

# Modelo sísmico

Proyecto de Hormigón Armado - Entrega N°4

Integrantes: Mauricio Leal V.  
Pablo Pizarro R.  
Ignacio Yáñez G.  
Profesor: Juan Mendoza V.  
Auxiliar: Felipe Andrade T.

Fecha de entrega: 07 de Noviembre de 2018  
Santiago, Chile

# Índice de Contenidos

<b>1. Información General del Edificio</b>	<b>1</b>
<b>2. Parámetros de Diseño</b>	<b>2</b>
2.1. Espectro de diseño NCh 433 . . . . .	2
2.2. Estructuración . . . . .	2
2.3. Materiales . . . . .	4
<b>3. Resultados del Análisis Estructural</b>	<b>6</b>
3.1. Cálculo factor corrección $R^*$ . . . . .	6
3.2. Resultados valores por dirección x/y . . . . .	7
3.3. Tablas de resultados . . . . .	8
3.3.1. Periodos y participación de masas . . . . .	8
3.3.2. Cortes basales . . . . .	10
<b>4. Cortes Basales y Control de Deformaciones</b>	<b>11</b>
4.1. Cortes basales . . . . .	11
4.2. Control de deformaciones . . . . .	12
4.3. Gráficos de respuesta . . . . .	16
4.3.1. Corte por piso . . . . .	16
4.3.2. Momento volcante . . . . .	16
4.3.3. Desplazamiento entre piso . . . . .	17
4.3.4. Drift entre piso . . . . .	17
<b>5. Indicadores de Rigidez y Acoplamiento</b>	<b>18</b>
5.1. Indicador de Rigidez . . . . .	18
5.2. Indicador de Acoplamiento . . . . .	18
<b>6. Comentarios y Conclusiones</b>	<b>19</b>

## Lista de Figuras

2.1. Espectro elástico. . . . .	2
3.1. Factores de mayoración del espectro en ETABS. . . . .	6
4.1. Cortes por piso. . . . .	16
4.2. Momento volcante por piso. . . . .	16
4.3. Desplazamiento entre piso. . . . .	17
4.4. Drift entre piso. . . . .	17
6.1. Periodos de los primeros periodos junto al espectro de aceleraciones reducido. . . . .	19

## Lista de Tablas

1.1.	Información general del edificio. . . . .	1
1.2.	Períodos fundamentales. . . . .	1
2.1.	Parámetros de diseño sísmico dado la estructuración. . . . .	3
2.2.	Densidad de muros. . . . .	3
2.3.	Definición del tipo de hormigón para cada piso. . . . .	4
2.4.	Tensiones admisibles y características de hormigones a utilizar. . . . .	5
2.5.	Tensiones admisibles y características del acero a utilizar. . . . .	5
3.1.	Factores de corrección $R^*$ . . . . .	6
3.2.	Valores por dirección X del sismo. . . . .	7
3.3.	Valores por dirección Y del sismo. . . . .	7
3.4.	Períodos y participación de masas. . . . .	8
3.5.	Cortes basales. . . . .	10
4.1.	Cortes basales máximo y mínimo. . . . .	11
4.2.	Cortes basales efectivos. . . . .	11
4.3.	Verificación de drifts utilizando centro de masa, sismo y desplazamiento en eje X. .	12
4.4.	Verificación de drifts utilizando centro de masa, sismo y desplazamiento en eje Y. .	13
4.5.	Verificación de drifts utilizando deformaciones máximas y sismo en eje X. . . . .	14
4.6.	Verificación de drifts utilizando deformaciones máximas y sismo en eje Y. . . . .	15
5.1.	Verificación de rigidez del edificio. . . . .	18
5.2.	Indicadores de acoplamiento. . . . .	18

# 1. Información General del Edificio

A continuación se presentan los principales parámetros usados para el análisis sísmico del edificio:

Tabla 1.1: Información general del edificio.

Zona	Suelo	Masa [tonf]	Peso Sísmico [Tonf]
3	A	11434,2	11763,3

Tabla 1.2: Períodos fundamentales.

Modo	Tipo	Período (s)	% De masa	$S_{amax}[cm/s^2]$
1	Torsión z	1,345	45,52 %	-
2	Traslación x	1,112	55,52 %	2,17
3	Traslación y	0,744	56,05 %	3,22

## 2. Parámetros de Diseño

### 2.1. Espectro de diseño NCh 433

El espectro de diseño elástico se construyó a partir de los datos del suelo (tipo A), de la ubicación del edificio (Antofagasta, zona sísmica 3) y del uso (Residencial, categoría II).

La Figura 2.1 ilustra el espectro elástico utilizado.

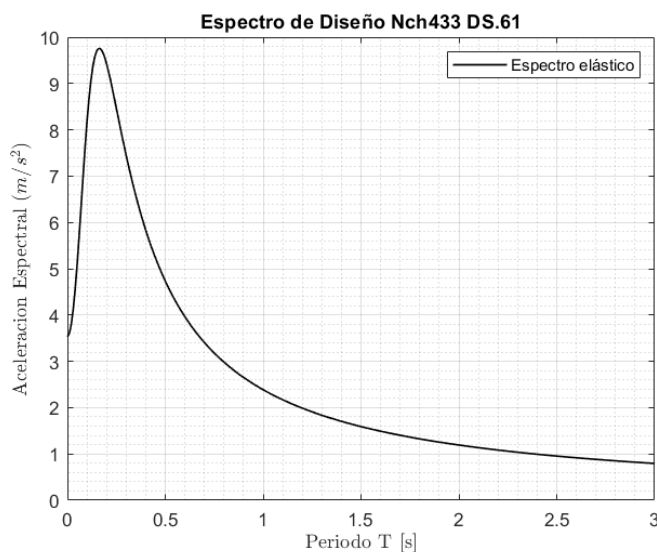


Figura 2.1: Espectro elástico.

