

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

**DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES**

**IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS QUE PUDIERON  
HABER SIDO IMPORTANTES EN EL DESEMPEÑO DE 20  
EDIFICIOS EN VIÑA DEL MAR DURANTE EL SISMO DE CHILE  
DE 2010**

**Diego Andrés Pereira Chamorro**

**Ingeniero Civil**

**Magíster en Ciencias de la Ingeniería Civil**

Profesor Guía

**Gilberto Leiva Henríquez**

Julio de 2017



**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

**DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES**

**IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS QUE PUDIERON  
HABER SIDO IMPORTANTES EN EL DESEMPEÑO DE 20  
EDIFICIOS EN VIÑA DEL MAR DURANTE EL SISMO DE CHILE  
DE 2010**

Tesis de Grado y Memoria de Título presentada por

**Diego Andrés Pereira Chamorro**

Como requisito parcial para optar al título de

**Ingeniero Civil**

Y el grado de

**Magíster en Ciencias de la Ingeniería Civil**

Profesor Guía

**Gilberto Leiva Henríquez**

Julio de 2017

TITULO DE LA TESIS:

**IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS QUE PUDIERON  
HABER SIDO IMPORTANTES EN EL DESEMPEÑO DE 20  
EDIFICIOS EN VIÑA DEL MAR DURANTE EL SISMO DE CHILE  
DE 2010**

AUTOR:

**DIEGO ANDRÉS PEREIRA CHAMORRO**

TRABAJO DE TESIS, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el **Grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería Civil** de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Gilberto Leiva H. ....

Patricio Bonelli C. ....

Carlos Aguirre A. ....

Valparaíso, Chile, Julio de 2017

# AGRADECIMIENTOS

A mi madre, padre y hermanos, por su apoyo incondicional

A mi novia, por su grata compañía

A mis amigos, con quienes viví el mismo proceso

A la Universidad Santa María por enseñarme a ser Ingeniero

# RESUMEN

El sismo de Chile de 2010, que tuvo una magnitud de 8.8 en la escala de Richter, afectó a un gran número de edificios en todo el país, especialmente en las ciudades de Santiago, Concepción y Viña del Mar.

En una zona acotada de la ciudad de Viña del Mar, varios edificios resultaron muy afectados, todos ellos con un patrón similar de daños. Debido a la gravedad del daño, algunos edificios tuvieron que ser demolidos.

El objetivo de este trabajo fue identificar las características comunes de las estructuras que pudieron haber influido en el comportamiento observado de los edificios dañados.

Para lograr el objetivo, se estudió una muestra de veinte edificios ubicados en el sector Plan de la ciudad de Viña del Mar, con características similares, que estaban construidos y ocupados al momento del sismo. Parte de la muestra, quince edificios, presentó daños estructurales importantes, incluyendo cuatro de ellos que tuvieron que ser demolidos posterior al sismo. El resto de los edificios no reportaron daños, y fueron considerados a efectos de comparación.

El nivel de desempeño que cada edificio habría alcanzado durante el sismo se determinó a partir de la información del estado del daño reportado para cada uno de ellos. Se evaluó una serie de características de los edificios, tales como propiedades estructurales, geométricas y de ubicación. Finalmente, estas características se correlacionaron con el nivel de desempeño asignado.

Los periodos naturales de vibración y los valores globales de la respuesta sísmica, como el corte basal y las deformaciones laterales, fueron algunos de los parámetros estructurales considerados en la evaluación. Los valores se obtuvieron a partir de un análisis modal espectral según las normativas chilenas.

Se verificó el grado de cumplimiento del diseño sísmico con respecto a la normativa vigente. Para ello, se consideraron tanto los parámetros de la respuesta global de los edificios como el diseño de los elementos dañados.

Las dimensiones en planta, la altura del edificio, las áreas en planta, las densidades de muros, la esbeltez en planta y en elevación fueron algunas de las propiedades geométricas consideradas. El efecto de la distribución de los muros en planta se incluyó definiendo una inercia de muros en planta.

Con respecto a los parámetros de ubicación, se incluyó la orientación del edificio con respecto al norte geográfico y la direccionalidad del daño observado. El efecto del tipo de suelo fue incluido mediante la comparación entre el período natural del suelo y los periodos de los edificios.

Finalmente, se analizaron los índices de irregularidad en planta y elevación según las disposiciones de la ASCE 7 2010.

Los resultados de este trabajo indicaron que algunas de las características analizadas podrían haber tenido una influencia significativa en el comportamiento observado en los edificios dañados durante el sismo de Chile de 2010. Las más importantes son la ubicación y orientación de los edificios, el efecto del acoplamiento suelo-estructura durante la respuesta sísmica, las irregularidades del edificio y la baja densidad de muros.

*Palabras clave: Daño en Edificios de H.A., Sismo de Chile del 2010, Características Estructurales de Edificios, Diseño Sísmico de Edificios*

# ABSTRACT

The 2010 Chile earthquake, which had a magnitude of 8.8 on the Richter scale, affected a large number of buildings throughout the country, especially in the cities of Santiago, Concepcion and Viña del Mar.

There were several buildings with severe damages in a limited area of the city of Viña del Mar, all of them with a similar pattern of damages. Due to the severity of the damage, some buildings had to be demolished.

The objective of this work was to identify common characteristics of the structures that may have had influence on the observed performance of damaged buildings.

To achieve the objective, a sample of twenty buildings located in the Plan area of the city of Viña del Mar, with similar characteristics, that were built and occupied at the time of the earthquake, were studied. Part of the sample, fifteen buildings, presented important structural damage, including four of them that had to be demolished after the earthquake. The rest of the buildings did not report damage, and were considered for comparison purposes.

The performance level that each building would have reached during the earthquake was determined from the information of the state of damage reported for each one of them. A series of characteristics of the buildings, such as structural properties, geometry and location parameters were evaluated. Finally, these characteristics were correlated with the assigned performance level.

Natural periods of vibration and global values of the seismic response, such as base shears and lateral deformations were some of the structural parameters considered in the evaluation. Their values were obtained from a modal spectral analysis according to Chilean code provisions.

The degree of compliance of the seismic design with respect to the current regulations was verified. To do this, both the parameters of the overall response of the buildings and the design of the damaged elements were considered.

Plan dimensions, building height, plan areas, wall densities, and slenderness in plan and height were some of the geometrical properties considered. The effect of the plan distribution of the walls was included by defining an equivalent inertia for the plan.

With respect to the location parameters, position of the building with respect to the geographical North and directionality of the observed damage were included. The effect of the soil type was included by the comparison between the natural period of the soil and the periods of the buildings.

Finally, irregularity indexes in plan and elevation were analyzed according to definitions of the ASCE 7 2010.

The results of this work indicated that some of the analyzed characteristics could have had important influence on the observed performance of damaged buildings during the 2010 Chile earthquake. The most important among them are the location and orientation of the buildings, the effect of the soil-structure coupling during the seismic response, the building irregularities, and a low density of walls.

*Keywords: R.C. Building Damage, Chilean Earthquake of 2010, Structural Characteristics of Buildings, Building Seismic Design*

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 General.....	1
1.2 Alcances y objetivos.....	1
<b>2 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO EMPLEADO EN EL ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS .....</b>	<b>3</b>
2.1 General.....	3
2.2 Principios del diseño por desempeño.....	3
2.2.1 Diseño por desempeño .....	3
2.2.2 Nivel de desempeño.....	3
2.2.3 Relación del nivel de desempeño con intensidad de daño, nivel de la respuesta y estado límite .....	4
2.2.4 Niveles de desempeño y estados límites considerados .....	5
2.3 Características y parámetros analizados en los edificios y su posible correlación con el nivel de desempeño.....	8
<b>3 DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS ANALIZADOS .....</b>	<b>9</b>
3.1 General.....	9
3.1.1 Planos arquitectónicos y estructurales .....	9
3.1.2 Memorias de cálculo, informes de daños y modelos .....	9
3.2 Viña del Mar .....	10
3.2.1 General.....	10
3.2.2 Suelos de Viña del Mar .....	11
3.3 Inventario de los edificios estudiados.....	13
3.4 Emplazamiento de los edificios estudiados.....	14
3.5 Descripción de los edificios .....	15
3.5.1 General.....	15
3.5.2 Edificios .....	15
<b>4 REVISIÓN DEL DISEÑO SÍSMICO DE LOS EDIFICIOS .....</b>	<b>95</b>
4.1 General .....	95
4.2 Análisis sísmico global .....	95
4.2.1 Suelo de fundación.....	95
4.2.2 Antecedentes para el análisis sísmico .....	97
4.2.3 Disposiciones de diseño.....	98
4.2.4 Resultados del análisis sísmico.....	100
4.2.5 Análisis de resultados con respecto a las disposiciones de la normativa.....	107
4.2.6 Análisis preliminar de los parámetros obtenidos del análisis sísmico.....	111

4.3 Análisis del diseño de los elementos dañados en los edificios según la normativa vigente .....	121
4.3.1 General.....	121
4.3.2 Aspectos normativos .....	122
4.3.3 Elementos analizados .....	124
4.3.4 Resumen de la verificación del diseño de los elementos dañados .....	182
<b>5 PERFIL BÍO-SÍSMICO DE LOS EDIFICIOS (GUENDELMAN T., LINDEMBERG J., 1997)</b>	<b>184</b>
5.1 General .....	184
5.2 Cálculo de Indicadores.....	184
5.2.1 General.....	184
5.2.2 Indicadores de Rigidez .....	186
5.2.3 Indicadores de Acoplamiento .....	196
5.2.4 Indicadores de Redundancia Estructural y Demanda de Ductilidad.....	215
5.3 Conclusiones .....	222
<b>6 ANÁLISIS DE INDICADORES ASOCIADOS A LOS PARÁMETROS DEL ANÁLISIS SÍSMICO .....</b>	<b>224</b>
6.1 General .....	224
6.2 Indicadores relacionados a los parámetros sísmicos.....	224
6.2.1 Indicadores relacionados con el peso sísmico .....	225
6.2.2 Indicadores relacionados con el corte basal y el momento volcante.....	230
6.3 Análisis de un posible acoplamiento entre los periodos del suelo y de las estructuras ...	240
6.3.1 General.....	240
6.3.2 Periodos naturales del suelo .....	240
6.3.3 Periodos fundamentales de los edificios .....	241
6.3.4 Análisis de Periodos.....	242
6.3.5 Análisis de tendencias del periodo del suelo con respecto al rango definido por los periodos no-agrietados y agrietados de los edificios.....	246
6.3.6 Comentarios.....	252
6.3.7 Conclusiones.....	253
<b>7 ORIENTACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS EDIFICIOS .....</b>	<b>254</b>
7.1 General .....	254
7.2 Orientación geográfica .....	254
7.2.1 Direccionalidad del daño en los edificios.....	254
7.2.2 Orientación geográfica de los edificios.....	255
7.2.3 Análisis de la relación entre la orientación del daño a nivel local y geográfico.....	260
7.2.4 Comentarios.....	260
7.3 Análisis de las características geométricas de los edificios .....	261
7.3.1 Número de pisos y alturas.....	261
7.3.2 Dimensiones en planta .....	265

