

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA - FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO			
<b>DNC</b> <b>TP3</b>	Cátedra: <b>ESTRUCTURAS - NIVEL 3 - PLAN VI - NIVEL 4 - PLAN V</b>		
	Taller: VERTICAL III - DELALOYE - NICO - CLIVIO		
	<b>Trabajo Práctico : Estructuras sismoresistentes</b>		
Curso 2016	Elaboró: JTP Ing. Angel Maydana	Revisión: Ing. Delaloye	Fecha: Abril 2016

Determinar la acción sísmica sobre la estructura de un edificio de 18 pisos y 2 subsuelos, por el método estático, de acuerdo al Reglamento CIRSOC 103.  
El edificio proyectado estará destinado a oficinas gubernamentales y estará ubicado en la ciudad de San Miguel de Tucumán, zona de peligrosidad sísmica grado 2.

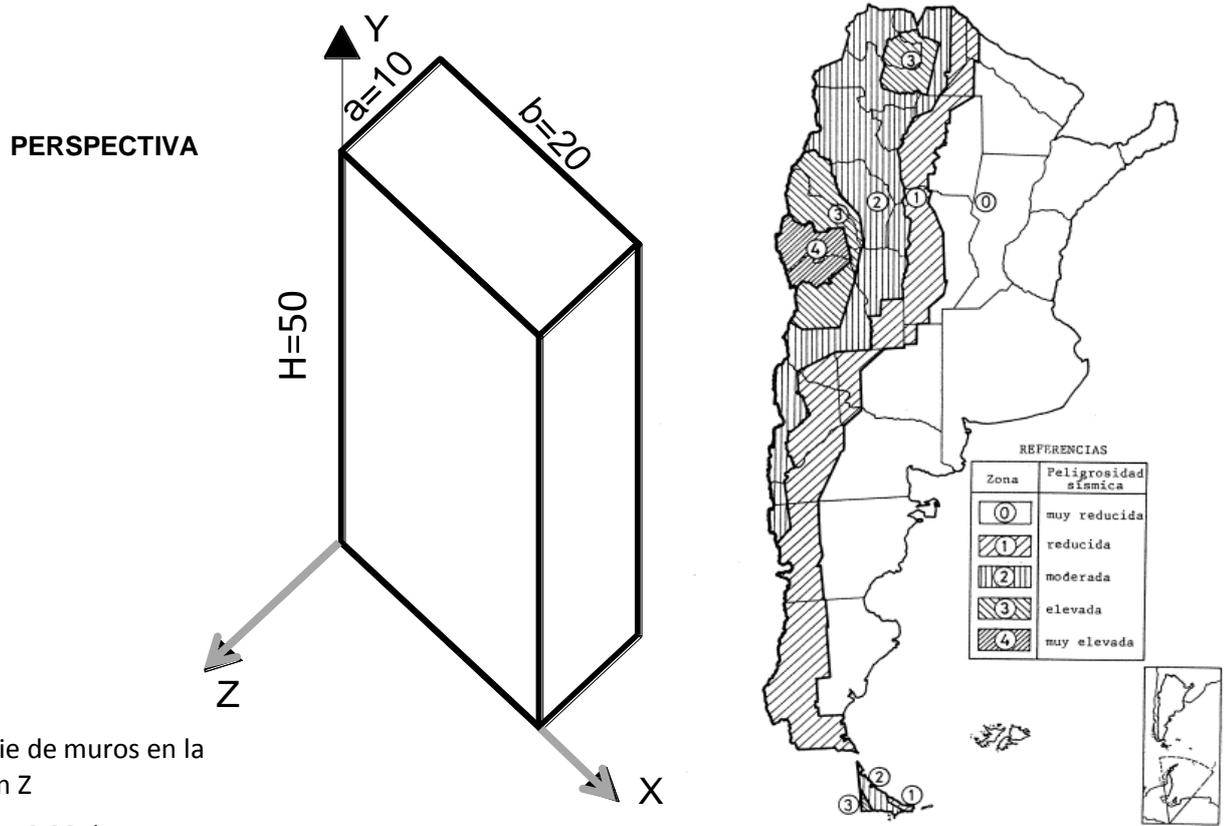


Figura 1. Zonificación sísmica en la República Argentina (ver Anexo II)