Dado que el suelo de fundación de la estructura es de buena calidad (roca, tipo A) se puede considerar que no existe un contraste de impedancias alto con la roca basal, ello implica que el factor de amplificación del desplazamiento en superficie es similar a 1. Así, el espectro funciona como una envolvente de pseudoaceleraciones de los posibles sismos.

### 2.2. Estructuración

El tipo de estructuración es del tipo muro y losa de Hormigón Armado (H.A.); En este sentido el muro tiene la función de transmitir cargas tipo gravitacionales (compresión) a las fundaciones y resistir cargas cortantes, tracciones y compresiones por flexión en caso de un sismo. Las losas por otra parte tributan las cargas al sistema de muros.

De acuerdo a lo estipulado en la NCh433 Tabla 5.1 y Tabla 6.1 se tienen los siguientes parámetros de modificación de acuerdo al tipo de estructuración, en donde  $R$  y  $R_o$  corresponden a factores de reducción e  $I$  es el nivel de importancia de la estructura.

Tabla 2.1: Parámetros de diseño sísmico dado la estructuración.

Parámetro	Valor
R	7
$R_o$	11
I	1

El espesor de muros se calculó en base a una resistencia de corte admisible promedio de  $\tau=7 \text{ kgf/cm}^2$ , corregida por efectos de deformación sísmica considerando el espectro elástico; en la Tabla 2.2 se detalla la densidad de muros obtenida en cada eje.

Tabla 2.2: Densidad de muros.

N° piso	ex [m]	ey [m]	Densidad muro x	Densidad muro y
23	0.2	0.2	0.028	0.030
22	0.2	0.2	0.028	0.030
21	0.2	0.2	0.028	0.030
20	0.2	0.2	0.028	0.030
19	0.2	0.2	0.028	0.030
18	0.2	0.2	0.028	0.030
17	0.2	0.2	0.028	0.030
16	0.2	0.2	0.028	0.030
15	0.2	0.2	0.028	0.030
14	0.2	0.2	0.034	0.037
13	0.25	0.25	0.034	0.037
12	0.25	0.25	0.034	0.037
11	0.25	0.25	0.034	0.037
10	0.25	0.25	0.034	0.037
9	0.25	0.25	0.034	0.037
8	0.25	0.25	0.034	0.037
7	0.25	0.25	0.034	0.037
6	0.25	0.25	0.034	0.037
5	0.25	0.25	0.034	0.037
4	0.25	0.25	0.034	0.037
3	0.25	0.25	0.037	0.037
2	0.25	0.25	0.041	0.038
1	0.25	0.3	0.043	0.041
-1	0.25	0.3	0.029	0.027

En los últimos años la densidad de muros se ha concentrado entre 0.02 y 0.035, obteniendo un buen desempeño en la estructura, por tanto, como se puede observar en la tabla anterior, en todos los pisos se obtuvo una densidad de muros superior al 0.02 y muy cercana a los 0.035 sugeridos.

## 2.3. Materiales

### ■ Hormigón

Se hará uso de tres tipos de hormigones para el edificio, H-20, H-30 y H-35. Esto se eligió en base a un requerimiento mínimo de resistencia a fuerzas axiales (peso), considerando la siguiente relación:

$$N_u \geq 0,35 \cdot f'_c \cdot A_g$$

En donde  $N_u$  corresponde a la resistencia última a compresión,  $f'_c$  la resistencia a compresión del hormigón y  $A_g$  el área gruesa de la sección de muros resistente. Dado lo anterior se construyó la Tabla 2.3 para verificar el tipo de hormigón. En promedio se obtuvo un 70 % de factor de utilización.

Tabla 2.3: Definición del tipo de hormigón para cada piso.

Nº piso	Peso	Peso acum	$f'_c$	$N_u$	$N_u$
23	530.45	530.45	20	4760.3	11 %
22	435.97	966.41	20	4760.3	20 %
21	435.97	1402.38	20	4760.3	29 %
20	435.97	1838.35	20	4760.3	39 %
19	435.97	2274.31	20	4760.3	48 %
18	435.97	2710.28	20	4760.3	57 %
17	435.97	3146.25	20	4760.3	66 %
16	435.97	3582.21	20	4760.3	75 %
15	435.97	4018.18	20	4760.3	84 %
14	452.51	4470.69	20	4760.3	94 %
13	469.05	4939.74	30	8925.5	55 %
12	469.05	5408.79	30	8925.5	61 %
11	469.05	5877.84	30	8925.5	66 %
10	469.05	6346.89	30	8925.5	71 %
9	469.05	6815.94	30	8925.5	76 %
8	469.05	7284.99	30	8925.5	82 %
7	469.05	7754.04	35	10413.1	74 %
6	469.05	8223.09	35	10413.1	79 %
5	469.05	8692.14	35	10413.1	83 %
4	469.05	9161.19	35	10413.1	88 %
3	471.81	9633.00	35	10413.1	93 %
2	480.38	10113.38	35	10765.9	94 %
1	475.35	10588.73	35	11569.5	92 %
-1	670.51	11259.24	35	12491.0	90 %

Tabla 2.4: Tensiones admisibles y características de hormigones a utilizar.

Grado	$\rho$ [tonf/m <sup>3</sup> ]	$f'c$ [Mpa]	$E$ [Mpa]	$\nu$ [—]	$G$ [Mpa]
H20	2.5	20	21019.04	0.2	8757.93
H30	2.5	30	25742.96	0.2	10726.23
H35	2.5	35	27805.57	0.2	11585.66

#### ■ Acero

Se considera un acero ASTM-A36 como acero estructural y de refuerzo, el cual posee las siguientes características:

Tabla 2.5: Tensiones admisibles y características del acero a utilizar.