<b>8 CARACTERÍSTICAS DE LAS PLANTAS DE PISO .....</b>	<b>276</b>
8.1 General .....	276
8.2 Áreas.....	276
8.2.1 Áreas de las plantas.....	276
8.2.2 Áreas de muro.....	279
8.3 Densidad de muros .....	283
8.4 Densidad de muros en el piso crítico y dirección del daño observado.....	288
8.5 Distribución de Muros en Planta.....	290
8.5.1 General.....	290
8.5.2 Momentos de Inercia de las secciones de muro en planta.....	290
8.5.3 Radio de giro de muros en planta .....	294
8.5.4 Radio de giro sobre la altura del edificio.....	299
8.5.5 Radio de giro sobre el ancho de planta .....	302
8.5.6 Conclusiones.....	305
<b>9 IRREGULARIDADES DE LOS EDIFICIOS .....</b>	<b>306</b>
9.1 General .....	306
9.2 Índices de Irregularidad geométrica según ASCE 7 2010.....	306
9.3 Irregularidades en planta ASCE 7 2010.....	307
9.3.1 Irregularidad torsional.....	307
9.3.2 Irregularidad por entradas en planta .....	312
9.3.3 Irregularidad por discontinuidad de diafragma .....	313
9.3.4 Irregularidad por elemento resistente lateral fuera de plano vertical .....	315
9.3.5 Irregularidad por sistemas no paralelos.....	318
9.4 Irregularidades Verticales.....	320
9.4.1 Irregularidad en rigidez (piso blando) .....	320
9.4.2 Irregularidad de masas.....	325
9.4.3 Irregularidad vertical geométrica .....	327
9.4.4 Irregularidad por discontinuidad en el plano de los elementos verticales resistentes a fuerzas laterales (desfase de muros) .....	329
9.4.5 Irregularidad por discontinuidad en resistencia (piso débil).....	333
9.5 Resumen de las irregularidades evaluadas .....	337
9.6 Conclusiones.....	339
<b>10 CONCLUSIONES .....</b>	<b>340</b>
10.1 Resumen.....	340
10.2 Conclusiones.....	340
<b>11 REFERENCIAS.....</b>	<b>343</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ejemplo de daño estructural .....	5
Figura 2.2 Nivel de desempeño en función del desplazamiento relativo global alcanzado [ACI 374] .....	7
Figura 3.1 Distancia entre Viña del Mar y el epicentro del sismo .....	10
Figura 3.2 Mapa Geológico propuesto para Viña del Mar [Carrasco-Nuñez 2013] .....	11
Figura 3.3 Plano isobático del sector Plan de Viña del Mar (Fuente: Adaptación de Verdugo 1996) .....	12
Figura 3.4 Emplazamiento de los edificios estudiados* (modificación de Thiers 2014) .....	14
Figura 3.5 Planta piso 1 edificio N1 .....	17
Figura 3.6 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D edificio N1 .....	17
Figura 3.7 Elemento dañado N1-1 .....	18
Figura 3.8 Edificio N1, planta piso 1, se indica el elemento dañado .....	18
Figura 3.9 Elevación eje E indicando el daño observado .....	19
Figura 3.10 Planta piso 1 edificio A2 .....	21
Figura 3.11 Elevaciones X-Z e Y-Z en vista 3D edificio A2 .....	21
Figura 3.12 Daño observado en elemento A2-1 .....	22
Figura 3.13 Daño observado en elemento A2-3 .....	22
Figura 3.14 Daño observado en elemento A2-4 .....	22
Figura 3.15 Planta piso 1 del edificio A2, se indican zonas y elementos dañados .....	23
Figura 3.16 Elevación G1-2, edificio A2, se indica el daño observado .....	23
Figura 3.17 Planta piso 1 edificio A3 .....	25
Figura 3.18 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D edificio A3 .....	25
Figura 3.19 Elemento dañado A3-1 .....	26
Figura 3.20 Elemento dañado A3-2 .....	26
Figura 3.21 Elemento dañado A3-3 .....	26
Figura 3.22 Elemento dañado A3-4 .....	27
Figura 3.23 Edificio N1, planta piso 1 indicando elementos dañados .....	27
Figura 3.24 Edificio N1, planta subterráneo 1 indicando elementos dañados .....	28
Figura 3.25 Piso 2, eje E, se indica machón dañado .....	28
Figura 3.26 Elevación ejes 16 y 14 respectivamente, se indica el daño observado .....	29
Figura 3.27 Elevación eje E, se indica el daño observado .....	29
Figura 3.28 Planta piso 1 edificio B4 .....	31
Figura 3.29 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio B4 .....	31
Figura 3.30 Elemento dañado B4-1 .....	32
Figura 3.31 Elemento dañado B4-2 .....	32
Figura 3.32 Elemento dañado B4-3 .....	32

Figura 3.33 Elemento dañado B4-4 .....	33
Figura 3.34 Edificio B4, planta piso 1, se indican los elementos dañados .....	33
Figura 3.35 Elevación ejes 8 y F respectivamente, se indica el daño observado .....	34
Figura 3.36 Elevación ejes 4 y 6 respectivamente, se indica el daño observado.....	34
Figura 3.37 Edificio F5, planta piso 1 .....	36
Figura 3.38 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D edificio F5.....	36
Figura 3.39 Elemento dañado F5-1.....	37
Figura 3.40 Elemento dañado F5-2.....	37
Figura 3.41 Elemento dañado F5-3.....	37
Figura 3.42 Elemento dañado F5-4.....	38
Figura 3.43 Elemento dañado F5-5.....	38
Figura 3.44 Edificio F5, planta piso 1, se indican los elementos dañados .....	38
Figura 3.45 Elevación ejes A y C, edificio F5, se indica el daño observado .....	39
Figura 3.46 Elevación ejes 12 y 9 respectivamente del edificio F5, se indica el daño observado .....	39
Figura 3.47 Planta piso 1 edificio M6 .....	41
Figura 3.48 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio M6 .....	41
Figura 3.49 Elemento dañado M6-1.....	42
Figura 3.50 Edificio M6, planta piso 1, se indica elemento dañado.....	42
Figura 3.51 Elevación del eje C del edificio M6, se indica el daño observado .....	43
Figura 3.52 Planta piso 1 edificio M7 .....	45
Figura 3.53 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio M7 .....	45
Figura 3.54 Elemento dañado M7-1.....	46
Figura 3.55 Elemento dañado M7-2.....	46
Figura 3.56 Edificio M7, planta piso 1, se indican los elementos dañados .....	47
Figura 3.57 Edificio M7, planta piso 2, se indica el elemento dañado.....	47
Figura 3.58 Elevación ejes C y 7 respectivamente del edificio M7, se indica el daño observado .....	48
Figura 3.59 Planta piso 1 edificio M8 .....	50
Figura 3.60 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio M8 .....	50
Figura 3.61 Elemento dañado M8-1.....	51
Figura 3.62 Elemento dañado M8-2.....	51
Figura 3.63 Elemento dañado M8-3.....	51
Figura 3.64 Planta del piso 1 del edificio M8, se indican los elementos dañados M8-2 y M8-1 respectivamente.....	52
Figura 3.65 Edificio M8, planta piso 1, se indica el elemento M8-3 dañado.....	52
Figura 3.66 Elevación ejes C' y B del edificio M7, se indica el daño observado .....	53
Figura 3.67 Planta piso 1 edificio M9 .....	55
Figura 3.68 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio M9 .....	55

Figura 3.69 Elemento dañado M9-1 .....	56
Figura 3.70 Planta del piso 1 del edificio M9, se indica el elemento dañado .....	56
Figura 3.71 Elevación del eje 1 del edificio M9, se indica el daño observado.....	57
Figura 3.72 Planta piso 1 edificio R10.....	59
Figura 3.73 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio R10.....	59
Figura 3.74 Elemento dañado R10-1 .....	60
Figura 3.75 Elemento dañado R10-2 .....	60
Figura 3.76 Elemento dañado R10-3 .....	60
Figura 3.77 Planta del subterráneo del edificio R10, se indican los elementos dañados.....	61
Figura 3.78 Elevación del eje P del edificio R10, se indican los elementos dañados .....	61
Figura 3.79 Planta piso 1 edificio R11.....	63
Figura 3.80 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio R11.....	63
Figura 3.81 Elemento dañado R11-1 .....	64
Figura 3.82 Elemento dañado R11-2 .....	64
Figura 3.83 Elemento dañado R11-3 .....	64
Figura 3.84 Planta del subterráneo del edificio R11, se indican los elementos dañados.....	65
Figura 3.85 Elevación del K del edificio R11, se indican los elementos dañados .....	65
Figura 3.86 Planta piso 1 edificio T12 .....	67
Figura 3.87 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio T12.....	67
Figura 3.88 Elemento dañado T12-1.....	68
Figura 3.89 Elemento dañado T12-2.....	68
Figura 3.90 Elemento dañado T12-3.....	69
Figura 3.91 Planta del piso 1 del edificio T12, se indican los elementos dañados.....	69
Figura 3.92 Elevación ejes H y 12 respectivamente del edificio T12, se indica el daño observado .....	70
Figura 3.93 Elevación del eje G del edificio T12, se indica el daño observado.....	70
Figura 3.94 Planta piso 1 edificio T13 .....	72
Figura 3.95 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio T13.....	72
Figura 3.96 Elemento dañado T13-1.....	73
Figura 3.97 Elemento dañado T13-1.....	73
Figura 3.98 Elemento dañado T13-1.....	73
Figura 3.99 Elementos dañados T13-4.1, T13-4.2 y T13-4.3.....	74
Figura 3.100 Planta del piso 1 del edificio T13, se indican los elementos dañados.....	74
Figura 3.101 Elevación del eje 2 del edificio T13, se indica el daño observado.....	75
Figura 3.102 Planta piso 1 edificio T14 .....	77
Figura 3.103 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio T14 .....	77
Figura 3.104 Elemento dañado T14-1.....	78
Figura 3.105 Elemento dañado T14-2.....	78

