
	S_C	Formación de roca blanda o meteorizada que No cumple con S _A y S _B . Gravas y/o arenas muy densas. Suelo cohesivo pre-consolidado, muy duro. Gravas y/o arenas de densidad media.	360 a 760	>50	>100
Tipo 2	S_D	Suelo cohesivo consistente, de baja plasticidad. Gravas y/o arenas de baja densidad.	180 a 360	15 a 50	50 a 100
Tipo 3	S_E	Suelo cohesivo blando de baja plasticidad.	<180	<15	< 50
S_F		Suelos dinámicamente inestables. Requieren estudios especiales.			

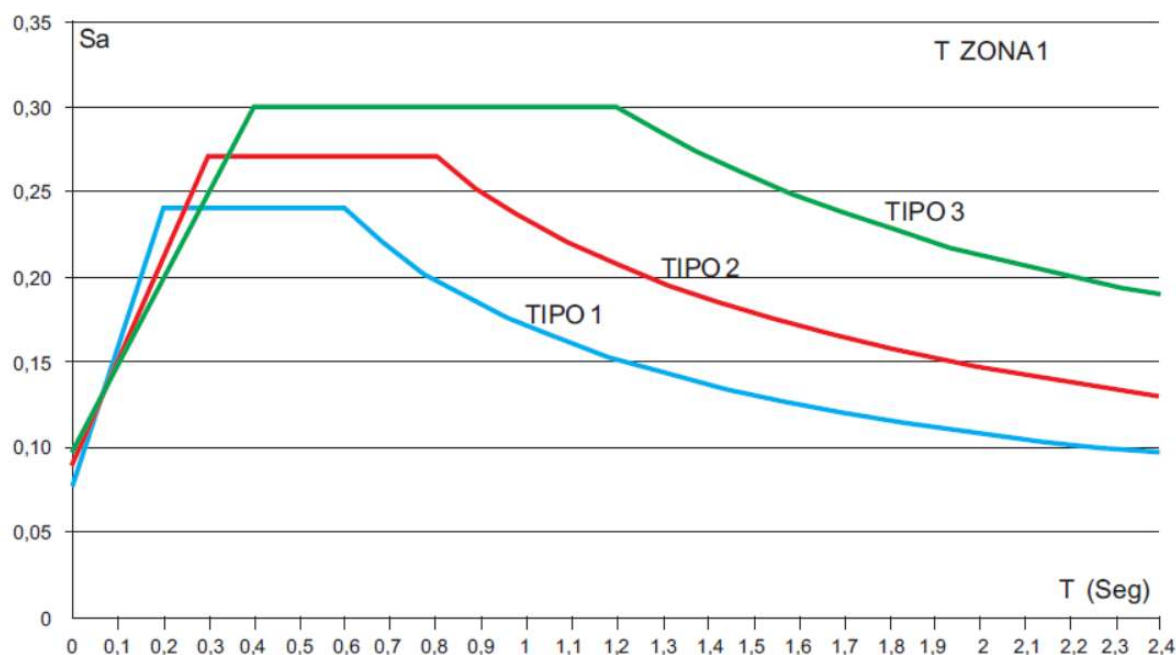
Identificada la zona sísmica y el tipo de suelo, podemos seleccionar la curva del espectro correspondiente, ingresar al grafico con el periodo de vibración (T) de nuestra estructura y leer el valor de pseudoaceleración (Sa) en el eje de ordenadas.