Grado	$F_y$ [tonf/cm <sup>2</sup> ]	$F_u$ [tonf/cm <sup>2</sup> ]	$E$ [tonf/cm <sup>2</sup> ]	$\nu$ [—]	$G$ [tonf/cm <sup>2</sup> ]
A36	2,53	4,08	2100	0,29	787,44



### 3. Resultados del Análisis Estructural

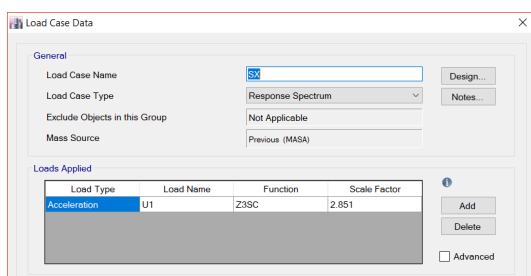
#### 3.1. Cálculo factor corrección $R^*$

Al calcular los períodos fundamentales de la estructura en los ejes traslacionales  $x$  e  $y$  se obtuvo los factores de reducción  $R^*_{x}$  y  $R^*_{y}$  del pseudo-espectro de aceleración mostrados en la Tabla 3.1. Posteriormente al obtener el corte basal en ambos ejes se calcularon los factores  $f_x$  e  $f_y$  para mayorar los  $R^*$  de cada eje.

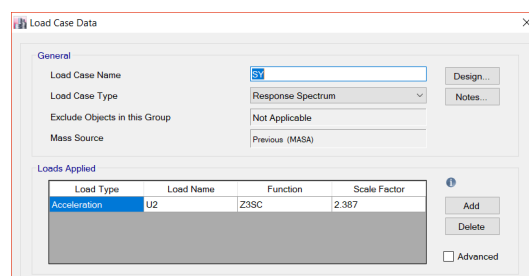
Tabla 3.1: Factores de corrección  $R^*$ .

Eje	$R^*$	$1/R^*$ [g] (scale factor)	$f$	$R^*$ mayorado
x	10.579	0.927	3.076	2.851
y	10.003	0.980	2.435	2.387

Los factores  $R^*$  mayorados fueron usados para definir los casos sísmicos en ETABS.



(a) Sismo en x.



(b) Sismo en y.

Figura 3.1: Factores de mayoración del espectro en ETABS.

### 3.2. Resultados valores por dirección x/y

A partir del método modal espectral se obtuvieron los siguientes valores por cada eje X e Y :

Tabla 3.2: Valores por dirección X del sismo.

Sismo X	Valor	Unidad
Peso sísmico	11434.22	[Tonf]
Corte Basal Mínimo	705.80	[Tonf]
Corte Basal Máximo	1482.18	[Tonf]
Período Predominante	1.112	[s]
$R^*$	10.579	[-]
Factor de Mayoración	3.076	[-]
Factor de Minoración	1.000	[-]
Corte Basal Efectivo	705.61	[Tonf]
Momento Volcante	20305.03	[Tonf-m]
Brazo de Palanca	28.78	[m]
Desplazamiento Último ( $\delta_{ux} = 1,3Sd$ )	0.09	[cm]

Tabla 3.3: Valores por dirección Y del sismo.

Sismo Y	Valor	Unidad
Peso sísmico	11434.22	[Tonf]
Corte Basal Mínimo	705.80	[Tonf]
Corte Basal Máximo	1482.18	[Tonf]
Período Predominante	0.744	[s]
$R^*$	10.003	[-]
Factor de Mayoración	2.435	[-]
Factor de Minoración	1.000	[-]
Corte Basal Efectivo	705.90	[Tonf]
Momento Volcante	24152.00	[Tonf-m]
Brazo de Palanca	34.21	[m]
Desplazamiento Último ( $\delta_{uy} = 1,3Sd$ )	0.06	[cm]

### 3.3. Tablas de resultados

#### 3.3.1. Periodos y participación de masas

En la Tabla 3.4 se detallan los períodos obtenidos para los modos en los cuales se alcanzó un 90 % de masa en las direcciones de análisis.

Tabla 3.4: Períodos y participación de masas.