Figura 3.106 Elemento dañado T14-3.....	78
Figura 3.107 Elemento dañado T14-4.....	79
Figura 3.108 Planta del piso 2 al 8 del edificio T14, se indican los elementos dañados según el respectivo piso .....	79
Figura 3.109 Elevación ejes L y 7 respectivamente del edificio T14, se indica el daño observado .....	80
Figura 3.110 Elevación eje 9 del edificio T14, se indica el daño observado .....	80
Figura 3.111 Planta piso 1 edificio T15 .....	82
Figura 3.112 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio T15.....	82
Figura 3.113 Elemento dañado T15-1.....	83
Figura 3.114 Elemento dañado T15-2.....	83
Figura 3.115 Planta del piso 1 del edificio T15, se indican los elementos dañados.....	84
Figura 3.116 Elevación ejes 2 y 4 respectivamente del edificio T15, se indica el daño observado .....	84
Figura 3.117 Planta piso 1 edificio P16.....	86
Figura 3.118 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio P16.....	86
Figura 3.119 Planta piso 1 edificio R17.....	88
Figura 3.120 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio R17.....	88
Figura 3.121 Planta piso 1 edificio S18.....	90
Figura 3.122 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio S18.....	90
Figura 3.123 Planta piso 1 edificio S19.....	92
Figura 3.124 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio S19.....	92
Figura 3.125 Planta piso 1 edificio V20.....	94
Figura 3.126 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio V20.....	94
Figura 4.1 Antecedentes de ensayos Down-Hole, obtenidos de Carrasco Nuñez 2013. (*) Dato obtenido del estudio de mecánica de suelos del edificio.....	96
Figura 4.2 Espectros elásticos de diseño para suelos C y D .....	98
Figura 4.3 Cortes como porcentaje del peso sísmico, eje x.....	108
Figura 4.4 Cortes como porcentaje del peso sísmico, eje y.....	108
Figura 4.5 Desplazamientos relativos de entrepisos de los centros de masas, eje x (‰).....	109
Figura 4.6 Desplazamientos relativos de entrepisos de los centros de masas, eje y (‰).....	110
Figura 4.7 Diferencia máxima entre el desplazamiento relativo de entrepiso del centro de masas y un punto cualquiera del piso, eje x (‰) .....	110
Figura 4.8 Diferencia máxima entre el desplazamiento relativo de entrepiso del centro de masas y un punto cualquiera del piso, eje y (‰) .....	111
Figura 4.9 Pesos sísmicos de los edificios.....	112
Figura 4.10 Periodos de los edificios en la dirección x.....	113
Figura 4.11 Periodos de los edificios en la dirección y.....	114
Figura 4.12 Cortes basales del análisis sísmico en la dirección x.....	115
Figura 4.13 Cortes basales del análisis sísmico en la dirección y.....	116

Figura 4.14 Desplazamientos elásticos de techo del análisis sísmico en la dirección x .....	117
Figura 4.15 Desplazamientos elásticos de techo del análisis sísmico en la dirección y .....	118
Figura 4.16 Desplazamientos de diseño en la dirección x .....	119
Figura 4.17 Desplazamientos de diseño en la dirección y .....	120
Figura 4.18 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento N1-1.....	125
Figura 4.19 Detalle de armaduras del elemento N1-1.....	126
Figura 4.20 Diagrama de interacción del elemento N1-1 .....	127
Figura 4.21 Diagrama de momento curvatura del elemento N1-1.....	128
Figura 4.22 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento A3-1.....	129
Figura 4.23 Detalle de armaduras del elemento A3-1 .....	130
Figura 4.24 Diagrama de interacción del elemento A3-1 .....	131
Figura 4.25 Diagrama de momento curvatura del elemento A3-1.....	132
Figura 4.26 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento A3-2.....	134
Figura 4.27 Detalle de armaduras del elemento A3-2.....	135
Figura 4.28 Diagrama de interacción del elemento A3-1 .....	136
Figura 4.29 Diagrama de momento curvatura del elemento A3-2.....	137
Figura 4.30 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento B4-3.....	138
Figura 4.31 Detalle de armaduras del elemento B4-3, corte transversal y elevación.....	139
Figura 4.32 Diagrama de interacción del elemento B4-3 .....	140
Figura 4.33 Diagrama de momento curvatura del elemento B4-3.....	141
Figura 4.34 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento B4-4.....	143
Figura 4.35 Detalle de armaduras del elemento B4-4, corte transversal y elevación.....	144
Figura 4.36 Diagrama de interacción del elemento B4-4 .....	145
Figura 4.37 Diagrama de momento curvatura del elemento B4-4.....	146
Figura 4.38 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento F5-1 .....	147
Figura 4.39 Detalle de armaduras del elemento F5-1, corte transversal y elevación.....	148
Figura 4.40 Diagrama de interacción del elemento F5-1 .....	149
Figura 4.41 Diagrama de momento curvatura del elemento F5-1 .....	150
Figura 4.42 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento M6-1 .....	152
Figura 4.43 Detalle de armaduras del elemento M6-1 .....	153
Figura 4.44 Diagrama de interacción del elemento M6-1.....	154
Figura 4.45 Diagrama de momento curvatura del elemento M6-1 .....	155
Figura 4.46 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento R10-2.....	156
Figura 4.47 Detalle de armaduras del elemento R10-2.....	157
Figura 4.48 Diagrama de interacción del elemento R10-2.....	158
Figura 4.49 Diagrama de momento curvatura del elemento R10-2.....	159
Figura 4.50 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento R11-2.....	161
Figura 4.51 Detalle de armaduras del elemento R11-2.....	162

Figura 4.52 Diagrama de interacción del elemento R11-2 .....	163
Figura 4.53 Diagrama de momento curvatura del elemento R11-2.....	164
Figura 4.54 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento T12-2.....	165
Figura 4.55 Detalle de armaduras del elemento T12-2 .....	166
Figura 4.56 Diagrama de interacción del elemento T12-2 .....	167
Figura 4.57 Diagrama de momento curvatura del elemento T12-2.....	168
Figura 4.58 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento T13-1 .....	169
Figura 4.59 Detalle de armaduras del elemento T13-1 .....	170
Figura 4.60 Diagrama de interacción del elemento T13-1 .....	171
Figura 4.61 Diagrama de momento curvatura del elemento T13-1 .....	172
Figura 4.62 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento T13-2.....	173
Figura 4.63 Detalle de armaduras del elemento T13-2 .....	174
Figura 4.64 Diagrama de interacción del elemento T13-2 .....	175
Figura 4.65 Diagrama de momento curvatura del elemento T13-2.....	176
Figura 4.66 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento T15-1 .....	178
Figura 4.67 Detalle de armaduras del elemento T15-1 .....	179
Figura 4.68 Diagrama de interacción del elemento T15-1 .....	180
Figura 4.69 Diagrama de momento curvatura del elemento T15-1 .....	181
Figura 5.1 Cuociente entre la altura y el periodo del primer modo traslacional dirección x.....	187
Figura 5.2 Cuociente entre la altura y el periodo del primer modo traslacional dirección y.....	188
Figura 5.3 Efecto P- $\Delta$ en torno a la dirección x (sismo en y).....	190
Figura 5.4 Efecto P- $\Delta$ en torno a la dirección y (sismo en x).....	191
Figura 5.5 Desplazamientos del nivel superior del edificio dirección x.....	193
Figura 5.6 Desplazamientos del nivel superior del edificio dirección y.....	194
Figura 5.7 Cuociente entre periodos fundamentales dirección x.....	197
Figura 5.8 Cuociente entre periodos fundamentales dirección y.....	198
Figura 5.9 Masa equivalente rotacional acoplada dirección x.....	200
Figura 5.10 Masa equivalente rotacional acoplada dirección y .....	201
Figura 5.11 Excentricidad dinámica asociada a $e_y$ .....	203
Figura 5.12 Excentricidad dinámica asociada a $e_x$ .....	204
Figura 5.13 Cuociente de masas equivalentes, traslacionales acoplada y directa dirección x.....	207
Figura 5.14 Cuociente de masas equivalentes, traslacionales acoplada y directa dirección y.....	208
Figura 5.15 Cuociente entre los cortes acoplados y directos dirección x.....	210
Figura 5.16 Cuociente entre los cortes acoplados y directos dirección y .....	211
Figura 5.17 Momentos volcantes acoplados y directos sismo x.....	213
Figura 5.18 Momentos volcantes acoplados y directos sismo y.....	214
Figura 5.19 Número de elementos relevantes en la resistencia sísmica dirección x .....	217
Figura 5.20 Número de elementos relevantes en la resistencia sísmica dirección y .....	218

Figura 5.21 Factor de reducción espectral NCh433 dirección x.....	220
Figura 5.22 Factor de reducción espectral NCh433 dirección y.....	221
Figura 6.1 Pesos sísmicos unitarios.....	226
Figura 6.2 Pesos sísmicos unitarios por N° de pisos .....	227
Figura 6.3 Pesos sísmicos sobre el largo de la planta en dirección dañada o vulnerable .....	229
Figura 6.4 Pesos sísmicos sobre el largo de la planta en dirección sin daños o menos vulnerable .....	230
Figura 6.5 Corte como porcentaje del peso en dirección con daños sobre la esbeltez en dirección con daños.....	232
Figura 6.6 Corte como porcentaje del peso en dirección sin daños sobre la esbeltez en dirección sin daños.....	232
Figura 6.7 Momentos volcantes sobre longitud en planta dirección del daño .....	235
Figura 6.8 Momentos volcantes sobre longitud en planta dirección sin daños.....	236
Figura 6.9 Nivel de desempeño en función del desplazamiento relativo global alcanzado en edificios de muros (ACI 374.2R, 2013) .....	238
Figura 6.10 Drift global de diseño dirección con daños %.....	239
Figura 6.11 Drift global de diseño dirección sin daños %.....	239
Figura 6.12 Mapa isoperiodos del suelo de Viña del Mar (Carrasco-Nuñez 2013) .....	240
Figura 6.13 Periodos del suelo y de los edificios en la dirección con daños en los edificios. En paréntesis, dirección evaluada.....	244
Figura 6.14 Periodos de los edificios y del suelo dirección sin daños en los edificios. En paréntesis, dirección evaluada.....	244
Figura 6.15 Periodos del suelo y de los edificios en la dirección con daños en los edificios. En paréntesis, dirección evaluada. Límite inferior reducido un 10%. .....	248
Figura 6.16 Periodos del suelo y de los edificios en la dirección sin daños en los edificios. En paréntesis, dirección evaluada. Límite inferior reducido un 10%. .....	248
Figura 6.17 Periodos del suelo y de los edificios en la dirección con daños en los edificios. En paréntesis, dirección evaluada. Límites inferior y superior reducidos un 15%. .....	251
Figura 6.18 Periodos del suelo y de los edificios en la dirección sin daños en los edificios. En paréntesis, dirección evaluada. Límites inferior y superior reducidos un 15%. .....	251
Figura 7.1 Ubicación geográfica de los edificios indicando la dirección del eje mayor (flecha blanca) y del daño (flecha negra).....	258
Figura 7.2 Representación gráfica del ángulo de la dirección principal del edificio con respecto al norte .....	259
Figura 7.3 Alturas de entrepiso de los pisos y subterráneos de cada edificio .....	262
Figura 7.4 Número de pisos y subterráneos por edificio .....	263
Figura 7.5 Altura de los edificios en metros .....	263
Figura 7.6 Distribución de longitudes máximas de piso en altura .....	266
Figura 7.7 Longitud representativa máxima de la planta de los edificios Lx.....	267
Figura 7.8 Distribución del ancho mínimo de la planta en altura Ly .....	268
Figura 7.9 Longitud representativa mínima de la planta de los edificios Ly .....	268
Figura 7.10 Distribución de la esbeltez de la planta en altura Lx/Ly .....	270