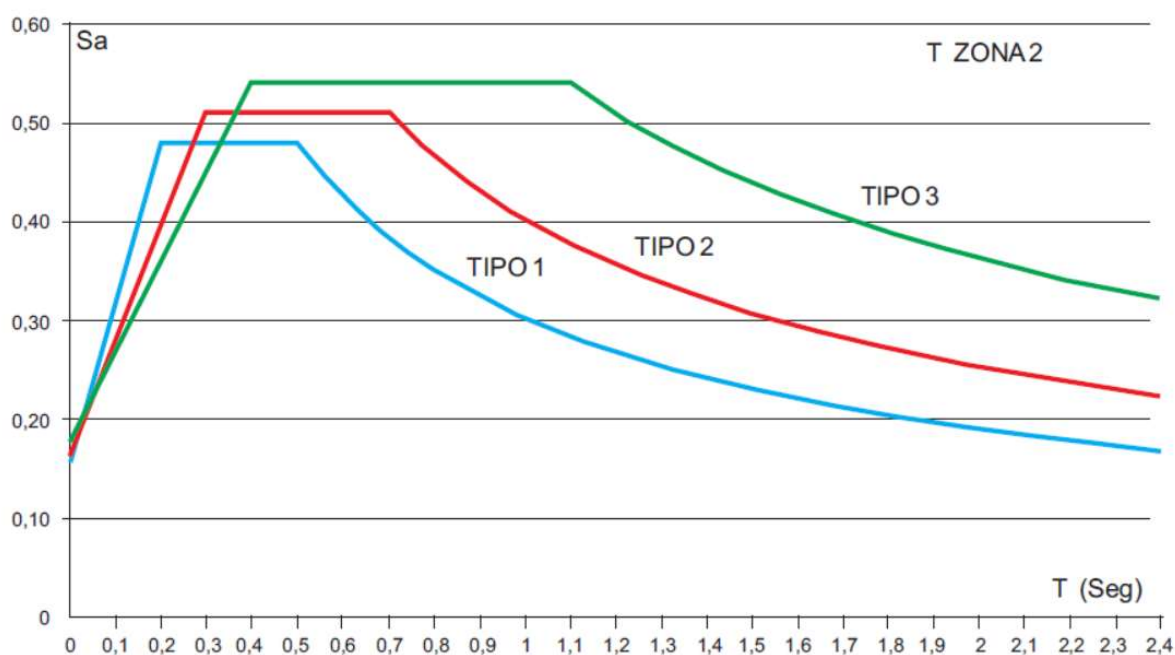
Para obtener el período de vibración (T) el reglamento acepta el uso de un valor aproximado que para construcciones generales de hormigón y mampostería puede obtenerse mediante la altura del edificio, con la expresión:

$$T = 0,0488 \cdot h^{0,75}$$

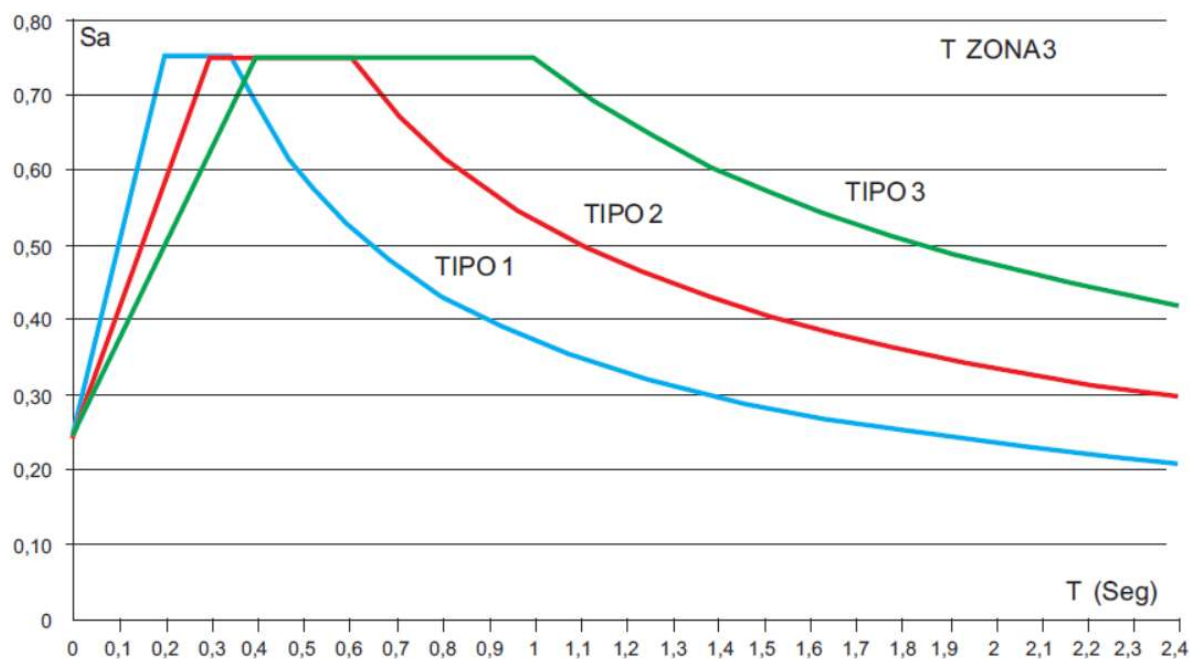
A continuación, se transcriben los espectros de respuesta elástica para cada zona sísmica según el INPRES-CIRSOC 103.