Modo	T [s]	% Mx	% My	% Rz	% $\sum M_x$	% $\sum M_y$	% $\sum R_z$
1	1.315	4.54	5.42	45.52	4.54	5.42	45.52
2	1.112	55.52	0.78	1.95	60.06	6.20	47.47
3	0.744	0.03	56.05	6.66	60.08	62.24	54.13
4	0.382	0.45	1.06	8.75	60.54	63.30	62.89
5	0.272	15.40	0.13	0.06	75.94	63.43	62.95
6	0.216	0.08	12.12	1.33	76.02	75.55	64.28
7	0.185	0.01	0.70	3.62	76.03	76.25	67.90
8	0.124	5.66	0.11	0.04	81.69	76.36	67.94
9	0.111	0.16	0.00	2.55	81.85	76.36	70.50
10	0.107	0.11	5.11	0.08	81.96	81.48	70.58
11	0.077	1.33	0.00	1.06	83.29	81.48	71.64
12	0.073	1.94	0.32	0.71	85.23	81.79	72.35
13	0.07	0.00	0.00	0.02	85.23	81.80	72.37
14	0.069	0.25	2.83	0.14	85.48	84.63	72.50
15	0.067	0.00	0.00	0.01	85.49	84.63	72.52
16	0.056	0.05	0.04	1.39	85.53	84.67	73.91
17	0.052	0.00	0.02	0.00	85.54	84.68	73.91
18	0.052	2.04	0.33	0.05	87.57	85.01	73.96
19	0.049	0.00	0.01	0.01	87.58	85.02	73.97
20	0.049	0.41	1.75	0.08	87.99	86.76	74.05
21	0.048	0.00	0.00	0.03	87.99	86.77	74.08
22	0.046	0.00	0.00	0.00	87.99	86.77	74.08
23	0.043	0.01	0.07	1.39	88.00	86.84	75.47
24	0.04	0.15	0.01	0.00	88.15	86.85	75.47
25	0.039	1.03	0.47	0.00	89.18	87.32	75.48
26	0.038	0.68	1.04	0.03	89.86	88.37	75.50
27	0.035	0.09	0.08	1.47	89.95	88.45	76.97
28	0.035	0.03	0.00	0.02	89.99	88.45	76.99
29	0.033	0.04	0.00	0.02	90.02	88.46	77.01
30	0.032	0.15	0.85	0.00	90.18	89.30	77.01
31	0.031	0.39	0.21	0.07	90.57	89.52	77.07
32	0.031	0.64	0.05	0.02	91.21	89.57	77.09
33	0.03	0.23	0.00	0.38	91.43	89.57	77.47
34	0.029	0.22	0.08	1.04	91.65	89.65	78.50
35	0.029	0.00	0.00	0.00	91.65	89.65	78.50
36	0.028	0.00	1.08	0.01	91.65	90.73	78.52
37	0.027	0.07	0.01	0.06	91.72	90.73	78.57

Modo	T (s)	% Mx	% My	% Rz	% $\Sigma M_x$	% $\Sigma M_y$	% $\Sigma R_z$
38	0.026	0.90	0.00	0.02	92.62	90.74	78.59
39	0.026	0.03	0.06	0.16	92.65	90.80	78.75
40	0.025	0.26	0.10	1.11	92.91	90.90	79.85
41	0.025	0.00	0.00	0.00	92.91	90.90	79.86
42	0.025	0.02	0.34	0.00	92.93	91.24	79.86
43	0.024	0.00	0.01	0.01	92.93	91.25	79.86
44	0.024	0.01	0.73	0.02	92.94	91.99	79.89
45	0.022	0.00	0.00	0.02	92.94	91.99	79.91
46	0.022	0.00	0.22	1.15	92.94	92.20	81.06
47	0.022	0.87	0.15	0.27	93.81	92.35	81.33
48	0.022	0.27	0.06	0.04	94.08	92.42	81.37
49	0.021	0.04	1.30	0.12	94.12	93.71	81.48
50	0.021	0.00	0.02	0.00	94.12	93.73	81.49
51	0.02	0.00	0.00	0.01	94.12	93.74	81.50
52	0.02	0.02	0.32	1.33	94.14	94.06	82.83
53	0.02	0.01	0.01	0.13	94.15	94.06	82.95
54	0.02	0.87	0.01	0.04	95.02	94.07	83.00
55	0.019	0.03	1.48	0.32	95.05	95.55	83.31
56	0.018	0.00	0.01	0.42	95.05	95.56	83.73
57	0.018	0.00	0.00	0.00	95.05	95.56	83.73
58	0.018	0.07	0.28	1.23	95.11	95.84	84.97
59	0.017	0.80	0.01	0.00	95.92	95.84	84.97
60	0.017	0.02	1.00	0.28	95.94	96.85	85.25
61	0.016	0.01	0.00	1.24	95.95	96.85	86.49
62	0.016	0.79	0.00	0.07	96.75	96.85	86.56
63	0.016	0.00	0.44	0.37	96.75	97.29	86.92
64	0.015	0.00	0.01	0.41	96.75	97.30	87.34
65	0.015	0.26	0.02	0.56	97.01	97.32	87.90
66	0.015	0.63	0.00	0.39	97.63	97.32	88.29
67	0.014	0.00	0.16	0.24	97.64	97.48	88.53
68	0.014	0.44	0.10	0.43	98.08	97.58	88.96
69	0.014	0.31	0.11	0.84	98.38	97.69	89.80
70	0.013	0.01	0.00	0.24	98.39	97.69	90.04

### 3.3.2. Cortes basales

La tabla de cortes basales (Tabla 3.5) fue obtenida a partir del resultado *Story forces* de ETABS considerando un espectro sísmico inelástico <sup>1</sup>.

Tabla 3.5: Cortes basales.

Combinación	P [tonf]	Vx [tonf]	Vy [tonf]	T [tonf-m]	Mx [tonf-m]	My [tonf-m]
PP	11041.9	0.0	0.0	0.0	185690.8	-175463.3
SC	2885.7	0.0	0.0	0.0	50485.4	-44740.7
SX Max	0.0	705.6	85.4	12791.9	2422.1	20305.0
SY Max	0.0	71.5	705.9	14354.7	24152.0	2140.1
PPSC	13927.6	0.0	0.0	0.0	236176.2	-220204.0
C1	15458.7	0.0	0.0	0.0	259967.1	-245648.6
C2	17867.3	0.0	0.0	0.0	303605.6	-282141.1
C3 Max	9937.7	987.9	119.6	17908.7	170512.6	-129489.9
C4 Max	9937.7	987.9	119.6	17908.7	170512.6	-129489.9
C5 Max	9937.7	100.1	988.3	20096.5	200934.5	-154920.9
C6 Max	9937.7	100.1	988.3	20096.5	200934.5	-154920.9
C7 Max	16136.0	987.9	119.6	17908.7	276705.2	-226869.6
C8 Max	16136.0	987.9	119.6	17908.7	276705.2	-226869.6
C9 Max	16136.0	100.1	988.3	20096.5	307127.1	-252300.5
C10 Max	16136.0	100.1	988.3	20096.5	307127.1	-252300.5
ENVC Max	17867.3	987.9	988.3	20096.5	307127.1	-129489.9

<sup>1</sup> Reducido por el factor  $1/R^*$ .

