

1 Análisis Sísmico

1.1 Parámetros de sitio

1.1.1 Factor zona

Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en el suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años

Table 1: Factor de zona

FACTOR DE ZONA SEGÚN E-030	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10



Fuente: E-030 (2018)

1.1.2 Factor de suelo

Este factor se interpreta como un factor de modificación de la aceleración pico del suelo para un perfil determinado respecto al perfil tipo S1

Table 2: Factor de suelo

FACTOR DE SUELO SEGÚN E-030				
<i>SUELO</i> <i>ZONA</i>	S0	S1	S2	S3
4	0.80	1.00	1.05	1.10
3	0.80	1.00	1.15	1.20
2	0.80	1.00	1.20	1.40
1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: E-030 (2018)

1.1.3 Periodos de suelo

Table 3: Periodos de suelo

PERIODO "Tp" y "Tl" SEGÚN E-030				
<i>Perfil de suelo</i>				
	S0	S1	S2	S3
Tp	0.30	0.40	0.60	1.00
Tl	3.00	2.50	2.00	1.60

Fuente: E-030 (2018)

1.1.4 Sistema Estructural

Después de realizar el análisis sísmico se determino que los sistemas estructurales en X, Y son Pórticos de Concreto Armado y Dual de Concreto Armado respectivamente

Table 4: Coeficiente básico de reducción

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R_o
Acero:	
Porticos Especiales Resistentes a Momento (SMF)	8
Porticos Intermedios Resistentes a Momento (IMF)	5
Porticos Ordinarios Resistentes a Momento (OMF)	4
Porticos Especiales Concentricamente Arrriostrados (SCBF)	7
Porticos Ordinarios Concentricamente Arrriostrados (OCBF)	4
Porticos Excentricamente Arrriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Porticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera	7

Fuente: E-030 (2018)

1.1.5 Factor de Amplificación sísmica

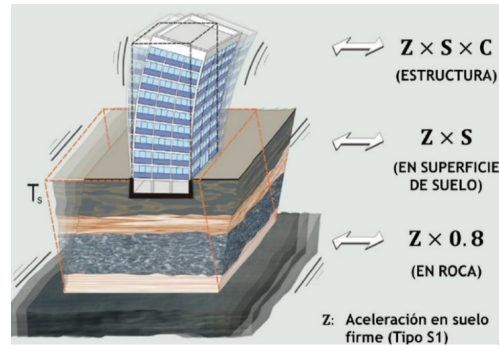
Se determina según el artículo 14 de la E-030.

Figure 1: Factor de amplificación

$$T < T_P \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T} \right)$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P T_L}{T^2} \right)$$



Fuente: Muñoz (2020)

1.1.6 Factor de Importancia

Table 5: Factor de Uso o Importancia

CATEGORIA DE LA EDIFICACION		
CATEGORIA	DESCRIPCION	FACTOR U
A Edificaciones Escenciales	A1: Establecimiento del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el ministerio de salud.	Con aislamiento 1.0 y sin aislamiento 1.5.
	A2: Edificaciones escenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas que puedan servir de refugio después de un desastre.	1.50
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas.	1.30
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1.00
D Edificaciones temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	A criterio del proyectista

Fuente: E-030 (2018)

1.1.7 Tabla resumen de parámetros sísmicos

Table 6: Resumen de parámetros sísmicos

	PARÁMETROS SÍSMICOS		
		X	Y
<i>Norma E.030</i>	Z	0.45	
<i>Factor de Zona (Tabla N° 1)</i>	U	1.50	
<i>Factor de Uso (Tabla N° 5)</i>	S	1.05	
<i>Factor de Suelo (Tabla N° 3)</i>	T_P	0.60	
<i>Periodos (Tabla N° 4)</i>	T_L	2.00	
<i>Coef. Básico de Reducción (Tabla N° 7)</i>	R_o	8.00	7.00
<i>Irregularidad en altura (Tabla N° 8)</i>	I_a	1.00	1.00
<i>Irregularidad en planta (Tabla N° 9)</i>	I_p	1.00	1.00
<i>Coef. de Reducción (Artículo 22)</i>	R	8.00	7.00
	ZUSg/R	0.87	0.99