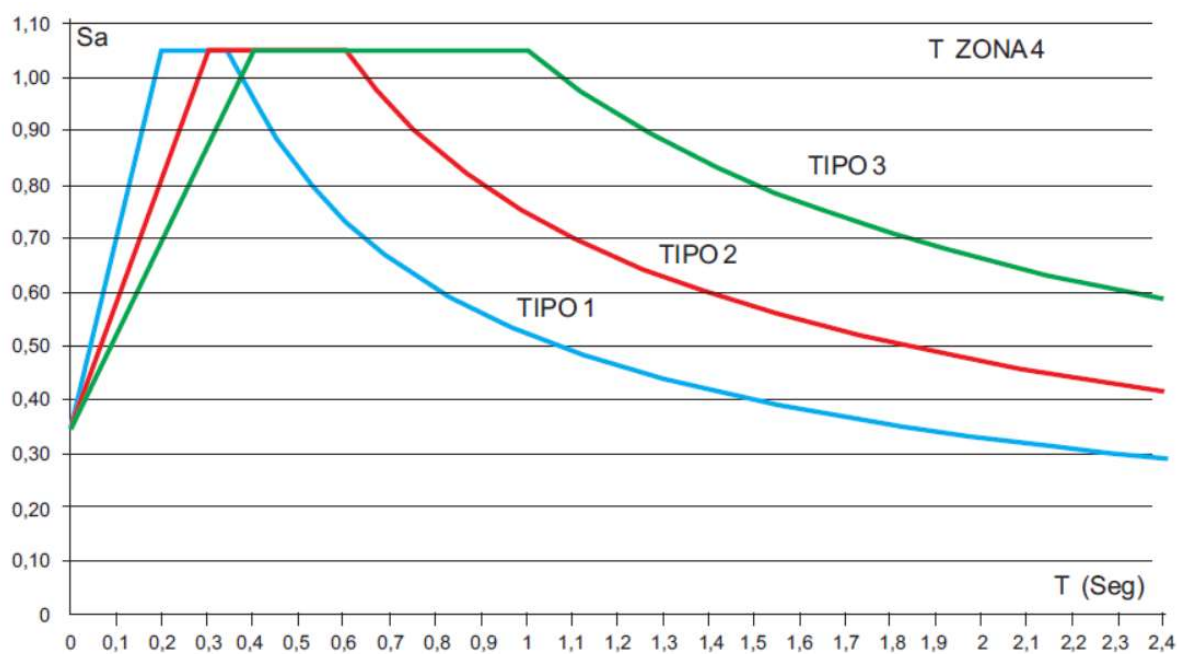
ZONA SÍSMICA 1



ZONA SÍSMICA 2



ZONA SÍSMICA 3



ZONA SÍSMICA 4

- **Coefficiente de reducción R según ductilidad**

El factor de reducción R toma en cuenta el comportamiento plástico de la construcción, y su incidencia en la reducción de las acciones sísmicas de diseño.