## 4. Cortes Basales y Control de Deformaciones

### 4.1. Cortes basales

De acuerdo a lo indicado en el punto 6.2.3 de la NCh433, se determinan los cortes basales máximos y mínimos mostrados a continuación:

Tabla 4.1: Cortes basales máximo y mínimo.

Cortes basal norma [tonf]	
$Q_{min}$	705,800
$Q_{max}$	1482,180

Del modelo se determina el corte basal efectivo. En la primera iteración este resultó ser menor al mínimo por lo que se corrigió el espectro, resultando finalmente lo mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 4.2: Cortes basales efectivos.

Corte efectivo [tonf]	
$Q_x$	705,613
$Q_y$	705,897

## 4.2. Control de deformaciones

A continuación, se muestran los desplazamientos entre pisos, sin considerar el efecto del factor de reducción, considerando la losa como un elemento completamente rígido. Se debe tener en consideración que este valor no puede superar  $0,001 \cdot H_{entrepiso}$ .

Tabla 4.3: Verificación de drifts utilizando centro de masa, sismo y desplazamiento en eje X.

Story	UX [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]	Drift [-]	Admisible [-]	Porcentaje [%]
Cubierta	0,123	18,610	15,900	63,38	-	-	-
24	0,118	19,870	16,364	61,33	0,002	0,0021	121,6
23	0,112	16,314	16,339	58,88	0,002	0,0025	91,4
22	0,107	16,053	16,409	56,43	0,002	0,0025	93,3
21	0,101	16,053	16,409	53,98	0,002	0,0025	93,5
20	0,095	16,053	16,409	51,53	0,002	0,0025	94,8
19	0,090	16,053	16,409	49,08	0,002	0,0025	95,9
18	0,084	16,053	16,409	46,63	0,002	0,0025	96,7
17	0,078	16,053	16,409	44,18	0,002	0,0025	97,1
16	0,072	16,053	16,409	41,73	0,002	0,0025	97,2
15	0,066	16,053	16,409	39,28	0,002	0,0025	96,9
14	0,061	16,053	16,409	36,83	0,002	0,0025	96,2
13	0,055	16,053	16,409	34,38	0,002	0,0025	95,2
12	0,049	16,053	16,409	31,93	0,002	0,0025	93,1
11	0,044	16,053	16,409	29,48	0,002	0,0025	91,5
10	0,038	16,053	16,409	27,03	0,002	0,0025	89,5
9	0,033	16,053	16,409	24,58	0,002	0,0025	87,2
8	0,028	16,053	16,409	22,13	0,002	0,0025	84,2
7	0,023	16,062	16,420	19,68	0,002	0,0025	80,4
6	0,019	16,070	16,430	17,23	0,002	0,0025	74,9
5	0,015	16,070	16,430	14,78	0,002	0,0025	70,6
4	0,011	16,072	16,437	12,33	0,002	0,0025	65,6
3	0,007	16,070	16,430	9,88	0,001	0,0025	59,4
2	0,004	16,176	16,550	7,43	0,001	0,0025	51,8
1	0,002	11,555	19,840	4,98	0,001	0,0025	39,3
-1	0,000	15,476	19,695	2,5	0,001	0,0025	21,4

Tabla 4.4: Verificación de drifts utilizando centro de masa, sismo y desplazamiento en eje Y.

Story	UY [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]	Drift [-]	Admisible [-]	Porcentaje [%]
Cubierta	0,0754	18,610	15,900	63,38	-	-	-
24	0,0778	19,870	16,364	61,33	-0,001	0,00205	57,1
23	0,0709	16,314	16,339	58,88	0,003	0,00245	115,5
22	0,0684	16,053	16,409	56,43	0,001	0,00245	41,3
21	0,0657	16,053	16,409	53,98	0,001	0,00245	45,1
20	0,0628	16,053	16,409	51,53	0,001	0,00245	47,8
19	0,0598	16,053	16,409	49,08	0,001	0,00245	50,4
18	0,0566	16,053	16,409	46,63	0,001	0,00245	52,9
17	0,0533	16,053	16,409	44,18	0,001	0,00245	55,2
16	0,0499	16,053	16,409	41,73	0,001	0,00245	57,3
15	0,0463	16,053	16,409	39,28	0,001	0,00245	59,1
14	0,0427	16,053	16,409	36,83	0,001	0,00245	60,6
13	0,0390	16,053	16,409	34,38	0,002	0,00245	61,9
12	0,0353	16,053	16,409	31,93	0,002	0,00245	61,5
11	0,0316	16,053	16,409	29,48	0,002	0,00245	61,9
10	0,0278	16,053	16,409	27,03	0,002	0,00245	62,1
9	0,0241	16,053	16,409	24,58	0,002	0,00245	61,7
8	0,0205	16,053	16,409	22,13	0,001	0,00245	60,8
7	0,0169	16,062	16,420	19,68	0,001	0,00245	59,0
6	0,0137	16,070	16,430	17,23	0,001	0,00245	54,8
5	0,0105	16,070	16,430	14,78	0,001	0,00245	52,2
4	0,0076	16,072	16,437	12,33	0,001	0,00245	48,8
3	0,0049	16,070	16,430	9,88	0,001	0,00245	44,1
2	0,0027	16,176	16,550	7,43	0,001	0,00245	37,6
1	0,0009	11,555	19,840	4,98	0,001	0,00245	30,2
-1	0,0002	15,476	19,695	2,5	0,000	0,00248	11,2

Por otro lado, utilizando la información directa de los Story Drifts obtenidos del modelo, los cuales no usan el supuesto de losa rígida, se comparan los drifts con su deformación admisible considerando este último como  $0,002 \cdot H_{entrepiso}$ .