1.1.8 Espectro de respuesta de aceleraciones

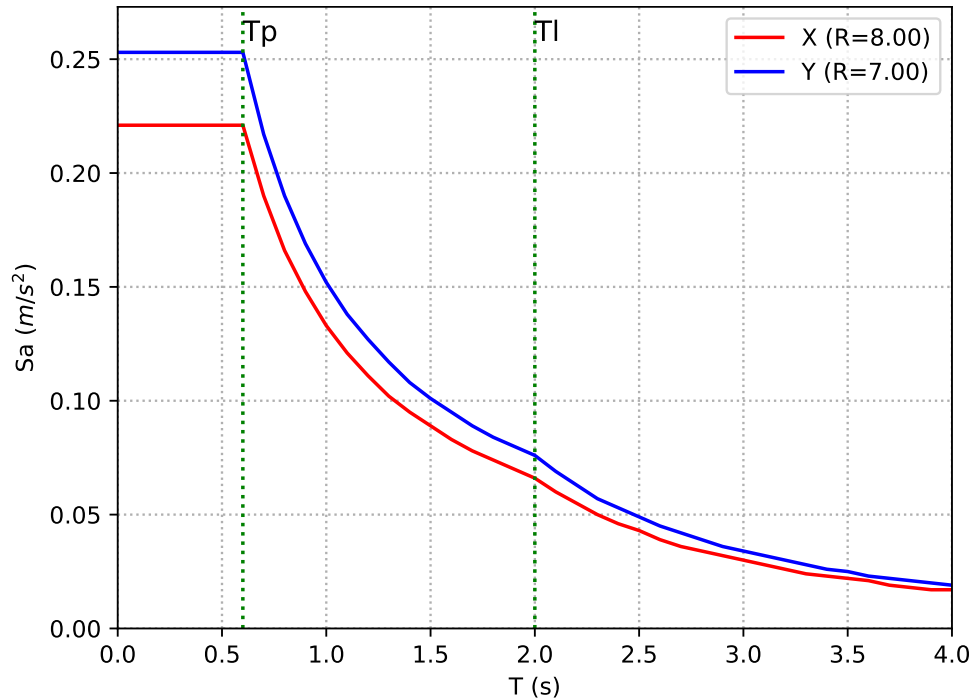


Figure 2: Espectro de aceleraciones

1.1.9 Peso sísmico

Art. 26

El peso (P), se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga. En edificaciones de categoría A y B, se toma el 50% de la carga viva y en edificaciones de categoría C, se toma el 25% de la carga viva.

1.1.10 Excentricidad accidental

Art. 28.5

La incertidumbre en la localización de los centros de masa en cada nivel, se considera mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis. En cada caso se considera el signo más desfavorable.

1.2 Análisis modal Art. 26.1 E-030

Art. 26.1.1

Los modos de vibración pueden determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas.

Figure 3: Excentricidad de la masa en ETABS

E Mass Source Data

Mass Source Name: Masa Sismica

Mass Source

☐ Element Self Mass

☐ Additional Mass

☒ Specified Load Patterns

☒ Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:

This Ratio of Diaphragm Width in X Direction: -0.05

This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction: -0.05

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
Dead	1
Live	0.25

Mass Options

☒ Include Lateral Mass

☐ Include Vertical Mass

☒ Lump Lateral Mass at Story Levels

Art. 29.1.2

En cada dirección se consideran aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total, pero se toma en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

Table 7: Periodos y porcentajes de masa participativa

Mode	Period	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0.360	0.864	0.000	0.000	0.864	0.000	0.000
2	0.273	0.000	0.872	0.000	0.864	0.872	0.000
3	0.225	0.000	0.000	0.850	0.864	0.872	0.850
4	0.101	0.119	0.000	0.000	0.983	0.872	0.850
5	0.077	0.000	0.112	0.000	0.983	0.984	0.850
6	0.062	0.000	0.000	0.132	0.983	0.984	0.982
7	0.048	0.017	0.000	0.000	1.000	0.984	0.982
8	0.037	0.000	0.016	0.000	1.000	1.000	0.982
9	0.029	0.000	0.000	0.018	1.000	1.000	1.000

1.3 Análisis de Irregularidades

1.3.1 Irregularidad de Rigidez-Piso Blando

Tabla N°9 E-030

Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales pueden calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga

Tabla N°9 E-030

Existe irregularidad extrema de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 60% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 70% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales pueden calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga.

Las rigideces laterales pueden calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga.

Table 8: Irregularidad de rigidez

Story	OutputCase	VX	VY	Rigidez Lateral(k)	70%k previo	80%Prom(k)	is_reg
Story3	SDx Max	37.537	9.565	18791.749			Regular
Story2	SDx Max	74.277	19.164	28433.680	13154.224		Regular
Story1	SDx Max	95.209	24.671	35703.618	19903.576		Regular

Table 9: Irregularidad de rigidez

Story	OutputCase	VX	VY	Rigidez Lateral(k)	70%k previo	80%Prom(k)	is_reg
Story3	SDy Max	11.261	31.883	18765.862			Regular
Story2	SDy Max	22.283	63.881	28442.075	13136.104		Regular
Story1	SDy Max	28.563	82.237	35708.771	19909.452		Regular

1.3.2 Irregularidad de Masa o Peso

Tabla N°9 E-030

Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando el peso de un piso determinado según el artículo 26, es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos

Table 10: Irregularidad de Masa o Peso

Story	Masa	1.5 Masa	Tipo de Piso	is_reg
Story3	9.191		Azotea	Regular
Story2	13.850	20.774	Piso	Regular
Story1	14.612	21.918	Piso	Regular
Base	2.723		Sotano	Regular