Superficie de muros en la dirección Z

4 muros x 0,20 de esp. x 10,00 m de largo = 8 m<sup>2</sup>

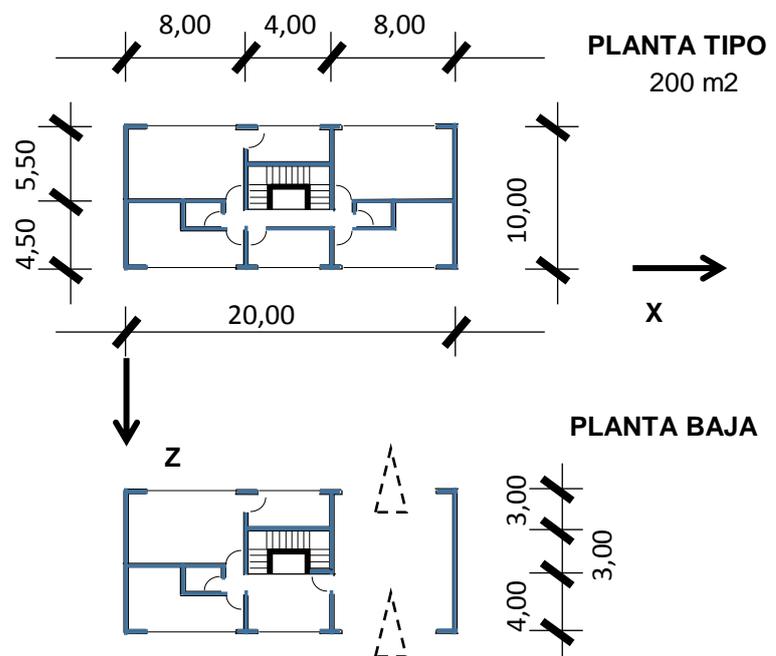
Superficie de muros en la dirección X

1 muro x 0,20 de esp. x 12,00 m de largo = 2,4 m<sup>2</sup>

Total de superficie de la planta: 10 x 20 = 200 m<sup>2</sup>

Densidad de muros en la dirección de Z  
dz = 8 / 200 = 0,04

Densidad de muros en la dirección de X  
dx = 2,4 / 200 = 0,012



**1er PASO**

Grado de riesgo sísmico

De la Figura 1 Zonificación sísmica de la República Argentina y en función de la ubicación geográfica de nuestro edificio, surge el grado de peligrosidad sísmica. En nuestro caso (edificio en San Miguel de Tucumán) corresponde grado 2

**2do PASO**

Agrupamiento de las construcciones según su destino y funciones.

Las construcciones se agrupan de acuerdo con sus funciones y con la trascendencia que puedan tener eventuales daños o colapsos de las mismas, en caso de ocurrencia de sismos.

**Grupo A<sub>0</sub>** : construcciones o instalaciones que cumplan funciones esenciales y que sus fallas producirían efectos catastróficos.

Centros militares y policiales. Hospitales. Centros de bomberos. Centrales de energía. Depósitos de vehículos operacionales. Depósitos de materiales radioactivos.

**Grupo A** : construcciones o instalaciones cuya falla causa graves consecuencias (gran densidad de ocupación, funciones importantes para la comunidad)

Sedes gubernamentales. Escuelas. Templos. Cines. Teatros. Museos. Hoteles.

**Grupo B** : construcciones o instalaciones cuyo colapso produciría pérdidas de magnitud intermedia.

Viviendas. Edificios comerciales.

**Grupo C** : construcciones o instalaciones cuyo colapso produciría pérdidas de muy baja magnitud.

Casillas. Establos. Graneros.

**Tabla 2. Valor del factor de riesgo correspondiente a cada grupo de construcciones.**

Construcción	Factor de riesgo $\gamma_d$
Grupo A <sub>0</sub>	1,4
Grupo A	1,3
Grupo B	1

Carga de sismo según el reglamento INPRES-CIRSOC 103  
(Método estático)

Lugar de la obra: San Miguel de Tucumán

Zona: 2

Peligrosidad sísmica moderada

Agrupamiento según destino y funciones

A

Oficinas gubernamentales

Factor de riesgo:  $\gamma_d = 1,3$

### 3er PASO

#### Clasificación de los suelos dinámicamente estables

Tabla 3. Clasificación de los suelos de fundación dinámicamente estables.