Tabla 4.5: Verificación de drifts utilizando deformaciones máximas y sismo en eje X.

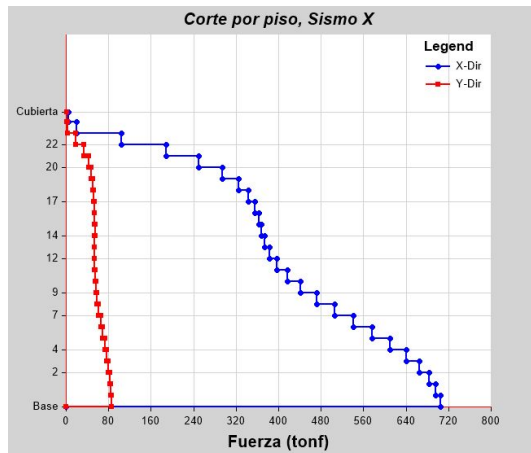
Story	X [m]	Y [m]	Z [m]	Drift [-]	Admisible [-]	Porcentaje [%]
Cubierta	20,63	17	63,38	0,002	-	-
24	16,59	20,65	61,33	0,002	0,0041	60,3
23	17,21	31,83	58,88	0,003	0,0049	69,4
22	11,14	32,43	56,43	0,004	0,0049	73,6
21	11,14	32,43	53,98	0,004	0,0049	77,0
20	11,14	32,43	51,53	0,004	0,0049	80,0
19	11,14	32,43	49,08	0,004	0,0049	82,5
18	11,14	32,43	46,63	0,004	0,0049	84,4
17	11,14	32,43	44,18	0,004	0,0049	85,5
16	11,14	32,43	41,73	0,004	0,0049	86,0
15	11,14	32,43	39,28	0,004	0,0049	85,8
14	11,14	32,43	36,83	0,004	0,0049	84,8
13	11,14	32,43	34,38	0,004	0,0049	82,2
12	11,14	32,43	31,93	0,004	0,0049	81,1
11	11,14	32,43	29,48	0,004	0,0049	79,9
10	11,14	32,43	27,03	0,004	0,0049	78,4
9	11,14	32,43	24,58	0,004	0,0049	76,4
8	11,14	32,43	22,13	0,004	0,0049	73,5
7	11,14	32,43	19,68	0,003	0,0049	69,5
6	11,14	32,43	17,23	0,003	0,0049	64,9
5	11,14	32,43	14,78	0,003	0,0049	58,8
4	11,14	32,43	12,33	0,002	0,0049	50,7
3	20,3	0	9,88	0,002	0,0049	39,9
2	15,79	1,36	7,43	0,002	0,0049	31,1
1	22,95	7,7	4,98	0,001	0,0049	19,5
-1	21,04	39,44	2,5	0,000	0,0050	2,5

Tabla 4.6: Verificación de drifts utilizando deformaciones máximas y sismo en eje Y.

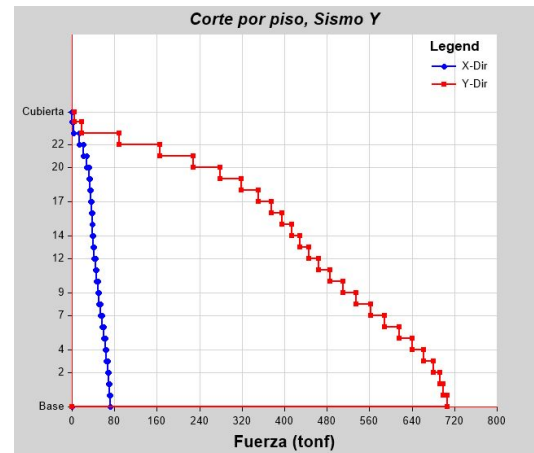
Story	X [m]	Y [m]	Z [m]	Drift [-]	Admisible [-]	Porcentaje [%]
Cubierta	16,59	17	63,38	0,001	-	-
24	16,59	20,65	61,33	0,001	0,0041	24,4
23	9,03	21,9	58,88	0,001	0,0049	26,2
22	9,03	21,9	56,43	0,001	0,0049	27,9
21	22,95	17	53,98	0,001	0,0049	30,0
20	22,95	12,7	51,53	0,002	0,0049	32,6
19	22,95	17	49,08	0,002	0,0049	34,8
18	22,95	17	46,63	0,002	0,0049	36,7
17	22,95	17	44,18	0,002	0,0049	38,2
16	22,95	17	41,73	0,002	0,0049	39,4
15	22,95	17	39,28	0,002	0,0049	40,1
14	22,95	17	36,83	0,002	0,0049	40,2
13	22,95	17	34,38	0,002	0,0049	38,4
12	22,95	17	31,93	0,002	0,0049	38,3
11	22,95	12,7	29,48	0,002	0,0049	38,2
10	22,95	17	27,03	0,002	0,0049	38,1
9	22,95	17	24,58	0,002	0,0049	37,7
8	22,95	17	22,13	0,002	0,0049	37,0
7	22,95	17	19,68	0,002	0,0049	35,7
6	22,95	17	17,23	0,002	0,0049	34,3
5	22,95	17	14,78	0,002	0,0049	32,4
4	22,95	17	12,33	0,001	0,0049	29,6
3	22,95	17	9,88	0,001	0,0049	25,3
2	17,21	0,7	7,43	0,001	0,0049	22,3
1	22,95	9,62	4,98	0,001	0,0049	14,5
-1	31,19	1,36	2,5	0,000	0,00496	1,9