1.3.3 Irregularidad Torsional

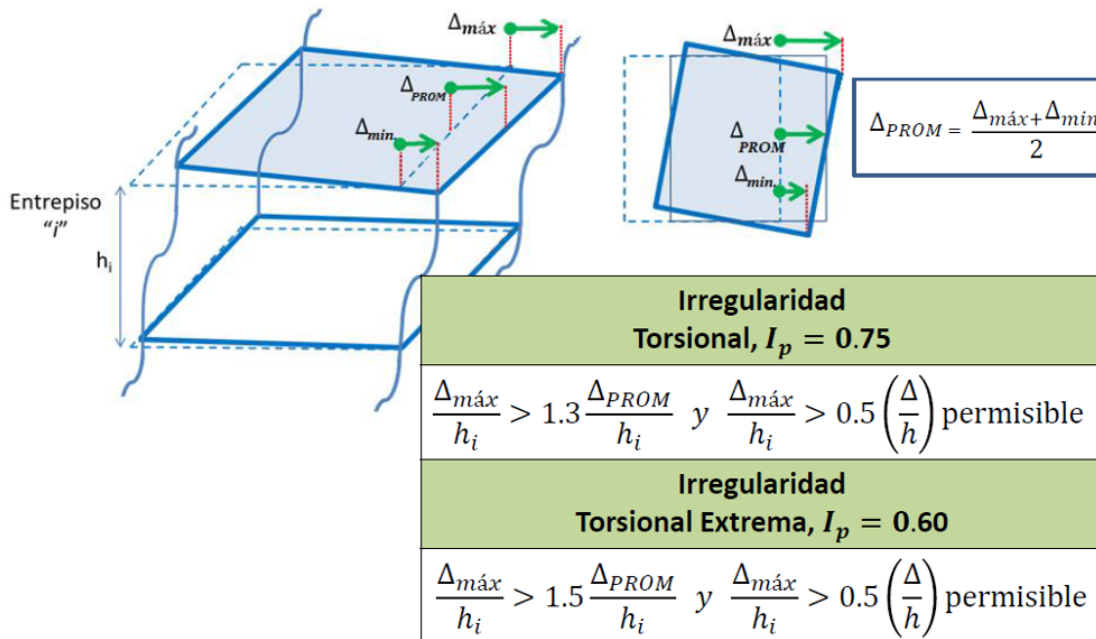
Tabla N°9 E-030

Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis el desplazamiento relativo de entrepiso en un edificio (Δ_{max}) en esa dirección, calculado incluyendo excentricidad accidental, es mayor que 1,3 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la condición de carga (Δ_{prom}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50% del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11

Tabla N°9 E-030

Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis el desplazamiento relativo de entrepiso en un edificio (Δ_{max}) en esa dirección, calculado incluyendo excentricidad accidental, es mayor que 1,3 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la condición de carga (Δ_{prom}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50% del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11

Figure 4: Irregularidad torsional



Fuente: Muñoz (2020)

Table 11: Irregularidad Torsional

Story	OutputCase	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Height	Drifts	< Driftmax/2	Es Regular
Story3	SDx Max	X	0.004028	0.003867	1.042	3.6	0.006713	False	Regular
Story3	SDx Max	Y	0.000643	0.000622	1.034	3.6	0.001072	True	Regular
Story2	SDx Max	X	0.004952	0.004773	1.037	3.6	0.008253	False	Regular
Story2	SDx Max	Y	0.000826	0.000802	1.03	3.6	0.001377	True	Regular
Story1	SDx Max	X	0.004885	0.004718	1.036	5	0.005862	False	Regular
Story1	SDx Max	Y	0.00083	0.000808	1.028	5	0.000996	True	Regular

Table 12: Irregularidad Torsional

Story	OutputCase	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Height	Drifts	< Driftmax/2	Es Regular
Story3	SDy Max	X	0.001227	0.00117	1.049	3.6	0.002045	True	Regular
Story3	SDy Max	Y	0.00176	0.001751	1.005	3.6	0.002933	True	Regular
Story2	SDy Max	X	0.001508	0.001443	1.045	3.6	0.002513	True	Regular
Story2	SDy Max	Y	0.002307	0.002297	1.004	3.6	0.003845	False	Regular
Story1	SDy Max	X	0.001486	0.001426	1.042	5	0.001783	True	Regular
Story1	SDy Max	Y	0.002355	0.002346	1.004	5	0.002826	True	Regular

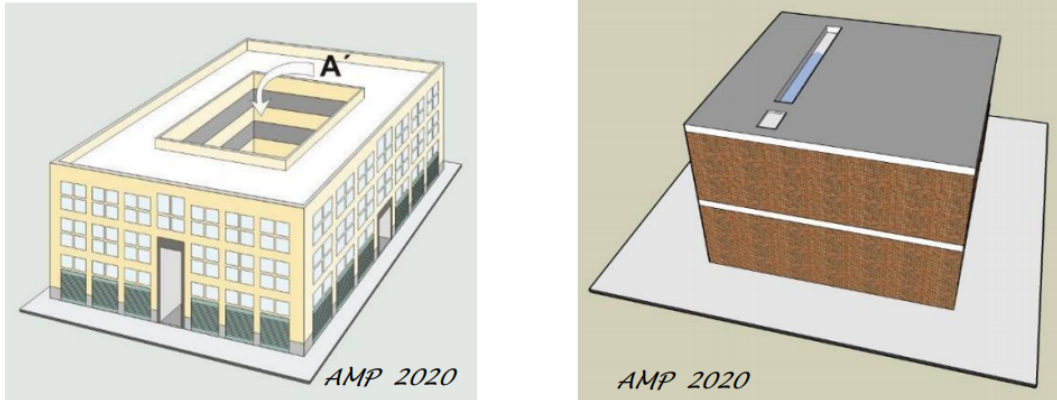
1.3.4 Irregularidad por Discontinuidad del Diafragma

Tabla N°9 E-030

La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50% del área bruta del diafragma.