Figura 7.11 Esbeltez en planta representativa de los edificios Lx/Ly .....	270
Figura 7.12 Esbeltez global eje x .....	272
Figura 7.13 Esbeltez global eje y .....	273
Figura 7.14 Altura sobre esbeltez en planta Hsc/Lx/Ly .....	274
Figura 8.1 Distribución en altura del área de la planta del piso [m <sup>2</sup> ] .....	277
Figura 8.2 Área promedio de planta de piso (se excluyen subterráneos) [m <sup>2</sup> ] .....	278
Figura 8.3 Distribución en altura del área de muros en el eje x [m <sup>2</sup> ] .....	279
Figura 8.4 Área promedio de muro en altura eje x (se excluyen subterráneos) [m <sup>2</sup> ].....	280
Figura 8.5 Distribución en altura del área de muros en el eje y [m <sup>2</sup> ] .....	280
Figura 8.6 Área promedio de muro en altura eje y (se excluyen subterráneos) [m <sup>2</sup> ].....	281
Figura 8.7 Área promedio de muro total en altura (se excluyen subterráneos) [m <sup>2</sup> ] .....	281
Figura 8.8 Distribución en altura de la densidad de muros dirección x ( $\rho_x$ [%]) .....	284
Figura 8.9 Distribución en altura de la densidad de muros dirección y ( $\rho_y$ [%]) .....	284
Figura 8.10 Densidad de muros promedio dirección x (se excluyen subterráneos) [%] .....	285
Figura 8.11 Densidad de muros promedio eje y (se excluyen subterráneos) [%] .....	285
Figura 8.12 Densidad de muros total promedio (se excluyen subterráneos) [%] .....	286
Figura 8.13 Densidad de muros del piso crítico dirección x [%] .....	289
Figura 8.14 Densidad de muros del piso crítico dirección y [%] .....	289
Figura 8.15 Esquema de sección rectangular y su disposición con respecto al eje del centro de masas del piso .....	291
Figura 8.16 suma de Inercias locales $\Sigma I_{loc}$ con respecto a x (sismo y) [m <sup>4</sup> ].....	292
Figura 8.17 suma de Inercias locales $\Sigma I_{loc}$ con respecto a y (sismo x) [m <sup>4</sup> ].....	293
Figura 8.18 suma de Inercias globales $\Sigma I_{glob}$ con respecto a x (sismo y) [m <sup>4</sup> ] .....	293
Figura 8.19 suma de Inercias globales $\Sigma I_{glob}$ con respecto a y (sismo x) [m <sup>4</sup> ] .....	294
Figura 8.20 Radio de giro $i_g$ con respecto al eje x .....	296
Figura 8.21 Radio de giro $i_g$ con respecto al eje y .....	297
Figura 8.22 Radio de giro $i_g$ total .....	298
Figura 8.23 Radio de giro $i_g$ c/r al eje x sobre la altura del edificio .....	300
Figura 8.24 Radio de giro c/r al eje y sobre la altura del edificio .....	301
Figura 8.25 Radio de giro $i_g$ c/r al eje x sobre la longitud en dirección y .....	303
Figura 8.26 Promedios del radio de giro $i_g$ c/r al eje y sobre la longitud en dirección x.....	304
Figura 9.1 Esquema de irregularidad torsional según ASCE 7 2010 .....	308
Figura 9.2 Índice de torsión y sus límites, en dirección x .....	309
Figura 9.3 Índice de torsión y sus límites, en dirección y .....	310
Figura 9.4 Esquema de irregularidad por entradas en planta (ASCE 7 2010) .....	312
Figura 9.5 Esquema de irregularidad por discontinuidad en diafragma según ASCE 7 2010 ..	314
Figura 9.6 Esquema de irregularidad por elemento fuera del plano vertical según ASCE 7 2010 .....	315

Figura 9.7 Elemento fuera del plano vertical, vista en planta piso 1 del edificio T15 (elemento 1)	316
Figura 9.8 Elemento fuera del plano vertical, edificio T15 vista en elevación y en 3D (elemento 1)	316
Figura 9.9 Elemento fuera del plano vertical, vista en planta piso 1 del edificio T15 (elemento 2)	317
Figura 9.10 Elemento fuera del plano vertical, edificio T15 vista en elevación y en 3D (elemento 2)	317
Figura 9.11 Daño en elemento T15-1 (apoyo del elemento 1)	318
Figura 9.12 Esquema de irregularidad por sistemas no paralelos según ASCE 7 2010	319
Figura 9.13 Planta edificio A2, sistemas no paralelos	319
Figura 9.14 Detalle sistemas no paralelos del edificio A2	320
Figura 9.15 Esquemas de irregularidades de rigidez según ASCE 7 2010	321
Figura 9.16 Desplazamiento lateral de muro rectangular bajo carga V	322
Figura 9.17 Menor proporción de rigidez entre piso 1 y 2 eje x	323
Figura 9.18 Proporción de rigidez entre piso 1 y 2 eje y	324
Figura 9.19 Esquema de irregularidad de masas según ASCE 7, 2010	326
Figura 9.20 Esquema de irregularidad vertical geométrica según ASCE 7 2010	327
Figura 9.21 Esquema de irregularidad por discontinuidad en elementos verticales según ASCE 7 2010	329
Figura 9.22 Esquema de discontinuidad de muro en planta (elaboración propia)	330
Figura 9.23 Porcentaje de continuidad de muros	332
Figura 9.24 Esquema de irregularidad por discontinuidad en capacidad (piso débil) según ASCE 7 2010	334
Figura 9.25 Discontinuidad en capacidad eje x	335
Figura 9.26 Discontinuidad en capacidad eje y	336

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Probabilidad de excedencia y periodo de retorno por nivel de desempeño [ASCE/SEI 41-13].....	4
Tabla 2.2 Nivel de desempeño según el daño (ASCE/SEI 41-13, FEMA 247-1995) .....	8
Tabla 3.1 Registro de edificios con mal desempeño. ....	13
Tabla 3.2 Registro de edificios con buen desempeño. ....	13
Tabla 3.3 Tabla resumen edificio N1.....	16
Tabla 3.4 Tabla resumen edificio A2.....	20
Tabla 3.5 Tabla resumen edificio A3.....	24
Tabla 3.6 Tabla resumen edificio B4.....	30
Tabla 3.7 Tabla resumen edificio F5.....	35
Tabla 3.8 Tabla resumen edificio M6.....	40
Tabla 3.9 Tabla resumen edificio M7.....	44
Tabla 3.10 Tabla resumen edificio M8.....	49
Tabla 3.11 Tabla resumen edificio M9.....	54
Tabla 3.12 Tabla resumen edificio R10.....	58
Tabla 3.13 Tabla resumen edificio R11.....	62
Tabla 3.14 Tabla resumen edificio T12.....	66
Tabla 3.15 Tabla resumen edificio T13.....	71
Tabla 3.16 Tabla resumen edificio T14.....	76
Tabla 3.17 Tabla resumen edificio T15.....	81
Tabla 3.18 Tabla resumen edificio P16.....	85
Tabla 3.19 Tabla resumen edificio R17.....	87
Tabla 3.20 Tabla resumen edificio S18.....	89
Tabla 3.21 Tabla resumen edificio S19.....	91
Tabla 3.22 Tabla resumen edificio V20.....	93
Tabla 4.1 Clasificación del tipo de suelo según Decreto 61.....	96
Tabla 4.2 cálculo de $C_d^*$ según Decreto 61.....	99
Tabla 4.3 Valores máximos del coeficiente sísmico.....	100
Tabla 4.4 Parámetros de entrada para el análisis sísmico.....	101
Tabla 4.5 Periodos fundamentales y porcentaje de participación modal.....	102
Tabla 4.6 Cortes basales del análisis sísmico.....	103
Tabla 4.7 Cortes basales de diseño.....	104

Tabla 4.8 Desplazamientos elásticos de techo del análisis sísmico .....	105
Tabla 4.9 Desplazamientos relativos de entrepisos del análisis sísmico (‰) .....	105
Tabla 4.10 Desplazamientos laterales de diseño (Decreto 61) .....	106
Tabla 4.11 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los pesos sísmicos en los edificios, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio .....	112
Tabla 4.12 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los periodos fundamentales en la dirección x, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio .....	113
Tabla 4.13 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los periodos fundamentales en la dirección y, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio .....	114
Tabla 4.14 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los cortes basales en dirección x, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio .....	115
Tabla 4.15 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los cortes basales en dirección y, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio .....	116
Tabla 4.16 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los desplazamientos de techo en dirección x, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio .....	117
Tabla 4.17 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los desplazamientos de techo en dirección y, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio .....	118
Tabla 4.18 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los desplazamientos de diseño en la dirección x, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio .....	120
Tabla 4.19 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los desplazamientos de diseño en la dirección y, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio .....	121
Tabla 4.20 Combinaciones de carga según NCh3171 .....	122
Tabla 4.21 Parámetros para el elemento N1-1 .....	125
Tabla 4.22 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento N1-1 .....	126
Tabla 4.23 Verificación de la curvatura en elemento A3-2 .....	127
Tabla 4.24 Verificación de requerimiento de elemento de borde elemento N1-1 .....	128
Tabla 4.25 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento N1-1 .....	129
Tabla 4.26 Resultados de la verificación del corte del elemento N1-1 .....	129
Tabla 4.27 Parámetros para el elemento A3-1 .....	130
Tabla 4.28 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento A3-1 .....	131
Tabla 4.29 Verificación de la curvatura en elemento A3-2 .....	132
Tabla 4.30 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento A3-1 .....	133
Tabla 4.31 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento A3-1 .....	133
Tabla 4.32 Resultados de la verificación del corte del elemento A3-1 .....	133
Tabla 4.33 Parámetros para el elemento A3-2 .....	134