SUELO	IDENTIFICACIÓN		CARACTERÍSTICAS		
			Velocidad de propagación de ondas de corte	Prueba de penetración normalizada P.P.N.	Tensión admisible del suelo, $\sigma_{adm}$
			(m/s)	(n° de golpes)	(MN/m <sup>2</sup> )
Tipo I	Muy firmes y compactos	a) Rocas firmes y formaciones similares	$\geq 700$	---	$\sigma_{adm} \geq 2$
		b) Suelos rígidos sobre roca firme, con profundidad de manto mayor que 50 m (por ejemplo: gravas y arenas muy densas y compactas; suelos cohesivos muy duros con cohesión mayor que 0,2 MN/m <sup>2</sup> )	$< 700$ y $\geq 400$	$\geq 30$	$0,3 \leq \sigma_{adm} < 2$
Tipo II	Intermedios	a) Suelos rígidos con profundidad de manto mayor que 50 m (por ejemplo: gravas y arenas muy densas y compactas; suelos cohesivos muy duros con cohesión mayor que 0,2 MN/m <sup>2</sup> )	$< 700$ y 400	$\geq 30$	$0,3 \leq \sigma_{adm} < 2$
		b) Suelos de características intermedias con profundidad de manto mayor que 8 m (por ejemplo: suelos granulados medianamente densos; suelos cohesivos de consistencia dura con cohesión entre 0,07 y 0,2 MN/m <sup>2</sup> )	100 a 400	granulares $\geq 15$ y $< 30$ cohesivos $\geq 10$ y $< 15$	$0,1 \leq \sigma_{adm} < 0,3$
Tipo III	Blandos	Suelos granulares poco densos; suelos cohesivos blandos o semiduros (cohesión menor que 0,05 MN/m <sup>2</sup> ); suelos colapsibles	$< 100$	$< 10$	$\sigma_{adm} < 0,1$

Suponemos para nuestro caso un suelo tipo II (intermedios) con una tensión  $\sigma_{adm} > 1$  kg/cm<sup>2</sup>, granulares y con un valor de PPN entre 15 y 30.

PPN: Prueba de Penetración Normalizada o Ensayo Normal de Penetración (*Standard Penetration Test SPT*)

### 4to PASO

#### Período fundamental de vibración

El período fundamental de vibración se determinará considerando las propiedades de la estructura en la dirección que se examina.

Puede adoptarse fórmulas empíricas fundamentadas en análisis experimentales.



siendo:

$s_a$  la pseudoaceleración elástica expresada como fracción de la aceleración de la gravedad;

$a_s$  la ordenada al origen del espectro (aceleración máxima del suelo), expresada como fracción de la aceleración de la gravedad;

$b$  la ordenada del plafón del espectro o máxima pseudoaceleración, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad;

$T$  el período de vibración genérico, expresado en segundos;

$T_1$  el período correspondiente al comienzo del plafón, expresado en segundos;

$T_2$  el período de vibración correspondiente al fin del plafón, expresado en segundos.

Los valores de  $a_s$ ,  $b$ ,  $T_1$  y  $T_2$  son función de la zona sísmica y del tipo de suelo de fundación.

En la Tabla 4 se establecen los valores de  $a_s$ ,  $b$ ,  $T_1$  y  $T_2$  para las distintas zonas sísmicas y tipos de suelo de fundación.

**Tabla 4. Valores de  $a_s$ ,  $b$ ,  $T_1$  y  $T_2$  para las distintas zonas sísmicas y tipos de suelo de fundación.**

ZONA SÍSMICA	SUELO	$a_s$	$b$	$T_1$	$T_2$
4	Tipo I	0,35	1,05	0,20	0,35
	Tipo II	0,35	1,05	0,30	0,60
	Tipo III	0,35	1,05	0,40	1,00
3	Tipo I	0,25	0,75	0,20	0,35
	Tipo II	0,25	0,75	0,30	0,60
	Tipo III	0,25	0,75	0,40	1,00
2	Tipo I	0,16	0,48	0,20	0,50
	Tipo II	0,17	0,51	0,30	0,70
	Tipo III	0,18	0,54	0,40	1,10
1	Tipo I	0,08	0,24	0,20	0,60
	Tipo II	0,09	0,27	0,30	0,80
	Tipo III	0,10	0,30	0,40	1,20
0	Tipo I	0,04	0,12	0,10	1,20
	Tipo II	0,04	0,12	0,10	1,40
	Tipo III	0,04	0,12	0,10	1,60

Para nuestro caso: Zona sísmica: 2      Suelo tipo II       $a_s$ : 0,17  
 $b$ : 0,51  
 $T = 0,99 > 0,30 = T_1$        $T_1$ : 0,30  
 $T_2$ : 0,70

$s_a = a_s + (b - a_s) \cdot \frac{T}{T_1}$ para $T \leq T_1$ <b>Sa= no es este caso</b>	$s_a = b$ para $T_1 \leq T \leq T_2$ <b>Sa= no es este caso</b>	$s_a = b \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3}$ para $T \geq T_2$ <b>Sa= 0,405</b>
---	--	--

## 6to PASO

### Factor de reducción

La influencia que sobre la valoración de fuerzas sísmicas tiene la capacidad de disipación de energía mediante deformaciones anelásticas de la estructura, se determinará a través del factor R de reducción.