También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25% del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.

Figure 5: Irregularidad por discontinuidad del diafragma



Fuente: Muñoz (2020)

Table 13: Irregularidad por discontinuidad del diafragma (a)

Longitud del aligerado (L1)	7.51	m
Espesor del aligerado (e1)	0.05	m
Area del aligerado $A1=L1 \cdot e1$	0.38	m^2
Longitud de la losa macisa (L2)	2.25	m
Espesor de la losa macisa (e2)	0.2	m
Area de la losa macisa $A1=L1 \cdot e1$	0.45	m^2
Ratio	118.42	%
Ratio límite	25.00	%
Verificación	Regular	

Table 14: Irregularidad por discontinuidad del diafragma (b)

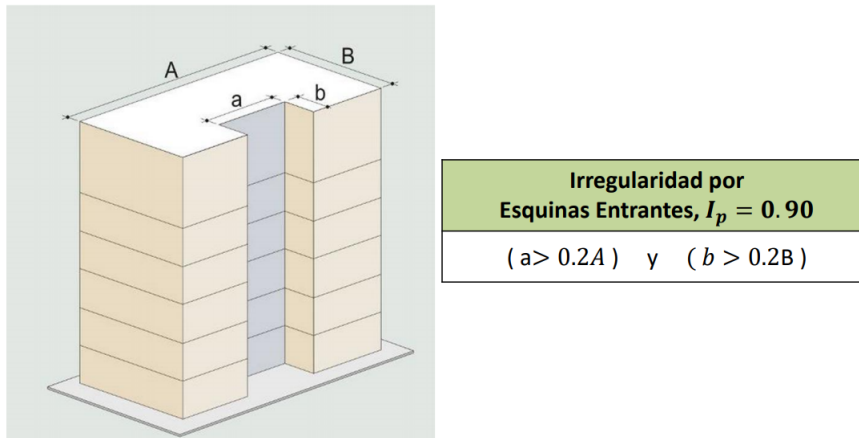
Abertura	Largo (m)	Ancho (m)	Área m^2
1	4.02	2.30	9.25
2	1.10	2.30	2.53
3	1.20	19.00	22.80
Área total de aberturas:			34.58 m^2
Área total de la planta:			120.41 m^2
Ratio:			28.72 %
Ratio límite:			50.00 %
Verificación:			Regular

1.3.5 Irregularidad por Esquinas entrantes

Tabla N°9 E-030

La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20% de la correspondiente dimensión total en planta

Figure 6: Irregularidad por esquinas entrantes



Fuente: Muñoz (2020)

Table 15: Irregularidad por esquinas entrantes

Esquina entrante en X(a)	4.95	m
Esquina entrante en Y(b)	2.3	m
Dimensión total en X(A)	7.51	m
Dimensión total en Y(B)	15.28	m
a/A	65.91	%
b/B	15.05	%
Limite <	20.0	%
Verificación	Regular	

1.4 Análisis Dinámico Espectral Art. 29 E-030

El análisis dinámico modal espectral consiste calcular la respuesta para cada modo ingresando al espectro de pseudo-aceleraciones definido en 1.1.8, para posteriormente combinar los resultados según los criterios que se menciona en la norma E-030:

1.4.1 Criterios de combinación

Art. 29.3.1

Mediante los criterios de combinación que se indican, se puede obtener la respuesta máxima elástica esperada (r) tanto para las fuerzas internas en los elementos componentes de la estructura, como para los parámetros globales del edificio como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso.

Art. 29.3.2

La respuesta máxima elástica esperada (r) correspondiente al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración empleados (r_i) puede determinarse usando la combinación cuadrática completa de los valores calculados para cada modo.

$$r = \sqrt{\sum \sum r_i \rho_{ij} r_j} \quad (1)$$

Art. 29.3.3

Donde r representa las respuestas modales, desplazamientos o fuerzas, los coeficientes de correlación están dados por:

$$\rho_{ij} = \frac{8\beta^2 (1 + \lambda) \lambda^{3/2}}{(1 - \lambda^2) + 4\beta^2 \lambda (1 + \lambda)^2} \quad \lambda = \frac{\omega_j}{\omega_i} \quad (2)$$

Donde:

β : fracción del amortiguamiento crítico, que se puede suponer constante para todos los modos igual a 0,05.