Dado que una estructura puede tener una configuración distinta para cada una de sus direcciones principales de análisis (X o Y), el factor R podrá diferir según la dirección en que se considere actuando la fuerza sísmica.

El reglamento INPRES-CIRSOC 103 considera los siguientes tipos estructurales, y le asigna un valor de R para cada uno de ellos. En el caso de que una estructura combine varios tipos, puede utilizarse un promedio ponderado.

<i>Mater.</i>	<i>N°</i>	<i>Tipo Estructural</i>	<i>R</i>	<i>C_d</i>	<i>Ω_o</i>
Estructuras de hormigón armado	1	Tabiques aislados y acoplados (a)	$R = (3A+5)/z$ $5/z \leq R \leq 7$	<i>R</i>	2,5
	2	Pórticos con ductilidad completa (b), (c)	7	5,5	3
	3	Sistema dual Pórtico-Tabique	6	5	2,5
	4	Estructuras con diagonales concéntricas (d)	4	4	2,5
	5	Estructuras rigidizadas con diagonales excéntricas	6	4	2,5
	6	Columnas en voladizo	2,5	2,5	1,5
	7	Estructura con ductilidad limitada (b)	3,5	3,5	2,5

Estructuras de mampostería	Ladrillos Cerámicos Macizos				
	8	Encadenada simple	3	2,3	2,5
	9	Encadenada armada	3,5	2,5	2,5
	10	Reforzada con armadura distribuida	4	3	2,5
	11	Sin encadenados	1,5	2	2
	Bloques Huecos Portantes Cerámicos				
	12	Encadenada simple	2	2,3	2,5
	13	Encadenada armada	2,5	2,5	2,5
	14	Reforzada con armadura distribuida	3	3	2,5
	Bloques Huecos Portantes de Hormigón				
	15	Encadenada simple	2,5	2,3	2,5
	16	Encadenada armada	3	2,5	2,5
	17	Reforzada con armadura distribuida	3,5	3	2,5

Estructuras de acero	Pórticos No Arriostrados				
	18	Especiales	7	5,5	3
	19	Intermedios	4,5	4	3
	20	Convencionales	3	3	3
	21	Con vigas reticuladas	6	5,5	3
	Pórticos Arriostrados				
	22	Especiales arriostrados concéntricamente	5	5,5	2
	23	Convencionales arriostrados concéntricamente	3	3	2
	24	Arriostrados excéntricamente	7	4	2
	Sistemas Duales. Pórticos No Arriostrados Especiales capaces de resistir al menos el 25% del corte basal, combinados con:				
	25	Pórticos especiales arriostrados concéntricamente	6	5,5	2,5
	26	Pórticos convencionales arriostrados concéntricamente	4	4	2,5
	27	Pórticos arriostrados excéntricamente	7	4	2,5
	Sistemas Duales. Pórticos No Arriostrados Intermedios capaces de resistir al menos el 25% del corte basal, combinados con:				
	28	Pórticos especiales arriostrados concéntricamente	5	5	2,5
29	Pórticos convencionales arriostrados concéntricamente	3,5	3	2,5	
30	Columnas en voladizo	2,5	2,5	1,5	
Estructuras de madera	31	Paneles	4	3	3
	32	Pórticos	3	3	2,5
	33	Estructuras con tornapuntas	3	3	2,5
	34	Columnas en voladizo	2,5	2,5	2,5
	Estructuras con uniones Viga-Columna No Resistentes a Momentos (e)				
	35	Pórticos con diagonales excéntricas	5	4	2,5
	36	Pórticos con diagonales concéntricas	4	5	2,5

- **Factor de riesgo**

A los fines de asignar un factor de riesgo a las construcciones, se realiza una clasificación en 4 grupos, según la trascendencia que puedan tener eventuales daños o colapsos de las mismas en caso de ocurrencia de sismos:

Grupo A₀: Construcciones, instalaciones y equipamientos que cumplen funciones esenciales o bien el colapso total o parcial podría producir efectos catastróficos sobre importantes sectores de la población. Deben mantenerse en funcionamiento luego de ocurrido un terremoto destructivo. Ej.: Depósitos de materiales peligrosos, aeropuertos, hospitales, centrales de policía, bomberos, centrales de energía y servicios sanitarios básicos.