Tabla 4.34 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento A3-2 .....	135
Tabla 4.35 Verificación de la curvatura en elemento A3-2 .....	136
Tabla 4.36 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento A3-2 .....	137
Tabla 4.37 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento A3-2 .....	138
Tabla 4.38 Resultados de la verificación del corte del elemento A3-2 .....	138
Tabla 4.39 Parámetros para el elemento B4-3.....	139
Tabla 4.40 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento B4-3 .....	140
Tabla 4.41 Verificación de la curvatura en elemento B4-3.....	141
Tabla 4.42 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento B4-3 .....	142
Tabla 4.43 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento B4-3 .....	142
Tabla 4.44 Resultados de la verificación del corte del elemento B4-3 .....	142
Tabla 4.45 Parámetros para el elemento B4-4.....	143
Tabla 4.46 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento B4-4 .....	144
Tabla 4.47 Verificación de la curvatura en elemento B4-4.....	145
Tabla 4.48 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento B4-4 .....	146
Tabla 4.49 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento B4-4 .....	147
Tabla 4.50 Resultados de la verificación del corte del elemento B4-4 .....	147
Tabla 4.51 Parámetros para el elemento F5-1.....	148
Tabla 4.52 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento F5-1.....	149
Tabla 4.53 Verificación de la curvatura en elemento F5-1 .....	150
Tabla 4.54 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento F5-1 .....	151
Tabla 4.55 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento F5-1.....	151
Tabla 4.56 Resultados de la verificación del corte del elemento F5-1 .....	151
Tabla 4.57 Parámetros para el elemento M6-1 .....	152
Tabla 4.58 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento M6-1.....	153
Tabla 4.59 Verificación de la curvatura en elemento M6-1 .....	154
Tabla 4.60 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento M6-1.....	155
Tabla 4.61 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento M6-1 .....	156
Tabla 4.62 Resultados de la verificación del corte del elemento M6-1 .....	156
Tabla 4.63 Parámetros para el elemento R10-2 .....	157
Tabla 4.64 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento R10-2 .....	158
Tabla 4.65 Verificación de la curvatura en elemento R10-2.....	159
Tabla 4.66 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento R10-2 .....	160
Tabla 4.67 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento R10-2 .....	160

Tabla 4.68 Resultados de la verificación del corte del elemento R10-2.....	160
Tabla 4.69 Parámetros para el elemento R11-2 .....	161
Tabla 4.70 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento R11-2 .....	162
Tabla 4.71 Verificación de la curvatura en elemento R11-2.....	163
Tabla 4.72 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento R11-2.....	164
Tabla 4.73 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento R11-2 .....	165
Tabla 4.74 Resultados de la verificación del corte del elemento R11-2.....	165
Tabla 4.75 Parámetros para el elemento T12-2.....	166
Tabla 4.76 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento T12-2.....	166
Tabla 4.77 Verificación de la curvatura en elemento T12-2 .....	167
Tabla 4.78 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento T12-2 .....	168
Tabla 4.79 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento T12-2.....	169
Tabla 4.80 Resultados de la verificación del corte del elemento T12-2 .....	169
Tabla 4.81 Parámetros para el elemento T13-1.....	170
Tabla 4.82 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento T13-1.....	170
Tabla 4.83 Verificación de la curvatura en elemento T13-1 .....	171
Tabla 4.84 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento T13-1 .....	172
Tabla 4.85 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento T13-1.....	173
Tabla 4.86 Resultados de la verificación del corte del elemento T13-1 .....	173
Tabla 4.87 Parámetros para el elemento T13-2.....	174
Tabla 4.88 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento T13-2.....	175
Tabla 4.89 Verificación de la curvatura en elemento T13-2 .....	176
Tabla 4.90 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento T13-2 .....	177
Tabla 4.91 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento T13-2.....	177
Tabla 4.92 Resultados de la verificación del corte del elemento T13-2 .....	177
Tabla 4.93 Parámetros para el elemento T15-1.....	178
Tabla 4.94 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento T15-1.....	179
Tabla 4.95 Verificación de la curvatura en elemento T15-1 .....	180
Tabla 4.96 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento T15-1 .....	181
Tabla 4.97 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento T15-1.....	182
Tabla 4.98 Resultados de la verificación del corte del elemento T15-1 .....	182
Tabla 4.99 Resumen de la verificación del diseño de los elementos dañados .....	183
Tabla 5.1 Rango de valores normales y aceptables de los indicadores (Perfil Bio-Sísmico de edificios 1997) .....	185

Tabla 5.2 Cuociente entre la altura y el periodo del primer modo traslacional. (*) Peligro de Colapso.....	186
Tabla 5.3 Promedios del cuociente entre la altura y el periodo del primer modo traslacional dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	187
Tabla 5.4 Promedios del cuociente entre la altura y el periodo del primer modo traslacional dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	188
Tabla 5.5 Efecto P- $\Delta$ . (*) Peligro de Colapso .....	190
Tabla 5.6 Promedios del efecto P- $\Delta$ en torno a la dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	191
Tabla 5.7 Promedios del efecto P- $\Delta$ en torno a la dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	192
Tabla 5.8 Desplazamientos del nivel superior del edificio.....	193
Tabla 5.9 Promedios de los desplazamientos del nivel superior del edificio dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango.....	194
Tabla 5.10 Promedios de los desplazamientos del nivel superior del edificio dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango.....	195
Tabla 5.11 Cuociente entre periodos fundamentales. (*) Peligro de Colapso .....	196
Tabla 5.12 Promedios del cuociente entre periodos fundamentales dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	197
Tabla 5.13 Promedios del cuociente entre periodos fundamentales dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	198
Tabla 5.14 Masa equivalente rotacional acoplada. (*)Peligro de Colapso .....	199
Tabla 5.15 Promedios de la masa equivalente rotacional acoplada dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	200
Tabla 5.16 Promedios de la masa equivalente rotacional acoplada dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	201
Tabla 5.17 Excentricidad dinámica. (*) Peligro de Colapso.....	203
Tabla 5.18 Promedios de la excentricidad dinámica asociada a $e_y$ . En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	204
Tabla 5.19 Promedios de la excentricidad dinámica asociada a $e_x$ . En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	205
Tabla 5.20 Cuociente de masas equivalentes, traslacionales acoplada y directa. (*) Peligro de Colapso.....	206
Tabla 5.21 Promedios del cuociente de masas equivalentes, traslacionales acoplada y directa dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	207
Tabla 5.22 Promedios del cuociente de masas equivalentes, traslacionales acoplada y directa dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	208
Tabla 5.23 Cortes acoplados y directos. En rojo, valores aceptables. (*) Peligro de Colapso .....	209
Tabla 5.24 Promedios del cuociente entre los cortes acoplados y directos. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	210

Tabla 5.25 Promedio del cociente entre los cortes acoplados y directos dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango.....	211
Tabla 5.26 Momentos volcantes acoplados y directos. En rojo valores aceptables. (*) Peligro de Colapso.....	212
Tabla 5.27 Promedios de los momentos volcantes acoplados y directos sismo x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	213
Tabla 5.28 Promedios de los momentos volcantes acoplados y directos sismo y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	214
Tabla 5.29 Número de elementos relevantes en la resistencia sísmica.....	216
Tabla 5.30 Promedios del número de elementos relevantes en la resistencia sísmica dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	217
Tabla 5.31 Promedios del número de elementos relevantes en la resistencia sísmica dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	218
Tabla 5.32 Factor de reducción espectral NCh433 .....	220
Tabla 5.33 Promedios del factor de reducción espectral NCh433 dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	221
Tabla 5.34 Promedios del factor de reducción espectral NCh433 dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango .....	222
Tabla 6.1 Pesos sísmicos unitarios.....	225
Tabla 6.2 Pesos sísmicos unitarios multiplicados por el número de pisos. (*) Peligro de Colapso .....	227
Tabla 6.3 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los Pesos Sísmicos unitarios x N° de pisos, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio.....	228
Tabla 6.4 Pesos sísmicos sobre el largo de la planta. (*) Peligro de colapso .....	229
Tabla 6.5 Corte basal como porcentaje del peso sobre la esbeltez en ambas direcciones. (*) Peligro de Colapso .....	231
Tabla 6.6 Promedios del corte como porcentaje del peso en dirección x sobre la esbeltez en dirección x.....	233
Tabla 6.7 Promedios del corte como porcentaje del peso en dirección y sobre la esbeltez en dirección y.....	233
Tabla 6.8 Momentos volcantes sobre longitudes en planta. (*) Peligro de Colapso.....	235
Tabla 6.9 Promedios de los momentos volcantes sobre longitud en planta dirección x.....	236
Tabla 6.10 Promedios de los momentos volcantes sobre longitud en planta dirección y.....	237
Tabla 6.11 Demanda de desplazamiento de techo según Decreto 61. (*) Peligro de Colapso	238
Tabla 6.12 Periodos naturales del suelo y de los edificios, agrietados y no-agrietados. (*) Peligro de Colapso.....	242
Tabla 6.13 Verificación de la condición de pertenencia del periodo del suelo al rango definido por los periodos no-agrietados y agrietados de las estructuras. (*) Peligro de Colapso. El límite superior de los edificios con buen desempeño no está multiplicado por 1.2.....	243

Tabla 6.14 Correlación del posible acoplamiento según el análisis con la dirección predominante del daño en los edificios .....	245
Tabla 6.15 Verificación de la condición de pertenencia del periodo del suelo al rango definido por los periodos no-agrietados (reducidos un 10%) y agrietados de las estructuras. (*) Peligro de Colapso. El límite superior de los edificios con buen desempeño no está multiplicado por 1.2. ....	247
Tabla 6.16 Correlación del posible acoplamiento según el análisis con la dirección predominante del daño en los edificios .....	249
Tabla 6.17 Verificación de la condición de pertenencia del periodo del suelo al rango definido por los periodos no-agrietados y agrietados de las estructuras (ambos reducidos un 15%). (*) Peligro de Colapso. El límite superior de los edificios con buen desempeño no está multiplicado por 1.2. ....	250
Tabla 6.18 Correlación del posible acoplamiento según el análisis con la dirección predominante del daño en los edificios .....	252
Tabla 7.1 Direccionalidad de los elementos dañados en los edificios, (*) Peligro de Colapso.	255
Tabla 7.2 Orientación geográfica de los edificios N1 al T12, ángulo con respecto al norte y dirección principal del daño (flecha naranja). (*) Peligro de Colapso .....	256
Tabla 7.3 Orientación geográfica de los edificios T13 al V20, ángulo con respecto al norte y dirección principal del daño (flecha naranja). (*) Peligro de Colapso .....	257
Tabla 7.4 Orientación geográfica del daño observado en los edificios. (*) Peligro de Colapso	259
Tabla 7.5 Cantidad de edificios según orientación geográfica y dirección del daño .....	260
Tabla 7.6 Altura total de cada edificio en metros. (*) Peligro de Colapso .....	262
Tabla 7.7 Para cada nivel de desempeño. Promedios de alturas de entresuelo, para pisos y subterráneos; y promedio de las alturas totales.....	264
Tabla 7.8 Cantidad de edificios por rango de altura y de pisos .....	264
Tabla 7.9 Valores geométricos representativos de los edificios .....	265
Tabla 7.10 Promedios de longitudes máximas representativas Lx .....	267
Tabla 7.11 Promedios longitudes mínimas representativas Ly .....	269
Tabla 7.12 Promedios esbelteces en planta representativas Lx/Ly .....	271
Tabla 7.13 Promedios esbelteces globales eje x .....	272
Tabla 7.14 Promedios esbelteces globales eje y .....	273
Tabla 7.15 Promedios de Altura total sobre esbeltez en planta en % .....	274
Tabla 8.1 Valores de las áreas de planta, de muros y densidades de muros de los edificios ..	277
Tabla 8.2 Promedios área de planta por rango de pisos (se excluyen subterráneos) [m <sup>2</sup> ] .....	278
Tabla 8.3 Promedios áreas de muro eje x (se excluyen subterráneos) [m <sup>2</sup> ] .....	282
Tabla 8.4 Promedios áreas de muro eje y (se excluyen subterráneos) [m <sup>2</sup> ] .....	282
Tabla 8.5 Promedios áreas de muro (se excluyen subterráneos) [m <sup>2</sup> ].....	282
Tabla 8.6 Promedios de la densidad de muros eje x (se excluyen subterráneos) [%] .....	286