ω_j, ω_i : son las frecuencias angulares de los modos i, j

1.5 Determinación de desplazamientos laterales Art. 31 E-030

Art. 31.3.1

Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0,75 R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0,85 R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

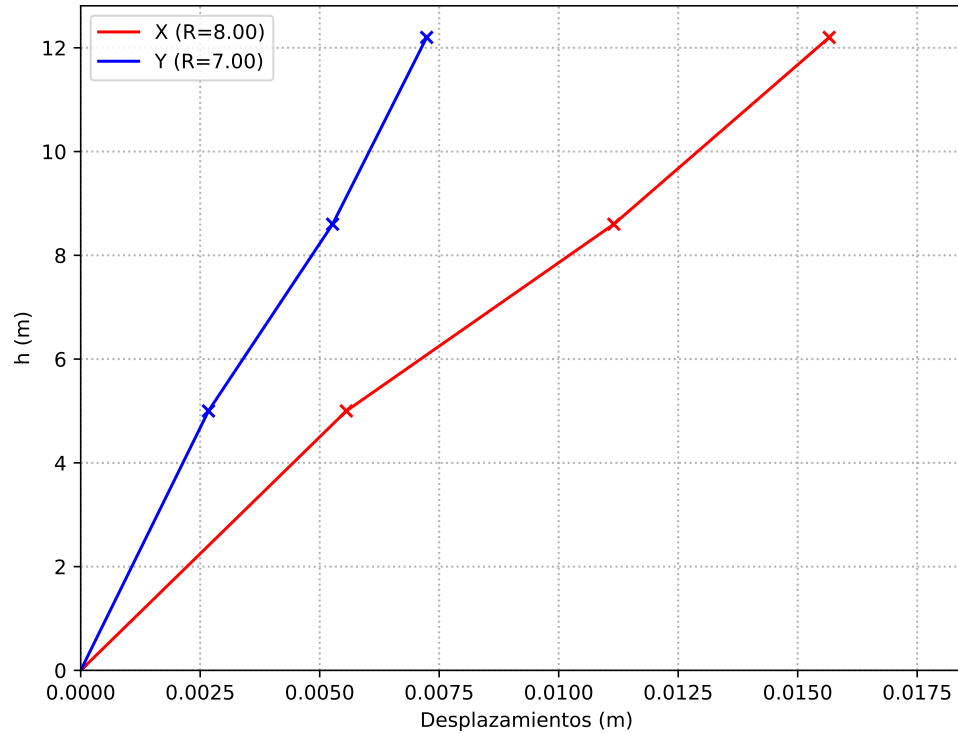


Figure 7: Desplazamientos inelásticos

1.6 Verificación de derivas máximas Art. 32 E-030

Table 16: Derivas máximas

LIMITES PARA LA DISTORSION DE ENTREPISO	
Material predominante:	Δ_i/h_{ei}
Concreto Armado	0.007
Acero	0.01
Albañilería	0.005
Madera	0.01
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Fuente: E-030 (2018)

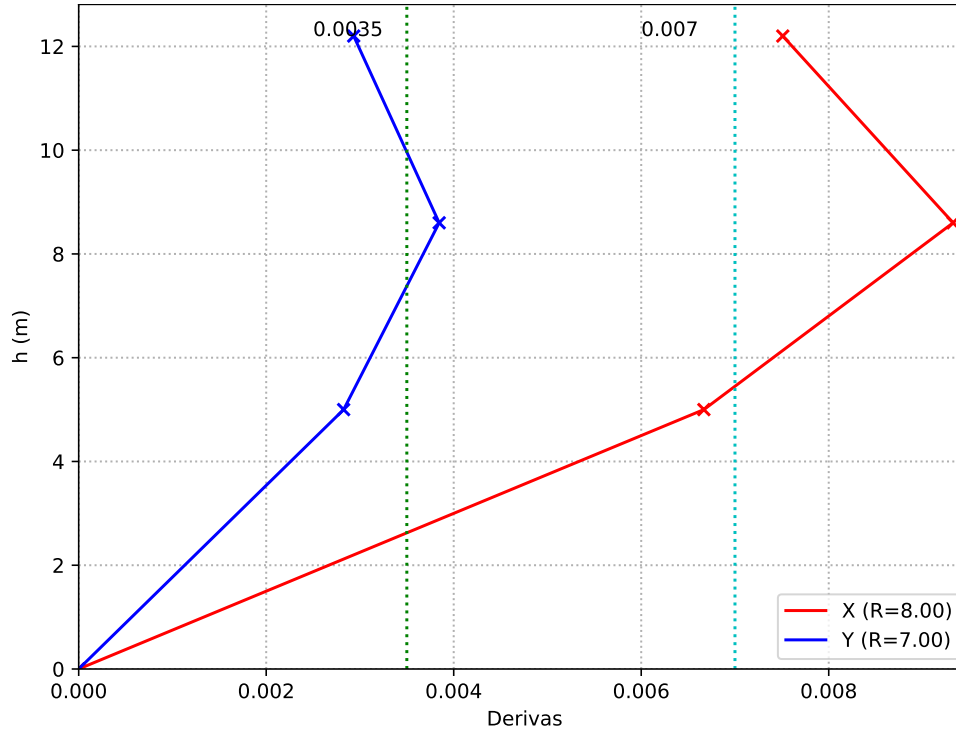


Figure 8: Derivas máxima de entrepiso

1.7 Verificación del sistema estructural

Se verificará que efectivamente se tiene un sistema estructural de muros en la dirección X, en la dirección Y no se verificara dado que no existen muros estructurales. Como se muestra en la figura 10 el valor de cortante que absorben los muros es de 64 ton, y la cortante total es aproximadamente 70 ton (ver figura 12) por lo que el porcentaje que toman los muros es mayor al 90%.