El factor R de reducción depende de la ductilidad global de la estructura y del período de vibración que se considere. Su valor se calculará con las expresiones siguientes:

$$R = 1 + (\mu - 1) \cdot \frac{T}{T_1} \quad \text{para } T \leq T_1$$

$$R = \mu \quad \text{para } T \geq T_1$$

siendo:

R un factor de reducción;

$\mu$  la ductilidad global de la estructura;

T el período de vibración genérico;

$T_1$  el período correspondiente al comienzo del plafón.

El valor del factor de reducción R podrá diferir en las dos direcciones ortogonales en que se analiza la estructura.

A continuación se indican los valores de la ductilidad global  $\mu$ , de acuerdo con la configuración de la estructura y sus materiales:

**Ductilidad global  $\mu = 6$**

- Pórticos de acero dúctil.
- Tabiques Sismorresistentes Acoplados de Hormigón Armado (1) diseñados con especiales condiciones de ductilidad.

**Ductilidad global  $\mu = 5$**

- Pórticos de hormigón Armado Sismorresistente (1) con o sin rigidización de mampostería.
- Pórticos de Hormigón Armado Sismorresistente (1) asociados con Tabiques Sismorresistentes de Hormigón Armado (1), donde los pórticos absorben, en promedio, por lo menos el 30% del esfuerzo de corte provocado por las acciones sísmicas.

**Ductilidad global  $\mu = 4$**

- Pórticos de Acero Convencional.
- Sistemas de Tabiques Sismorresistentes de Hormigón Armado (1) asociados entre sí por vigas que permitan su funcionamiento en conjunto.

**Ductilidad Global  $\mu = 3,5$**

- Sistemas Pórticos - Tabiques o Tabiques Sismorresistentes de Hormigón Armado (1) que no verifiquen las condiciones anteriores.
- Muros de Mampostería (2) Armada y Encadenada de ladrillos macizos.
- Muros de Mampostería (2) Reforzada con Armadura Distribuida.

**Ductilidad global  $\mu = 3$**

- Muros de Mampostería (2) Encadenada de ladrillos Macizos.
- Estructuras tipo Péndulo Invertido con especiales detalles de diseño del soporte y unión.

**Ductilidad global  $\mu = 2$** 

- Muros de Mampostería (2) Encadenada de ladrillos huecos o bloques.
- Estructuras tipo Péndulo Invertido que no cumplan las condiciones anteriores.
- Estructuras colgantes.
- Columnas de Hormigón Armado (1) que en la dirección analizada no presentan vinculaciones.

**Ductilidad global  $\mu = 1$** 

- Estructuras en las que se requiera comportamiento elástico ante sismos destructivos.

(1) Las condiciones a cumplir en la verificación, dimensionamiento, detalles y construcción de estructuras de Hormigón Armado Sismorresistente, están contenidas en la parte II, "Construcciones de Hormigón Armado y Pretensado".

(2) Las condiciones a cumplir en la verificación, dimensionamiento, detalles y construcción de estructuras de Mampostería, están contenidas en la PARTE III, "Construcciones de Mampostería".

Consideramos nuestro caso como ductilidad global 5 (Pórticos de hormigón armado)

$$\begin{aligned} T &= 0,99 & \mu &= 5 \\ T_1 &= 0,30 \end{aligned}$$

$$R = 1 + (\mu - 1) \frac{T}{T_1} \quad \text{para } T \leq T_1 \quad R = \text{no es este caso}$$

$$R = \mu \quad \text{para } T \geq T_1 \quad R = 5,00$$

siendo:

- R un factor de reducción;
- $\mu$  la ductilidad global de la estructura;
- T el período de vibración genérico;
- $T_1$  el período correspondiente al comienzo del plafón.

**7mo PASO****Coficiente sísmico de diseño**

El coeficiente sísmico de diseño se determinará con los espectros de diseño, mediante la siguiente expresión:

siendo:

C: el coeficiente sísmico de diseño

Sa: la pseudoaceleración elástica horizontal

$\gamma_d$ : el factor de riesgo

R: el factor de reducción por disipación de energía

$$C = \frac{S_a \times \gamma_d}{R}$$

$$S_a = 0,405 \quad \text{Ver 5to paso}$$

$$\text{Factor de riesgo: } \gamma_d = 1,3 \quad \text{Ver 2do paso}$$

$$R = 5,00 \quad \text{Ver 6to paso}$$

$$\text{Coeficiente sísmico de diseño: } C = 0,105$$

**8vo PASO****Cargas laterales equivalentes**

Fuerza resultante de corte en la base de la construcción

$$V_0 = C \times \sum W_i$$

C: coeficiente sísmico de diseño

$$C = 0,105$$

Wi: carga gravitatoria a nivel i

$$W_i = G_i + \eta \times L_i$$

Gi : carga gravitatoria permanente (peso propio + equipos + instalaciones + maquinarias, etc.)