Grupo A: Construcciones o instalaciones cuyo colapso tiene gran repercusión debido a la ocupación o el uso. Construcciones de gran valor o importancia pública o cuyo colapso pueda afectar a construcciones del grupo A₀. Construcciones de uso público de más de 300 m² y que permitan la presencia de más de 100 personas. Ej.: Hospitales, edificios de transporte y comunicaciones, sedes de gobierno, centros educativos, cines, teatros, museos, bibliotecas, estadios, templos y centros comerciales.

Grupo B: Viviendas individual o colectiva, hoteles, pequeños comercios e industrias, obras de infraestructura no incluidas en el grupo A.

Grupo C: Construcciones o instalaciones aisladas con ocupación inferior a 10 personas que no estén incluidas y que no afecten a edificaciones del grupo anterior. Ej.: Depósitos, casillas aisladas, establos, silos y tanques que no contengan materiales peligrosos, etc.

En el siguiente cuadro se asigna el valor del factor de riesgo para las construcciones de cada grupo. Puede observarse que los edificios de importancia (Grupos A y A₀) reciben un incremento en la fuerza sísmica, en los edificios de uso común (Grupo B) no se altera el valor de fuerza, y en los de poca ocupación o uso casual (Grupo C) se permite reducir la fuerza a aplicar un 20%.

Construcción	Factor de riesgo γ_r
Grupo A ₀	1,5
Grupo A	1,3
Grupo B	1
Grupo C	0,8

• Masa a considerar

El reglamento indica que se debe considerar la totalidad de las cargas permanentes (D), pero en el caso de las variables puede computarse sólo una parte, ya que se contempla la posibilidad de que no estén presentes en su totalidad al momento de ocurrir un sismo.

Es posible entonces reducir el valor de la carga de uso (L) o de nieve (S) multiplicándolas por un factor denominado “de simultaneidad”, indicado en las siguientes tablas:

Factor de simultaneidad para sobrecargas de uso:

Carga de ocupación o de uso (L)	f_1
La sobrecarga de servicio sólo actúa excepcionalmente, por ejemplo en techos o azoteas accesibles sólo con fines de mantenimiento.	0
La probabilidad de ocurrencia de la sobrecarga es reducida, por ejemplo locales donde no es frecuente la aglomeración de personas o cosas: edificios para vivienda, hoteles, oficinas, etc.	0,25
La probabilidad de ocurrencia de la sobrecarga es intermedia, por ejemplo locales en los que es frecuente la aglomeración de personas o cosas: edificios públicos, grandes tiendas, templos, cines, teatros, escuelas, hoteles, etc.	0,50
La probabilidad de ocurrencia de la sobrecarga total es elevada, por ejemplo: depósitos, edificios para archivos, etc.	0,75
Normalmente está presente la totalidad de la sobrecarga de servicio, por ejemplo: tanques, silos, depósitos destinados a estar llenos la mayor parte del tiempo, etc.	1,00
Verificación local de partes de la construcción, salvo que la sobrecarga sea equilibrante	1,00
Cocheras	(*)
Otros casos	0,20

Factor de simultaneidad para cargas de nieve:

Acción de la nieve (S) sólo en las zonas que especifica CIRSOC 104.	f_2
Cubiertas horizontales o que no permitan la evacuación de la nieve	0,70
Otros casos	0,20

De esta forma, la masa vibrante (W) de un nivel cualquiera de la construcción (i) puede obtenerse con:

$$W_i = D_i + f_1 \cdot L_i + f_2 \cdot S_i$$

Donde:

W – Masa vibrante

D – Cargas permanentes totales, incluyendo tanto elementos estructurales (losas, tabiques, columnas, vigas, etc.) como no estructurales (muros de mampostería no portante, equipamientos pesados, etc.).

f_1 – Factor de simultaneidad de cargas de uso

L_i – Carga de uso según CIRSOC 101

f_2 – Factor de simultaneidad de cargas de nieve

S_i – Carga de nieve según CIRSOC 104

El subíndice “i” indica el numero de nivel al que corresponde el valor de masa calculado.