1.8 Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes Art. 28 E-030

1.8.1 Fuerza cortante en la base Art 28.2 E-030

Art. 28.2.1

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determina por la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} P \quad \frac{C}{R} \geq 0,11 \quad (3)$$

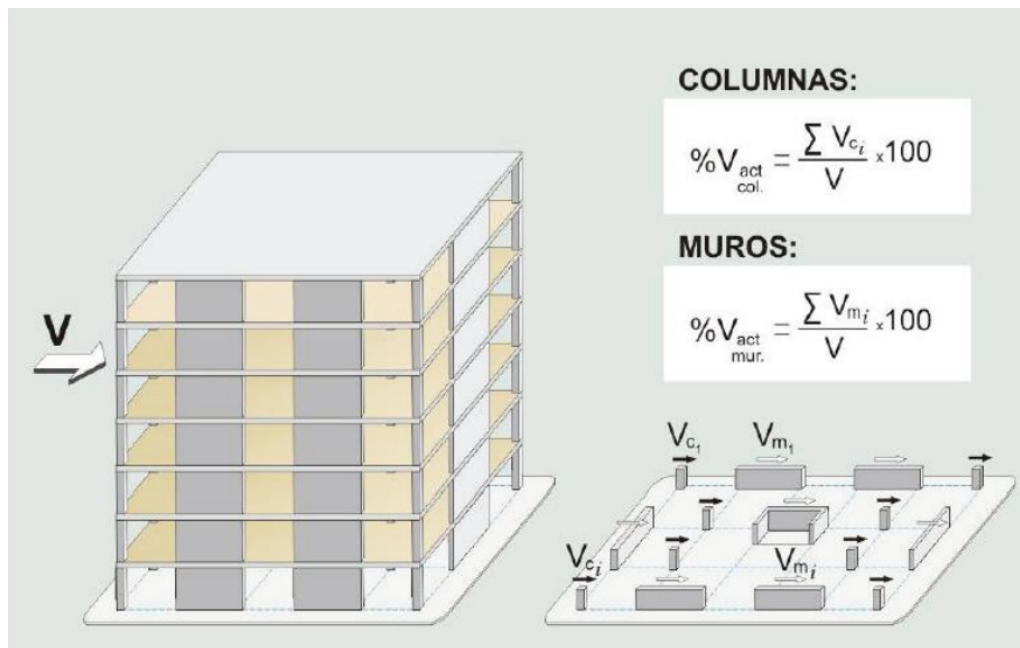
Según el artículo 28.4.2 el periodo fundamental de vibración puede estimarse con la ecuación:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n P_i \cdot d_i^2\right)}{g \cdot \left(\sum_{i=1}^n f_i \cdot d_i\right)}} \quad (4)$$

Donde:

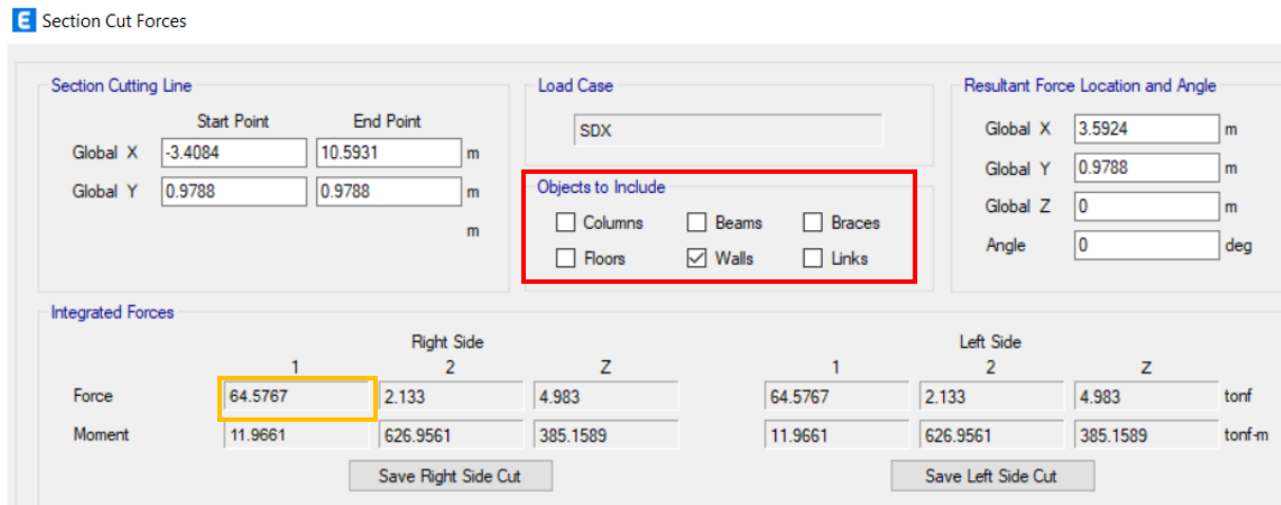
P_i : es el peso sísmico en el nivel i.