Tabla 8.7 Promedios de la densidad de muros eje y (se excluyen subterráneos) [%] .....	287
Tabla 8.8 Promedios de la densidad de muros (se excluyen subterráneos) [%].....	287
Tabla 8.9 Densidad de muros del piso crítico [%]. (*) Peligro de Colapso .....	288
Tabla 8.10 Inercias locales y globales en ambas direcciones. (*) Peligro de Colapso.....	292
Tabla 8.11 Radio de giro $i_g$ de muros en planta. (*) Peligro de Colapso.....	295
Tabla 8.12 Promedios del radio de giro $i_g$ con respecto al eje x .....	296
Tabla 8.13 Promedios del radio de giro $i_g$ con respecto al eje y .....	297
Tabla 8.14 Promedios del radio de giro $i_g$ total .....	298
Tabla 8.15 Radio de giro $i_g$ sobre la altura $H_t$ .....	299
Tabla 8.16 Radio de giro $i_g$ con respecto al eje x sobre la altura .....	300
Tabla 8.17 Radio de giro $i_g$ con respecto al eje y sobre la altura.....	301
Tabla 8.18 Radio de giro $i_g$ sobre la longitud en planta .....	302
Tabla 8.19 Promedios del radio de giro $i_g$ con respecto al eje x sobre la longitud en planta en eje y .....	303
Tabla 8.20 Radio de giro $i_g$ con respecto al eje y sobre la longitud en planta en eje x.....	304
Tabla 9.1 Tipos de irregularidad en planta (ASCE 7, 2010) .....	307
Tabla 9.2 Tipos de irregularidad en vertical (ASCE 7, 2010) .....	307
Tabla 9.3 Índices de torsión según ASCE 7 2010. (*) Peligro de Colapso .....	309
Tabla 9.4 Promedio del Índice de torsión en dirección x.....	310
Tabla 9.5 Promedio del Índice de torsión en dirección y.....	311
Tabla 9.6 Proporción entre la longitud de la entrada y la longitud de la planta %. (*) Peligro de Colapso.....	313
Tabla 9.7 Porcentaje de apertura en diafragma. (*) Peligro de Colapso .....	314
Tabla 9.8 Pisos consecutivos con mayor diferencia en rigidez. (*) Peligro de Colapso .....	323
Tabla 9.9 Promedios proporción de rigidez entre piso 1 y 2 eje x.....	324
Tabla 9.10 Promedios proporción de rigidez entre piso 1 y 2 eje y.....	325
Tabla 9.11 Proporción más desfavorable entre masas de pisos consecutivos (piso inferior/superior). (*) Peligro de Colapso .....	326
Tabla 9.12 Cocientes más desfavorables entre longitudes máximas y mínimas de planta. (*) Peligro de Colapso .....	328
Tabla 9.13 Porcentaje más desfavorable de continuidad de muros, piso 1 al subterráneo. (*) Peligro de Colapso.....	331
Tabla 9.14 Promedios de porcentaje de continuidad de muros .....	332
Tabla 9.15 Valores de las sumatoria de L para los pisos 1 y 2, excepto edificio A2 con pisos 2 y 3. (*) Peligro de Colapso .....	335
Tabla 9.16 Promedios de discontinuidad en capacidad eje x.....	336

Tabla 9.17 Promedios de discontinuidad en capacidad eje y.....	337
Tabla 9.18 Resumen de irregularidades. Valores en rojo son irregulares. (*) Peligro de Colapso. P16 al V20, buen desempeño. ....	338
Tabla 9.19 Correlación de los índices con la dirección del daño.....	339

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 General

El sismo de Chile de 2010, de magnitud 8.8 ( $M_w = 8.8$ ), afectó a una extensa zona del país, incluyendo a las ciudades más pobladas, registrándose aceleraciones cercanas a 0.9 [g] en la ciudad de Angol.

A pesar de la gran magnitud del sismo, el desempeño de la mayoría de las estructuras en la zona afectada fue bueno. De un total de 1939 edificios de más de 9 pisos construidos entre 1985 y 2009 (CChC, 2010) cerca de 40 (2%) resultaron severamente dañados, los cuales principalmente fueron reparados, o en raros casos demolidos. Si se incluyen los edificios antiguos el porcentaje se reduce considerablemente (Earthquake Spectra, V.28, 2012).

En particular, en un área acotada de la ciudad Viña del Mar, donde hubo un registro cercano con una aceleración máxima de 0.36 [g], varios edificios resultaron con daños severos. Incluso, debido a la gravedad de los daños, algunos de los edificios tuvieron que ser demolidos con posterioridad al sismo.

Dado que los edificios dañados en la ciudad de Viña del Mar conforman una muestra bastante homogénea, que es posible disponer de sus antecedentes y que existe un número de edificios similares que presentaron buen comportamiento, se estimó que sería posible realizar un estudio que permitiera identificar características comunes que presentaran algún nivel de correlación con el desempeño observado durante el sismo.

## 1.2 Alcances y objetivos

El objetivo del trabajo es identificar características estructurales comunes que pudieron haber tenido incidencia en el desempeño observado de los edificios dañados en la ciudad de Viña del Mar.

Para lograr el objetivo se estudió una muestra de veinte edificios ubicados en el sector Plan de Viña del Mar, de características similares, que estaban construidos y ocupados a la fecha del sismo. Del total de la muestra, quince edificios presentaron daños estructurales importantes, incluidos cuatro de ellos tuvieron que ser demolidos con posterioridad al sismo. Cinco de los edificios que no presentaron reportes de daños serán considerados a efectos de comparación.

La metodología de trabajo fue la de asignar un nivel de desempeño alcanzado para cada edificio durante el sismo, a partir de la información del estado de daño reportado. Esta información se tratará de correlacionar con una serie de propiedades de los edificios, tales como parámetros estructurales, geométricos y de ubicación.

La asignación del nivel de desempeño alcanzado durante el sismo se hizo según los criterios utilizados en la metodología de diseño por desempeño, tal como se describe en el ASCE/SEI 41-13.

Los parámetros estructurales considerados incluyen el peso sísmico, los periodos de vibración, los cortes basales y deformaciones de diseño, valores que se obtienen de un análisis modal espectral con las disposiciones de la NCh433 y Decreto 61. Los parámetros geométricos incluyen longitudes, altura, área de planta, distribución de elementos resistentes, etc. Los parámetros de ubicación incluyen el tipo de suelo, y orientación geográfica de los edificios.

El trabajo ha sido ordenado en los siguientes capítulos:

En el Capítulo 2 se describe el procedimiento empleado en el análisis de los edificios.

En el Capítulo 3 se presenta la descripción de los edificios, que incluye una tabla donde se especifica las características más relevantes, tales como periodos, área de planta, año de construcción, etc. También se incluye la descripción e imágenes de los daños observados y la clasificación del nivel de desempeño durante el sismo.

En el Capítulo 4 se presenta los resultados de un análisis sísmico de los edificios según la normativa vigente. Se estima el tipo de suelo, se calcula periodos fundamentales, cortes basales y desplazamientos relativos de entrepiso usando las disposiciones de la NCh433 y Decreto 61. También se realiza una revisión del diseño de algunos elementos dañados de los edificios según la NCh430 Of.2008 Mod.2009 complementada con el Decreto Supremo N°60 del 2011.

En el Capítulo 5 se describe y calcula los indicadores sísmicos del “Perfil Bío Sísmico de los Edificios” (Guendelman, Lindenberg, 1997). También se determina el nivel de correlación de los daños observados con los valores de los indicadores.

En el Capítulo 6 se analiza más detenidamente la posible correlación de los parámetros del análisis sísmico con los daños observados en los edificios. Para ello se analiza la relación de algunos parámetros sísmicos entre sí. También en este capítulo se estima y compara los periodos naturales del suelo con los periodos de las estructuras para determinar algún posible grado de acoplamiento entre éstos mismos.

En el Capítulo 7 se estudian las características de los edificios asociadas con aspectos de direccionalidad y aspectos geométricos. En cuanto a la direccionalidad, se analiza la orientación del eje principal de los edificios y la dirección predominante del daño. Se determina el nivel de correlación de estas variables con los daños observados.

En el Capítulo 8 se determina las propiedades de las plantas de piso de las estructuras, tales como áreas de planta, áreas de muros y densidades de muros. También se determina la distribución de muros en la planta por medio del cálculo de las inercias y radios de giro en planta de las secciones de muros.

En el Capítulo 9 se determina el valor de diez índices de irregularidad presentes en el ACSE 7 2010, cinco de ellos correspondientes a índices de irregularidad en planta y los otros cinco correspondientes a índices de irregularidad vertical. Se determinará el nivel de correlación de estos índices con los daños observados.

En el Capítulo 10 se presenta las conclusiones del trabajo desarrollado.

## **2 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO EMPLEADO EN EL ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS**

### **2.1 General**

El presente estudio está enfocado a evaluar la respuesta de veinte edificios durante el sismo de Chile de 2010, con el fin de correlacionar dicha respuesta con algunos de los parámetros que caracterizan la configuración de los edificios. La evaluación de la respuesta se realiza considerando los principios del diseño sísmico por desempeño, la metodología que permite calificar los niveles alcanzados durante la respuesta según las características del daño observado durante el sismo. En el presente capítulo se explica el procedimiento empleado para analizar los edificios, y se definen y explican los conceptos asociados al diseño por desempeño.