En el caso de zonas donde no exista carga de nieve (CIRSOC 104), la expresión queda reducida a:

$$W_i = D_i + f_1 \cdot L_i$$

- **Distribución de fuerza en altura**

Calculado el valor de corte basal, necesitamos distribuirlo en altura para obtener el valor de la fuerza que corresponde a cada nivel. Como se vio anteriormente, la fuerza es igual al producto de la masa por la aceleración, y ésta última es mayor en los niveles mas altos de la estructura. Es por ello que el reglamento indica que la distribución debe hacerse de manera proporcional a la masa y la altura de cada nivel, con la siguiente expresión:

$$F_k = V_0 \cdot \frac{W_k \cdot h_k}{\sum W_i \cdot h_i}$$

Donde:

F_k – Es la fuerza del nivel k que se desea calcular

V_0 – Es el valor del corte basal

W_k – Es la masa vibrante del nivel k que se desea calcular

h_k – Es la altura en la que se ubica el nivel k, medida desde la fundación

$\sum W_i \cdot h_i$ – Es la sumatoria de los productos de las masas de cada nivel por su correspondiente altura desde la fundación

3.3.2 Verificación simplificada

Para el caso de edificios de los grupos B y C, cuya estructura se componga exclusivamente de muros (de hormigón o mampostería) conectados por un plano horizontal superior rígido, puede aplicarse un procedimiento simplificado siempre que se cumplan ciertas condiciones geométricas:

- Esbeltez $\frac{alt}{lado\ menor} \leq 2$
- Proporción de planta $\frac{lado\ mayor}{lado\ menor} \leq 2$
- Altura máxima de 7m y dos niveles
- Muros mínimos:

En una dirección, tener al menos 2 muros resistentes exteriores paralelos conectados al diafragma la mitad de su longitud como mínimo

En la otra dirección, tener al menos un muro conectado al diafragma en el 80% de su longitud, o dos muros conectados al diafragma la mitad de su longitud

Los muros mencionados deben ser continuos en toda la altura de la construcción, su longitud debe ser mayor a 1,5 su altura y estar ubicados a igual distancia del centro de masa de la planta.

En este método no es necesario el uso de espectros de respuesta, y la fuerza sísmica se obtiene a partir de un coeficiente sísmico normalizado C_n :

Zona Sísmica	C_n
1	0,23
2	0,38
3	0,44
4	0,50

$$V_0 = C_n \cdot \gamma_r \cdot W$$

Obtenida la fuerza, solo se exige comprobar que la capacidad resistente a corte de los muros sea mayor que el corte basal V_0

3.3.3 Métodos dinámicos

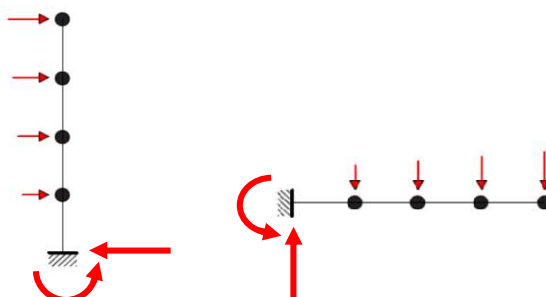
El reglamento CIRSOC admite el uso del análisis modal espectral, y el método de respuesta lineal en el tiempo (time history).

Para el análisis modal se utilizan los mismos espectros de respuesta para las 4 zonas sísmicas y 3 tipos de suelo utilizados en el método estático, y se indican las técnicas de superposición las respuestas de los principales modos de vibración.