Figure 9: Sistema estructural



Fuente: Muñoz (2020)

Figure 10: Verificación del sistema estructural en X



Fuente: Muñoz (2020)

f_i : es la fuerza lateral en el nivel i correspondiente a una distribución en altura semejante a la del primer modo en la dirección de análisis.
 d_i : es el desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i en traslación pura (restringiendo los giros en planta) debido a las fuerzas f_i . Los desplazamientos se calculan suponiendo comportamiento lineal elástico de la estructura y, para el caso de estructuras de concreto armado y de albañilería, considerando las secciones sin fisurar.

Lo anterior equivale a calcular los modos de vibrar en el modelo matemático restringiendo el grado

de libertad de rotación. Lo anterior equivale a calcular los modos de vibrar en el modelo matemático restringiendo el grado de libertad de rotación.

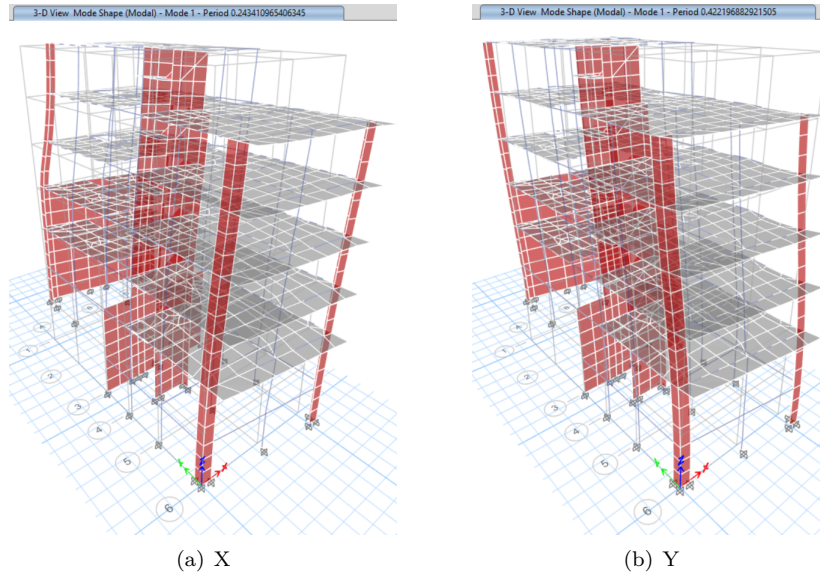


Figure 11: Periodos fundamentales en traslación pura

Table 17: Análisis sísmico estático

Factor de Zona (Tabla N° 1)
 Factor de Uso (Tabla N° 5)
 Periodos en traslación pura obtenidos del ETABS (Art. 28.4.2)
 Factor de Amplificación (Art. 14)
 Factor de Suelo (Tabla N°3)
 Coef. Básico de Reducción (Tabla N°7)
 Irregularidad en altura (Tabla N°8)
 Irregularidad en planta (Tabla N°9)
 Coef. de Reducción (Artículo 22)
 Verificación (Artículo 28.2.2)
 Peso sísmico (ETABS)
 Coeficientes
 Cortante estática (Art.28.2)
 Coeficiente k (Art.28.3.2)

PARÁMETROS SÍSMICOS		
	X	Y
Z	0.45	
U	1.50	
T	0.36	0.27
C	2.50	2.50
S	1.05	
R_o	8.00	7.00
I_a	1.00	1.00
I_p	1.00	1.00
R	8.00	7.00
C/R>0.11	0.31	0.36
Ps (Ton)	369.21	
ZUCS/R	0.22	0.25
V (ton)	81.78	93.46
k	1.00	1.00

Table 18: Análisis sísmico estático por pisos

Piso	Peso	Altura	H^{kx}	H^{ky}	PxHx	PxHy	ax	ay	Vx	Vy
Story3	90.122	12.200	12.200	12.200	1099.494	1099.494	0.368	0.368	30.133	34.437
Story2	135.809	8.600	8.600	8.600	1167.954	1167.954	0.391	0.391	32.009	36.581
Story1	143.284	5.000	5.000	5.000	716.420	716.420	0.240	0.240	19.634	22.439

1.9 Fuerza cortante mínima Art. 29.4 E-030

Art. 29.4.1

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no puede ser menor que el 80% del valor calculado según el artículo 25 para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

Art. 29.4.2

Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se escalan proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