### **2.2 Principios del diseño por desempeño**

#### **2.2.1 Diseño por desempeño**

El diseño basado en el desempeño es un método que se enfoca en diseñar los elementos estructurales, no estructurales y sus uniones a modo que se garantice una respuesta fiable acorde al nivel de seguridad establecido.

Mediante el análisis y/o pruebas se debe demostrar que los elementos presentarán un comportamiento no menor al esperado en elementos diseñados por resistencia cuando se ven sometidos a cargas de peso propio, sobrecargas de uso y cargas eventuales incluyendo la incertidumbre en las cargas y en la resistencia.

El análisis debe emplear métodos racionales basados en principios aceptados en ingeniería y debe tener en cuenta todas las fuentes significativas de deformación y resistencia. Los supuestos de rigidez, resistencia, amortiguación y otras propiedades de los componentes y las conexiones incorporadas en el análisis deben basarse en los datos de prueba aprobados o en las normas referenciadas. [ASCE/SEI 7-10, FEMA-445, PEER-2010]

#### **2.2.2 Nivel de desempeño**

El nivel de desempeño corresponde a un estado límite de respuesta esperado para el diseño realizado a la estructura.

Los niveles de desempeño se basan en el tiempo y factibilidad en la reparación post sismo; la seguridad otorgada a los ocupantes durante y después del evento; y la funcionalidad de la estructura después del sismo, esto también incluye el tiempo fuera de servicio de la estructura. El nivel de desempeño está directamente relacionado con los daños esperables en la estructura.

Las organizaciones y asociaciones ingenieriles competentes en lo relacionado a diseño y daño estructural definen los niveles de desempeño a partir de los daños en el edificio. [SEAOC, VISION 2000 Committee, ATC 1996, ASCE/SEI 41-13, PEER 2010, PEER/ATC-72 (2010)]. En general, todas las propuestas para determinar un nivel de desempeño se basan en los mismos principios.

Un criterio empleado para definir los niveles de desempeño se enfoca en asociar un determinado nivel de daño debido a un sismo de determinado periodo de retorno, los periodos de retorno considerados se presentan en la tabla 2.1 extraída del ASCE/SEI 41-13.

Probabilidad de excedencia del sismo	Periodo de retorno promedio en años
50%/50 años	72
20%/50 años	225
10%/50 años	474
2%/50 años	2475

**Tabla 2.1 Probabilidad de excedencia y periodo de retorno por nivel de desempeño [ASCE/SEI 41-13]**

El objetivo de un diseño por desempeño es lograr una funcionalidad completa cuando la estructura se ve sometida a sismos con periodo de retorno de 42 años (frecuentes), se mantenga operacional para sismos con periodo de retorno de 72 años (ocasionales), que para sismos con periodo de retorno de 225 años (raros) la estructura garantice la seguridad de los ocupantes y que para sismos con periodo de retorno de 2475 años (muy raros) la estructura no colapse. [SEAOC, VISION 2000 Committee, ATC 1996, ASCE/SEI 41-13, PEER 2010, PEER/ATC-72 (2010)]

### **2.2.3 Relación del nivel de desempeño con intensidad de daño, nivel de la respuesta y estado límite**

El daño estructural corresponde al deterioro presente en elementos estructurales del edificio tales como vigas, columnas, muros o fundaciones. Este tipo de daño no incluye la tabiquería. El daño estructural se observa cuando existe evidente agrietamiento o desprendimiento de hormigón, o cuando existe pandeo o ruptura del refuerzo de acero (figura 2.1).

En el ASCE/SEI 41-13 se consideran diferentes estados límites. Cada estado límite corresponde a un nivel de daño o deformaciones relacionado con un determinado nivel de desempeño. Cuando se atraviesa el umbral de daño o deformación de un estado límite, se pasa a la siguiente categoría de desempeño. Entonces cada estado límite queda definido de acuerdo al nivel de daño permisible, espesor de grietas y desprendimiento de hormigón, por ejemplo, y el nivel de deformación permisible (desplazamientos permanentes y transitorios). [NCh433.Of1996 modificada en 2009, SEAOC, VISION 2000 Committee, ATC 1996, ASCE/SEI 41-13, PEER 2010, PEER/ATC-72 (2010)]



Figura 2.1 Ejemplo de daño estructural

## 2.2.4 Niveles de desempeño y estados límites considerados

En esta memoria se consideraron los estados límites del ASCE/SEI 41-13 basados en los criterios de FEMA 274-1997.

Los niveles de desempeño estructurales discretos son:

**Ocupación inmediata (S-1):** se define como el estado de daños post sismo en el que una estructura sigue siendo segura de ocupar, mantiene su resistencia y rigidez y se ajusta a los criterios de aceptación especificados en la norma. Este nivel de desempeño indica que los daños post sismo son muy limitados, los elementos verticales y horizontales mantienen casi completamente su resistencia y rigidez original. El riesgo a la vida humana debido a daños estructurales es mínimo, se necesitarían reparaciones estructurales menores antes de la reocupación.

**Control de daños (S-2):** Es un rango de transición entre el rango Ocupación Inmediata y Poca Seguridad para los ocupantes. Este rango considera reducir al mínimo el tiempo de reparación e interrupción del funcionamiento, garantiza parcialmente la protección de equipos y contenidos valiosos.

**Poca seguridad para los ocupantes (S-3):** Este rango considera daños en componentes después del sismo, sin embargo la estructura conserva su integridad y no presenta colapso ni global ni parcial. Algunos elementos están muy gravemente dañados, pero no existe riesgo de desprendimientos de material, pueden existir lesiones en las personas, pero son mínimas, el daño presente debería ser un daño reducido y antes de la re-ocupación de la estructura se recomienda repararla. Para clasificar en este nivel de desempeño se debe estar conforme a los criterios del estado límite.

**Seguridad estructural limitada (S-4):** Es un rango de transición entre el rango Poca seguridad para los ocupantes y Peligro de Colapso.

**Peligro de Colapso (S-5):** Se define como el estado de daños después del sismo donde la estructura ha dañado componentes severamente, sin embargo, sigue resistiendo las cargas de gravedad aun cuando está cercana al colapso, los elementos presentan una reducción significativa en su resistencia y rigidez, la estructura presenta una gran deformación lateral permanente. Existe un riesgo significativo de lesiones debido a desprendimientos de material. La estructura técnicamente no puede ser reparada y debe ser demolida para prevenir un colapso poco controlado.

La gravedad del daño determina la clasificación del nivel de desempeño. La figura 2.2 muestra el nivel de desempeño en función del desplazamiento lateral alcanzado por los edificios [ACI 374]. En el gráfico se puede observar que si ante un sismo un edificio responde en el rango elástico, no presentaría problemas estructurales y podría ser reocupado sin ningún inconveniente. Si el edificio, debido al desplazamiento exigido por el sismo, empieza a incursionar en el rango no-lineal, su deformación progresiva va acompañada de daños importantes, tales como grietas notoriamente visibles y desprendimientos que pueden generar problemas de seguridad para los ocupantes. Cuando el edificio es exigido a una deformación más allá del 1% de la altura (caso para edificios de muros), existiría un evidente peligro de colapso. Sin embargo, los edificios diseñados por desempeño debiesen ser capaces de deformarse sin colapsar.

La tabla 2.2 muestra los niveles de desempeño Operacional, Ocupación Inmediata, Poca Seguridad para los Ocupantes y Peligro de Colapso basada en la cuantificación del daño observable y en la deformación lateral transitoria y permanente en edificios de muros según ASCE/SEI 41-13, la clasificación del nivel de desempeño de acuerdo al daño observado en los edificios estudiados está basada en dicha tabla.

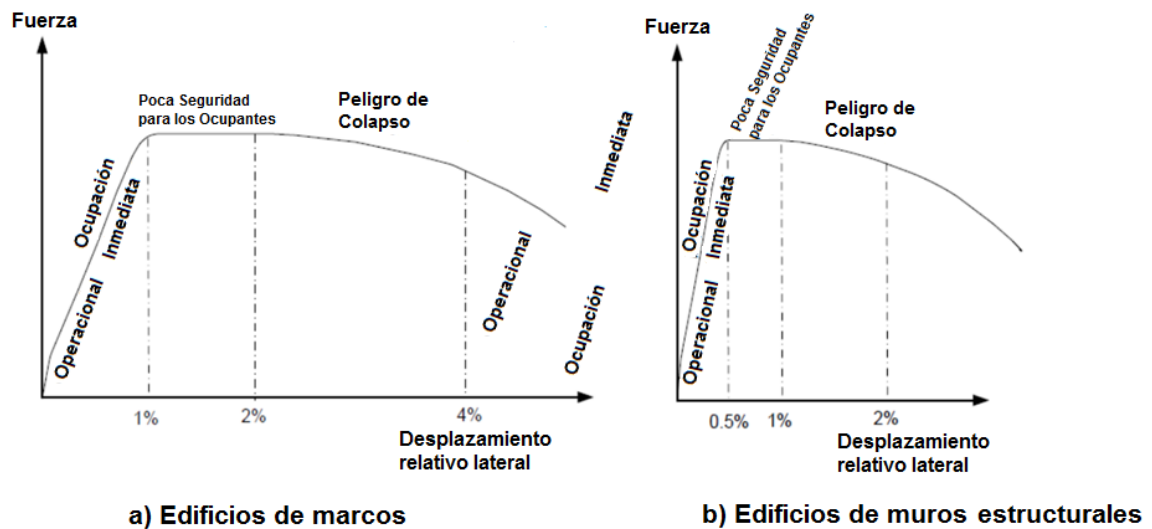


Figura 2.2 Nivel de desempeño en función del desplazamiento relativo global alcanzado [ACI 374]

Nivel de desempeño	Tipo de elemento estructural	Edificio de muros
Operacional		Líneas de agrietamiento diminutas; no existe aplastamiento del hormigón ni deformaciones permanentes. La estructura conserva su resistencia y su rigidez.
	Primario	Líneas de agrietamiento muy pequeñas en muros menores a 1/16 In. (0.16 cm) de ancho; vigas de acople experimentan agrietamiento menor a 1/8 In. (0.3 cm) de ancho.
	Secundario	Líneas de agrietamiento muy pequeñas en muros; algunas evidencias de deslizamiento en uniones de construcción; vigas de acoplamiento experimentan agrietamiento menor a 1/8 In. (0.3 cm) de ancho; desprendimiento de hormigón muy reducido.
Ocupación inmediata	Deformación lateral	0.5% de la altura, transitorio Permanente, despreciable
	Primario	Algunos elementos en estado límite de esfuerzos; incluyendo pandeo limitado del refuerzo; algunos deslizamientos en uniones; daño alrededor de aperturas; algún aplastamiento y agrietamiento por flexión; algún agrietamiento, pero el hormigón generalmente permanece en su sitio.
Poca seguridad para los ocupantes	Secundario	Grietas mayores por corte y flexión; descascaramiento en uniones; extenso agrietamiento; fallas alrededor de aperturas; daño severo en elementos de borde; vigas de acople destrozadas, prácticamente desintegradas.