El procedimiento de respuesta lineal en el tiempo debe hacerse con un mínimo de 3 acelerogramas que pueden ser de un registro real u obtenidos por simulación numérica, cumpliendo ciertos requisitos mínimos.

3.4 SOLICITACIONES GLOBALES

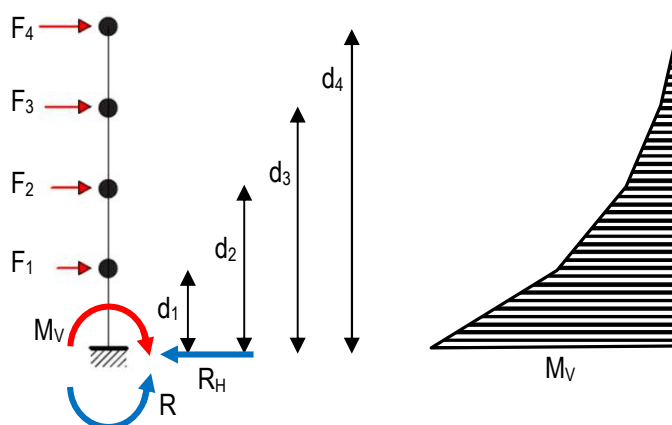
Considerando a la totalidad de la estructura como una ménsula empotrada en el suelo, las acciones sísmicas producen sobre ella un esfuerzo de corte y un momento flector, denominado comúnmente momento de vuelco, dado que este es el efecto que tiende a producir.



Una vez obtenido el valor de la fuerza y su distribución en altura, es posible calcular los valores de dichos esfuerzos, del mismo modo que con cualquier estructura isostática, como por ejemplo, un voladizo.

• Momento de vuelco

Es el valor de momento flector en la base del edificio. Para obtenerlo se suman los momentos que cada fuerza produce con respecto al apoyo, en donde debe haber un momento reactivo igual y de sentido contrario que mantenga el equilibrio. El diagrama de momentos, por tratarse de cargas puntuales, adquiere forma poligonal.

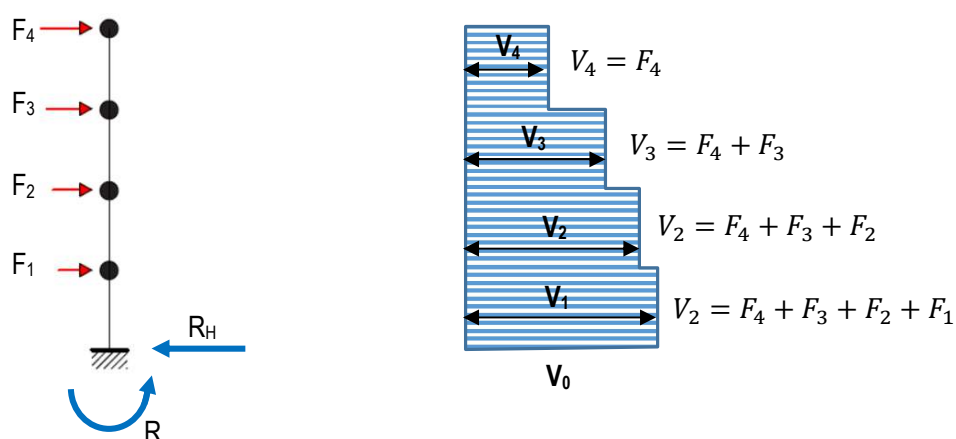


$$M_V = F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 + F_3 \cdot d_3 + F_4 \cdot d_4$$

• Esfuerzo de corte

El esfuerzo de corte acumulado de cada nivel se obtiene sumando la fuerza de dicho nivel mas la de todos los niveles superiores. El resultado total es el corte basal, y en el apoyo debe haber una reacción igual y de sentido contrario.

Al crecer en altura las fuerzas sísmicas, el diagrama de esfuerzo de corte tendrá "escalones" mas anchos en los pisos más altos.



$$V_0 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$