Li : sobrecargas de servicio

 $\eta$  : Factor de simultaneidad**Tabla 6.** Valores mínimos del factor de simultaneidad y presencia de sobrecargas de servicio.

CONDICIONES	$\eta$
La presencia de sobrecargas de servicio constituye una circunstancia excepcional. Por ejemplo en: azoteas, techos y cubiertas inaccesibles, salvo con fines de mantenimiento.	0
Es reducida la probabilidad de presencia de la totalidad de la sobrecarga de servicio. Por ejemplo en locales donde no es frecuente alta densidad ocupacional de personas o aglomeración de cosas: edificios de habitación, oficinas, hoteles, etc.	0,25
Resulta intermedia la probabilidad de presencia de la totalidad de la sobrecarga de servicio. Por ejemplo en locales con frecuente alta densidad ocupacional de personas o aglomeración de cosas: escuelas, templos, cines, teatros, edificios públicos, etc.	0,50
Sobrecarga de nieve y de hielo. Se considerará en los lugares indicados en el Reglamento CIRSOC 104 "Acción de la nieve y del hielo sobre las construcciones".	0,50
Es elevada la probabilidad de presencia de la totalidad de la sobrecarga de servicio. Por ejemplo en: depósitos de mercaderías, edificios de cocheras, archivos, etc.	0,75
La sobrecarga de servicio está normalmente presente en su totalidad. Por ejemplo en: depósitos de líquidos, tanques, silos, etc.	1
Para la verificación local de partes críticas de la estructura en que la sobrecarga de servicio resulta de importancia. Por ejemplo en: voladizos, balcones, etc.	1

En nuestro caso (Oficinas gubernamentales)

$$\eta = 0,5$$

En nuestro caso (Cocheras)

$$\eta = 0,75$$

Sobrecarga de uso s/CIRSOC 101 - Terrazas

$$L_i = 100 \text{ kg/m}^2$$

Sobrecarga de uso s/CIRSOC 101 - Oficinas

$$L_i = 400 \text{ kg/m}^2$$

Sobrecarga de uso s/CIRSOC 101 - Cocheras

$$L_i = 250 \text{ kg/m}^2$$

Cargas permanentes: valor promedio de peso propio

$$G_i = 800 \text{ kg/m}^2$$

Superficie por plantas: 200 m<sup>2</sup> (ver hoja N°1)

$$W_i = (G_i + \eta \times L_i) \times \text{Sup}$$

$$\text{Terraza: } W_i = (800 + 0,5 \times 100) \times 200 = 170.000 \text{ kg} = 170,0 \text{ t}$$

$$\text{Oficinas: } W_i = (800 + 0,5 \times 400) \times 200 = 200.000 \text{ kg} = 200,0 \text{ t}$$

$$\text{Cocheras: } W_i = (800 + 0,75 \times 250) \times 200 = 197.500 \text{ kg} = 197,5 \text{ t}$$