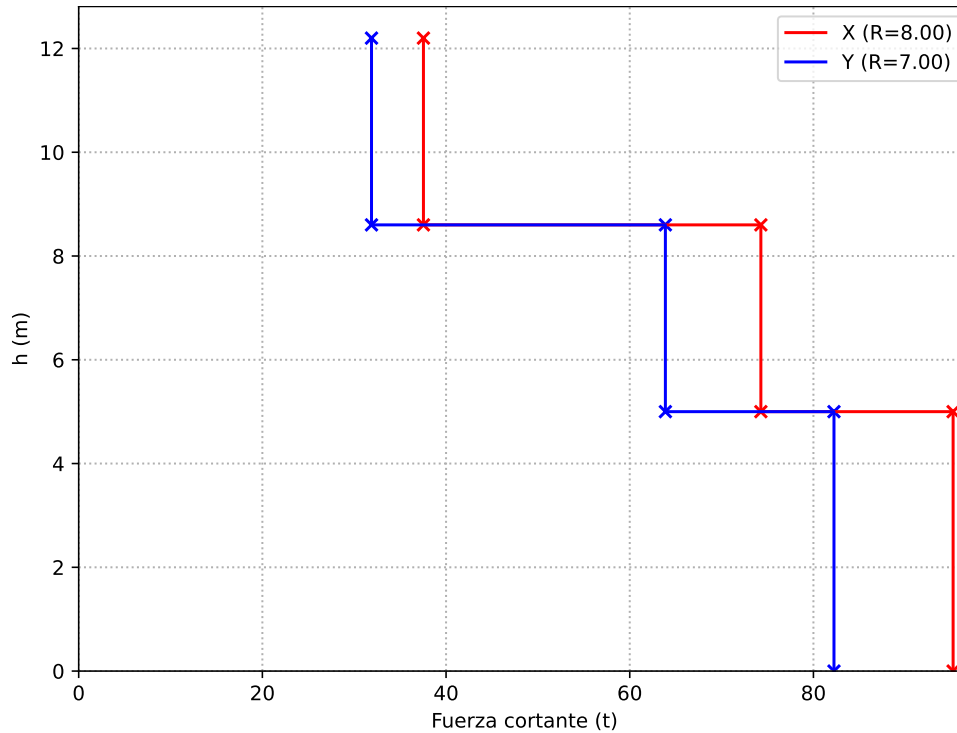


Figure 12: Cortantes de Entrepiso del Análisis Modal Espectral

1.10 Separación entre edificios Art. 33 E-030

Art. 33.1

Toda estructura está separada de las estructuras vecinas, desde el nivel del terreno natural, una distancia mínima s para evitar el contacto durante un movimiento sísmico.

Table 19: Escalamiento de la cortante dinámica

	X	Y
V din (Ton)	95.21	82.24
V est (Ton)	-109.04	-93.45
% min	80.00	80.00
%	87.32	88.00
F.E.	1.00	1.00

Art. 33.2

Esta distancia no es menor que los 2/3 de la suma de los desplazamientos máximos de los edificios adyacentes ni menor que:

$$s = 0.006 h \geq 0.03 m \quad (5)$$

Donde h es la altura medida desde el nivel del terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar s

Art. 33.3

El edificio se retira de los límites de propiedad adyacentes a otros lotes edificables, o con edificaciones, distancias no menores que 2/3 del desplazamiento máximo calculado según el artículo 28 ni menores que s/2 si la edificación existente cuenta con una junta sísmica reglamentaria.

Figure 13: Separación entre edificios

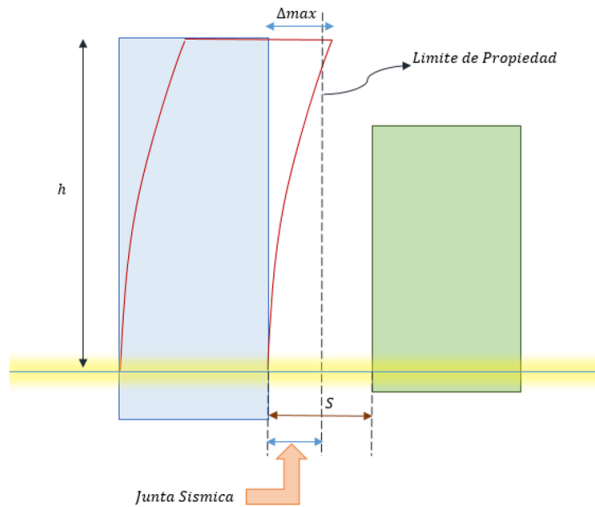


Table 20: Cálculo de la junta sísmica

<i>Altura del edificio</i>	h	1220.0	cm
<i>Separación mínima entre edificios</i>	s=0.006h	7.32	>3cm
<i>Separación mínima del limite de propiedad</i>	s/2	3.66	cm
<i>Desplazamiento máximo en X</i>	Δ_x	1.57	cm
<i>Desplazamiento máximo en Y</i>	Δ_y	0.72	cm
<i>Separación del limite de propiedad X</i>	2/3Δ_x	1.04	cm
<i>Separación del limite de propiedad Y</i>	2/3Δ_y	0.48	cm

Según lo calculado en la tabla 20 el edificio tendrá que ser separado del limite de propiedad 4.00 cm como mínimo en ambas direcciones, en el caso que no exista junta reglamentaria el edificio actual se separa del edificio existente el valor de s/2 que le corresponde, más el valor s/2 de la estructura vecina.