### 4.3. Gráficos de respuesta

#### 4.3.1. Corte por piso



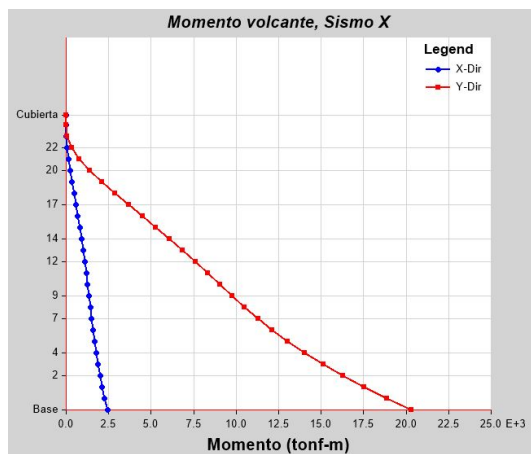
(a) Sismo x.



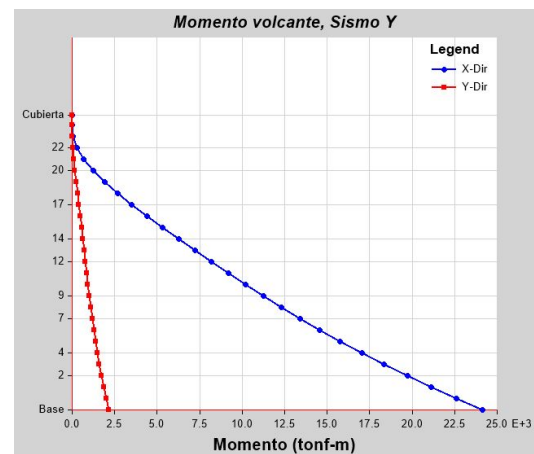
(b) Sismo y.

Figura 4.1: Cortes por piso.

#### 4.3.2. Momento volcante



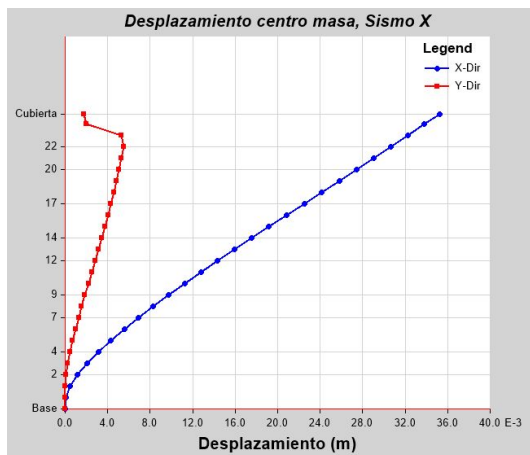
(a) Sismo x.



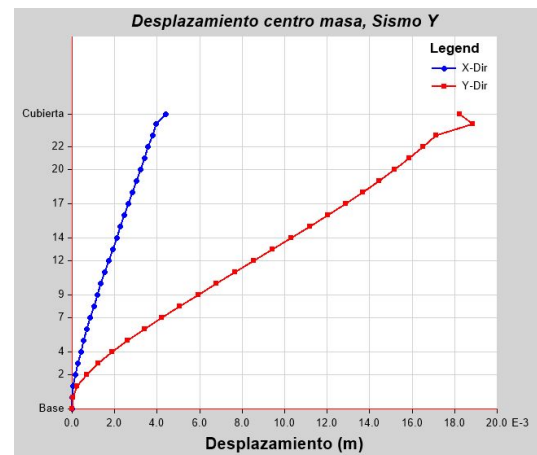
(b) Sismo y.

Figura 4.2: Momento volcante por piso.

### 4.3.3. Desplazamiento entre piso



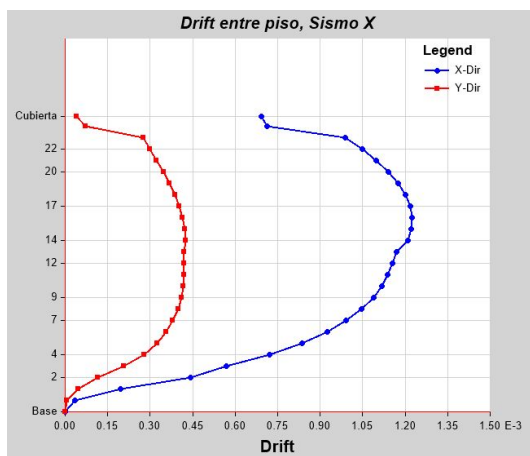
(a) Sismo x.



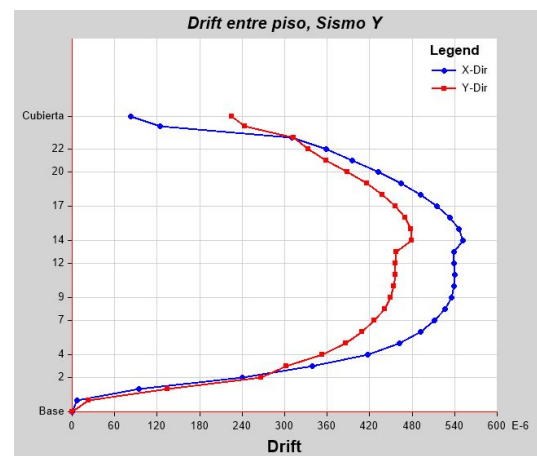
(b) Sismo y.

Figura 4.3: Desplazamiento entre piso.

### 4.3.4. Drift entre piso



(a) Sismo x.



(b) Sismo y.