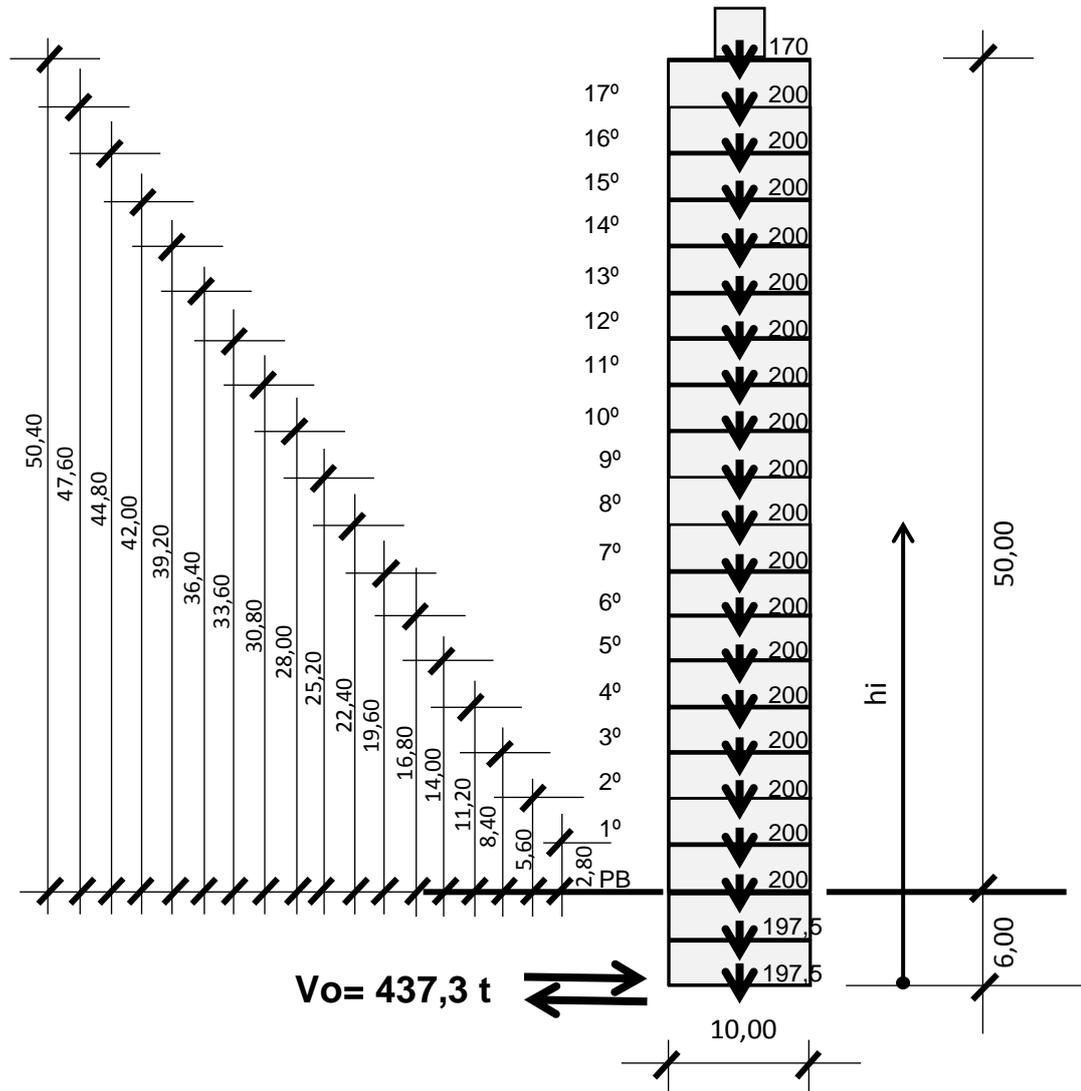
Fuerza resultante de corte en la base de la construcción

Pisos: 18

Cocheras: 2

$$V_0 = C \times \sum W_i \quad V_0 = 0,105 (200,0 \times 18 + 197,5 \times 2 + 170,0) = 437,3 \text{ t}$$

$$N_{\text{total}} = 4165 \text{ t}$$



Y la fuerza sísmica lateral  $F_k$ , asociada a la carga gravitatoria  $W_k$ , ubicada a nivel  $k$ , se determinará mediante la siguiente fórmula:

siendo:

$F_k$ : la fuerza sísmica lateral en el nivel  $k$

$W_i; W_k$ : las cargas gravitatorias supuestas en  $i$  ó  $k$

$h_i; h_k$ : las alturas de los niveles  $i$  ó  $k$  desde nivel 0

$V_o$ : el esfuerzo de corte en la base de la construcción

$$F_k = \frac{W_k \times h_k}{\sum W_i \times h_i} \times V_o$$

El peso total del edificio se obtendrá sumando la carga de cada uno de los pisos, sin considerar la sobrecarga (caso más desfavorable para estabilizarlo).

Total de pisos: 1 terraza + 18 pisos + 2 subsuelos = 21 pisos de 200 m<sup>2</sup>

Peso propio considerado: 800 kg/ m<sup>2</sup>

Peso total  $N_{total} = 800 \times 200 \times 21 = 3360000 = 3360 \text{ t}$

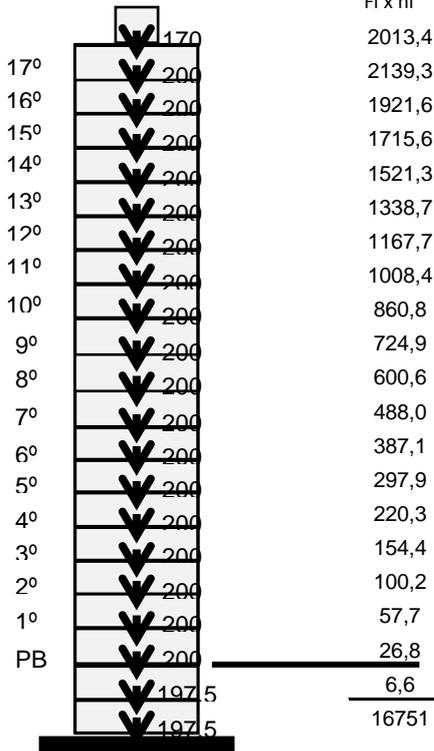
Fk= Fuerza sísmica lateral

Mv = momento de vuelco

$$F_k = \frac{W_k \times h_k}{\sum W_i \times h_i} \times V_o$$

$$M_v = 0,9 \times \sum F_i \times h_i$$

	Wi	hi	Wi x hi	Fk		Fi x hi
Terraza	170	56,40	9588	35,7		2013,4
17°	200	53,60	10720	39,9	17°	2139,3
16°	200	50,80	10160	37,8	16°	1921,6
15°	200	48,00	9600	35,7	15°	1715,6
14°	200	45,20	9040	33,7	14°	1521,3
13°	200	42,40	8480	31,6	13°	1338,7
12°	200	39,60	7920	29,5	12°	1167,7
11°	200	36,80	7360	27,4	11°	1008,4
10°	200	34,00	6800	25,3	10°	860,8
9°	200	31,20	6240	23,2	9°	724,9
8°	200	28,4	5680	21,1	8°	600,6
7°	200	25,6	5120	19,1	7°	488,0
6°	200	22,8	4560	17,0	6°	387,1
5°	200	20,0	4000	14,9	5°	297,9
4°	200	17,2	3440	12,8	4°	220,3
3°	200	14,4	2880	10,7	3°	154,4
2°	200	11,6	2320	8,6	2°	100,2
1°	200	8,8	1760	6,6	1°	57,7
PB	200	6,0	1200	4,5	PB	26,8
SS	197,5	3,0	593	2,2		6,6
	<u>3968</u>		<u>117461</u>			<u>16751</u>



$$\sum W_i \times h_i = 117461 \quad V_o = 437,3 \text{ t}$$

$$M_v = 0,9 \times \sum F_i \times h_i = 15076 \text{ tm}$$

$$M_E = N_{\text{total}} \times d = 3360 \times 5,00 = 16800 \text{ tm}$$

$$M_E / M_v = 1,11$$

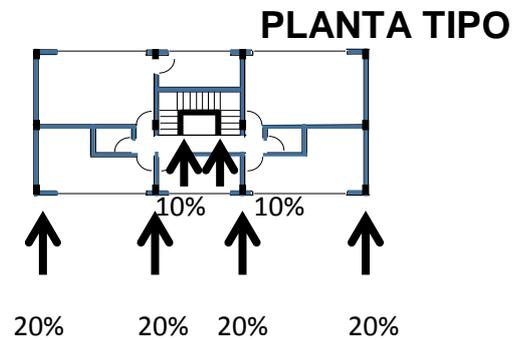
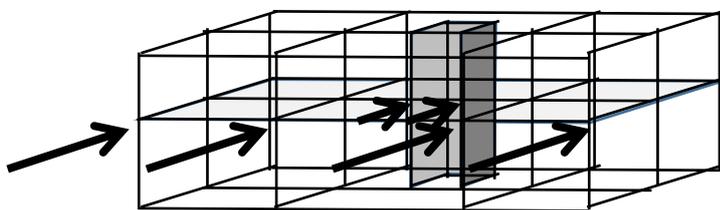
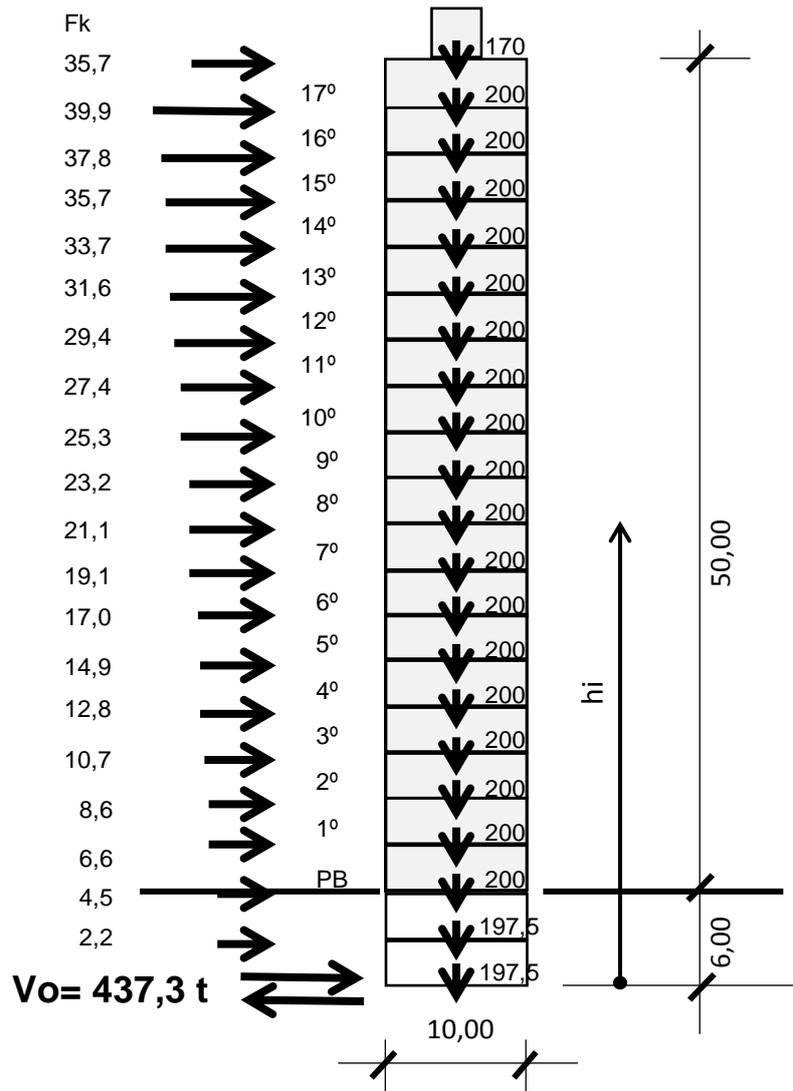
La seguridad al volcamiento debe ser al menos 1,5 veces el momento estabilizador ( $M_E$ ) respecto al momento volcante ( $M_v$ ). En este caso, esta relación está en 1,11