Figura 4.4: Drift entre piso.

## 5. Indicadores de Rigidez y Acoplamiento

### 5.1. Indicador de Rigidez

De la verificación de rigidez se obtiene el siguiente resultado:

$$H/T = \frac{58,88}{1,345} = 43,8$$

Tabla 5.1: Verificación de rigidez del edificio.

H/T	Nivel de Rigidez
20-40	Flexible
40-70	Normal
70-150	Rígido
< 20	Muy Flexible
> 150	Muy Rígido

De acuerdo a la tabla 5.1 se determina que el edificio es de rigidez *Normal*.

### 5.2. Indicador de Acoplamiento

De la verificación de Acoplamiento se obtiene el siguiente resultado:

Tabla 5.2: Indicadores de acoplamiento.

Acoplamiento	Valor (-)
T1/T2	1,8
T1/T3	1,2
T3/T2	1,5

Como se puede apreciar en la tabla anterior, todos los factores obtenidos son mayores o iguales que 1.2 como lo establece la norma.

## 6. Comentarios y Conclusiones

En cuanto al período predominante se obtuvo un primer modo torsional, si bien esto no es lo deseable hay que destacar que el período obtenido está lejos del período en que el suelo presenta mayores aceleraciones (el cual es cercano a los 0.2s), por tanto el contenido de frecuencias de un sismo no proporcionará energía suficiente a la estructura para excitar un modo torsional. Por otro lado en cuanto al período en  $X$  e  $Y$  se obtuvieron igualmente períodos altos en comparación a la zona de amplificación, lo cual es deseable dado que la mayor masa del edificio se tributará en periodos para los cuales la estructura recibe menos energía (aceleración).

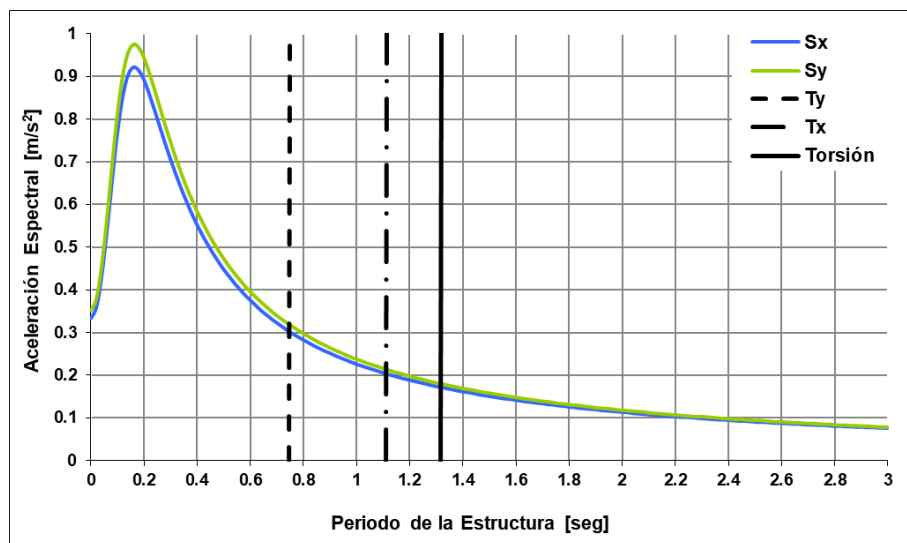


Figura 6.1: Períodos de los primeros períodos junto al espectro de aceleraciones reducido.

Para lograr el 90 % de masa trasladada en cada dirección de análisis se necesitó de un total de 70 modos, esto conversa muy bien con la hipótesis de diseño inicial la cual consideró un diafragma rígido, requiriendo así de un total de tres grados de libertad por cada piso para representar los desplazamientos de la estructura ( $u_x$ ,  $u_y$  desplazamientos horizontales en planta y  $\theta$  ángulo de giro) sin mayores diferencias con la realidad. Así, teóricamente con un total de  $3 \cdot 23 = 69$  modos se logra un buen nivel de confianza, resultado muy cercano al obtenido en la práctica.

Con respecto a los desplazamientos obtenidos por piso, se puede apreciar como estos son mayores por efecto del sismo en el eje  $X$ . Lo anterior se debe a la baja inercia que posee la estructura en este eje en comparación con el eje  $Y$ . Sin embargo, es posible apreciar que estos desplazamientos son menores que los admisibles o solicitados por norma.

Los casos puntuales de los pisos más superiores donde esto no se cumple es prácticamente por la condición de apoyo libre que existe a nivel de la cubierta.

Dado que los factores de acoplamiento obtenidos en la Tabla 5.2 son mayores o iguales que lo indicado en la norma, se puede concluir que no habrá efecto de acoplamiento entre los modos obtenidos.

Al analizar los gráficos de distribución del cortante por piso (Figuras 4.1.a y 4.1.b) es posible observar que en cuanto al sismo en el eje  $Y$  la distribución es relativamente homogénea, ello significa que el corte se tributa de igual manera en cada piso, por tanto en dicho eje la rigidez (dado el hormigón y espesor de muros elegidos) fue la adecuada.

Distinto es en el caso del sismo en  $x$ , en donde en los pisos intermedios de la estructura (concretamente entre el 17 y el 12) toman poco corte, tributándolo a los pisos inferiores de la estructura. Esto indica que dichos pisos en ese eje resultaron muy rígidos, disminuyendo por tanto la distorsión angular (Mayor módulo de rigidez, mayor módulo de corte, menor distorsión angular a un mismo desplazamiento), tomando así menos corte dado la relación  $\tau = G \cdot \gamma$ . Una posible solución es disminuir el espesor de los muros, verificando que dicho cambio no afecte al drift entre pisos.