Deberá aumentarse el peso de la estructura a efectos de cumplimentar con esta condición.

Otra forma de darle estabilidad al edificio sería aumentar la superficie de fundación. Si en vez de 10 m de platea, en coincidencia con las dimensiones del edificio, la podemos llevar a 13,50 m, d sería de 6,75 m en vez de 5,00 m.

$$M_E = N_{\text{total}} \times d = 3360 \times 6,75 = 22680 \text{ tm}$$

$$M_E / M_v = 22680 / 15076 = 1,5$$



En cada nivel, la fuerza  $F_x$  se distribuirá en proporción a las rigideces que ofrezcan los porticos y los tabiques, contituyendo el conjunto estructural que resistirá las cargas horizontales producidas por el sismo.

### RESUMEN

Hay que determinar las fuerzas Fk en cada nivel de la estructura.

$$F_k = \frac{W_k \times h_k}{\sum W_i \times h_i} \times V_o \quad F_k = \text{Fuerza sísmica lateral}$$

siendo:

Fk: la fuerza sísmica lateral en el nivel k

Wi;Wk: las cargas gravitatorias supuestas en i ó k

hi;hk: las alturas de los niveles i ó k desde nivel 0

Vo: el esfuerzo de corte en la base de la construcción

Necesitamos determinar el peso de la construcción y sus sobrecargas

$$W_i = G_i + \eta \times L_i$$

Gi : carga gravitatoria permanente (peso propio + equipos + instalaciones + maquinarias, etc.

Li : sobrecargas de servicio

η : Factor de simultaneidad

$$V_o = C \times \sum W_i$$

Vo: Fuerza resultante de corte en la base de la construcción

C: coeficiente sísmico de diseño

$$C = \frac{S_a \times \gamma_d}{R}$$

siendo:

C: el coeficiente sísmico de diseño

Sa: la pseudoaceleración elástica horizontal

γd: el factor de riesgo Ver 2do paso

R: el factor de reducción por disipación de energía Ver 6to paso

Las ordenadas Sa del espectro elástico de diseño para acciones horizontales se determinan mediante las siguientes expresiones: Ver 5to paso

$$s_a = a_s + (b - a_s) \cdot \frac{T}{T_1} \quad \text{para } T \leq T_1, \quad s_a = b \quad \text{para } T_1 \leq T \leq T_2, \quad s_a = b \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \quad \text{para } T \geq T_2$$

Tabla 4. Valores de a, b, T1 y T2 para las distintas zonas sísmicas y tipos de suelo de fundación.

ZONA SÍSMICA	SUELO	as	b	T1	T2
--------------	-------	----	---	----	----

T<sub>oe</sub>: el período fundamental del edificio en la dirección analizada, expresado en segundos

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

h<sub>n</sub>: 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.

Agrupamiento de las construcciones según su destino y funciones.

Tabla 2. Valor del factor de riesgo correspondiente a cada grupo de construcciones.

Construcción	Factor de riesgo γ <sub>d</sub>
Grupo A <sub>0</sub>	1,4
Grupo A	1,3
Grupo B	1

Grado de riesgo sísmico

De la Figura 1 Zonificación sísmica de la República Argentina y en función de la ubicación geográfica de nuestro edificio, surge el grado de peligrosidad sísmica.