	Deformación lateral	1% de la altura, transitorio 0.5% de la altura, permanente
Peligro de colapso	Primario	Grietas mayores y huecos por corte y flexión; descascaramiento en uniones; extenso agrietamiento y pandeo del refuerzo; fallas alrededor de aperturas; daño severo en elementos de borde; vigas de acople destrozadas, prácticamente desintegradas.
	Secundario	Paneles destrozados, prácticamente desintegrados.
	Deformación lateral	2% de la altura, transitorio o Permanente

**Tabla 2.2 Nivel de desempeño según el daño (ASCE/SEI 41-13, FEMA 247-1995)**

### **2.3 Características y parámetros analizados en los edificios y su posible correlación con el nivel de desempeño**

Se analizan los posibles efectos de diferentes parámetros, tales como características intrínsecas de su estructuración, propiedades de diseño y parámetros de la respuesta calculada, sobre el nivel de desempeño, dependiendo por el daño observado con posterioridad al sismo y clasificado según se describió en el punto anterior.

Entre las características intrínsecas de los edificios que fueron analizadas están las geométricas, esto es la altura, longitudes en planta, esbeltez en planta y en la altura, área en planta, espesores de muros, áreas de muros y densidades de muros en planta. Otras características consideradas incluyen el peso sísmico por área, el peso sísmico por piso y los pesos sísmicos sobre las longitudes en planta, Se incluyó además las características asociadas a la ubicación de los edificios, como son la ubicación geográfica, la orientación con respecto al norte geográfico y el tipo de suelo de fundación de los edificios.

Respecto a propiedades de diseño, se revisó la resistencia de los muros dañados, tanto en flexo-compresión, como en corte, y la capacidad de deformación, de acuerdo a las disposiciones de la normativa chilena actualmente vigente NCh433.Of1996, Diseño sísmico de edificios, modificada en 2009 y el Decreto Supremo N°61 que la modifica, y la NCh430 Of.2008, Hormigón armado - Requisitos de diseño y cálculo, modificada en 2009 y complementada con el Decreto Supremo N°60 del 2011.

Respecto a la respuesta se consideran los periodos fundamentales de vibración de los edificios, los cortes basales y los desplazamientos sísmicos.

Finalmente se considera el efecto de diversos índices de irregularidad, tanto geométricos como de resistencia, en las plantas y en la altura de los edificios.

Los valores de todos estos parámetros se correlacionan con los niveles de desempeño observados en la muestra de veinte edificios, cuatro de ellos con daño severo y fueron demolidos con posterioridad, once con daño de menor intensidad y cinco sin daños importantes.

## **3 DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS ANALIZADOS**

### **3.1 General**

El estudio considera un grupo de quince edificios ubicados en la ciudad de Viña del Mar que evidenciaron daños estructurales a causa del sismo de Chile de 2010, según se determinó mediante inspección visual y registro fotográfico de personal calificado (Thiers 2014). El estudio además incluye un grupo de cinco edificios con similares características y ubicación que mostraron un buen nivel de desempeño durante el sismo, presentando daños leves o nulos.

En este capítulo se presenta una descripción de los edificios, con sus características más importantes, así como la descripción del daño observado incluyendo un registro fotográfico del daño más significativo. En cada caso, según el estado límite alcanzado por la estructura, se clasifica el edificio en el correspondiente nivel de desempeño.

Cabe señalar que, de los quince edificios con mal desempeño, esto es, que alcanzaron un nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes o peor, cuatro fueron decretados a demolición, lo que indica que por lo menos cuatro edificios alcanzaron el nivel de desempeño Peligro de Colapso.

#### **3.1.1 Planos arquitectónicos y estructurales**

Los antecedentes de los edificios, planos estructurales y arquitectónicos fueron obtenidos en su totalidad de manera pública desde la Dirección de Obras de Viña del Mar, donde solo se contaba con los planos físicos. Se tuvo acceso a algunos planos digitales gracias al aporte de terceros.

Solo se cuenta con la mitad de los planos estructurales de los edificios (diez de veinte), mientras que para la otra mitad de los edificios se cuenta con planos de arquitectura.

#### **3.1.2 Memorias de cálculo, informes de daños y modelos**

Se tuvo acceso a los informes de daño de diez de los quince edificios con mal desempeño, mientras que para los cinco restantes con mal desempeño solo se contó con un registro fotográfico posterior al sismo. Para la totalidad de los edificios con mal desempeño estudiados se tuvo acceso al registro fotográfico de daños.

Se contó con tres de las quince memorias de cálculo estructural de los edificios con mal desempeño, y con tres memorias los cinco edificios con buen desempeño.

Se tuvo acceso a ocho modelos de edificios hechos en el software ETABS, el resto de los edificios fueron modelados según los planos estructurales y de arquitectura, asumiendo para este último caso, que el plano estructural no se ve en gran medida modificado con respecto a los planos de arquitectura, esto es, en espesores y largo de muros, vigas y losas.

## 3.2 Viña del Mar

### 3.2.1 General

Viña del Mar se ubica en la costa del Océano Pacífico a 110 km de Santiago, sus coordenadas geográficas son  $33^{\circ}01'00''$  Sur y  $71^{\circ}33'00''$  Oeste y está ubicada a 376 kilómetros al norte del epicentro del sismo de Chile del 2010 con coordenadas  $35^{\circ}54'3''$ S  $72^{\circ}43'59''$ O (figura 3.1).

Viña del Mar, junto con Santiago y Concepción, fue una de las ciudades más afectadas por el sismo de Chile del 2010. Una gran cantidad de estructuras de diversa índole fueron reportadas con daños estructurales (catastro de conjuntos habitacionales SERVIU, catastro de daños terremoto del Maule 2010 Municipalidad de Viña del Mar, Thiers 2014), sin embargo, la mayoría de ellas no presentaba un riesgo para la seguridad de la vida. Dentro de las estructuras más dañadas, hubo más de veinte edificios, de más de siete pisos, reportados con daños estructurales serios.

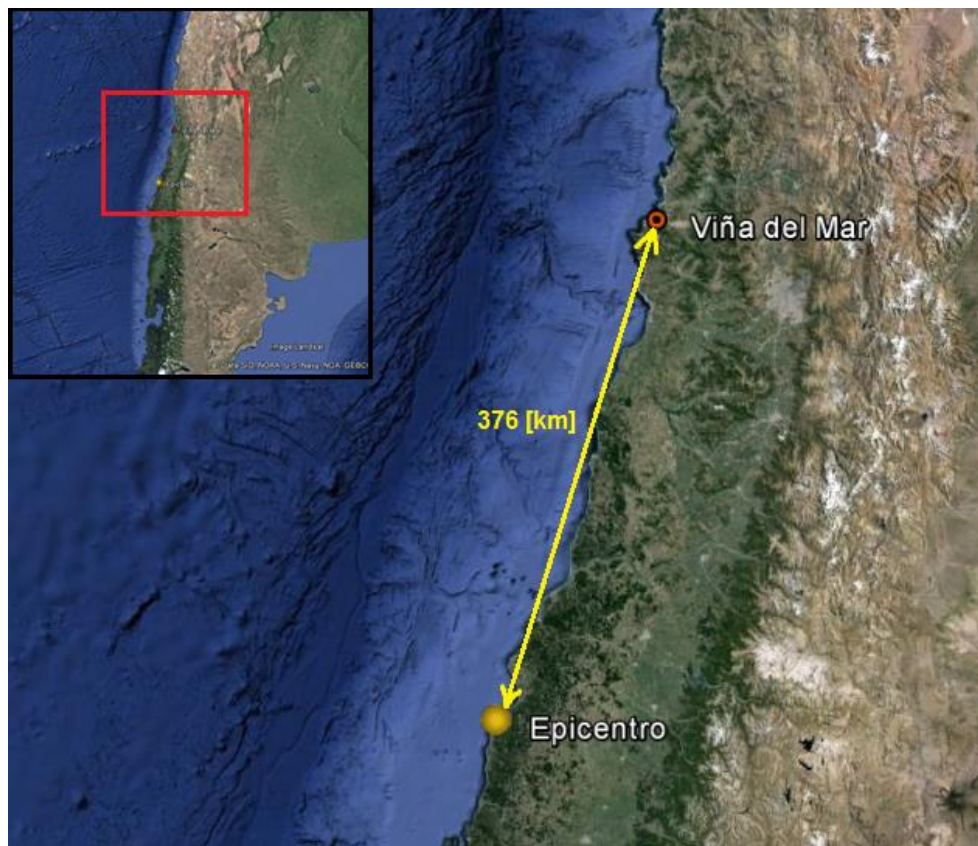


Figura 3.1 Distancia entre Viña del Mar y el epicentro del sismo

## 3.2.2 Suelos de Viña del Mar

### 3.2.2.1 Antecedentes geológicos

Carrasco y Nuñez (2013) proponen una clasificación geológica (ver figura 3.2) adaptada de los mapas geológicos del Servicio Nacional de Geología y Minería SERNAGEOMIN (Gana et al., 1996 y Rivano et al., 1993) y el estudio de Grimme, K. y Álvarez, L. (1964).

En el mapa (figura 3.2) se puede observar la existencia de rocas intrusivas del periodo Jurásico y Paleozoico en las zonas altas de la ciudad, correspondientes a los sectores de Recreo, Nueva Aurora, Chorrillos, Forestales, Achupallas, Gómez Carreño y Reñaca Alto. Los sectores de Viña Oriente y Miraflores están emplazados sobre unidades del Terciario (sedimento semi consolidado), mientras que los sectores Santa Inés y Reñaca se encuentran sobre unidades del Cuaternario (sedimento no consolidado). El sector Plan de la ciudad se encuentra emplazado en una llanura constituida por sedimentos marino-fluviales provenientes del estero Marga-Marga y de la costa, delimitado este sector en el norte por terrazas y en el sur por el estero.

Se aprecia en la geología estructural, la presencia de fallas identificadas en los trabajos de Grimme, K. y Álvarez, L. (1964), Thorson, R. (1999) y Gana et al. (1996), donde la falla más importante corresponde a la ubicada en el sector del estero Marga Marga. Tras los terremotos de los años 1985 y 2010, los daños que se generaron, fueron observados principalmente en la zona donde se estima que la falla está ubicada, mismo sector donde se emplazan los edificios estudiados.

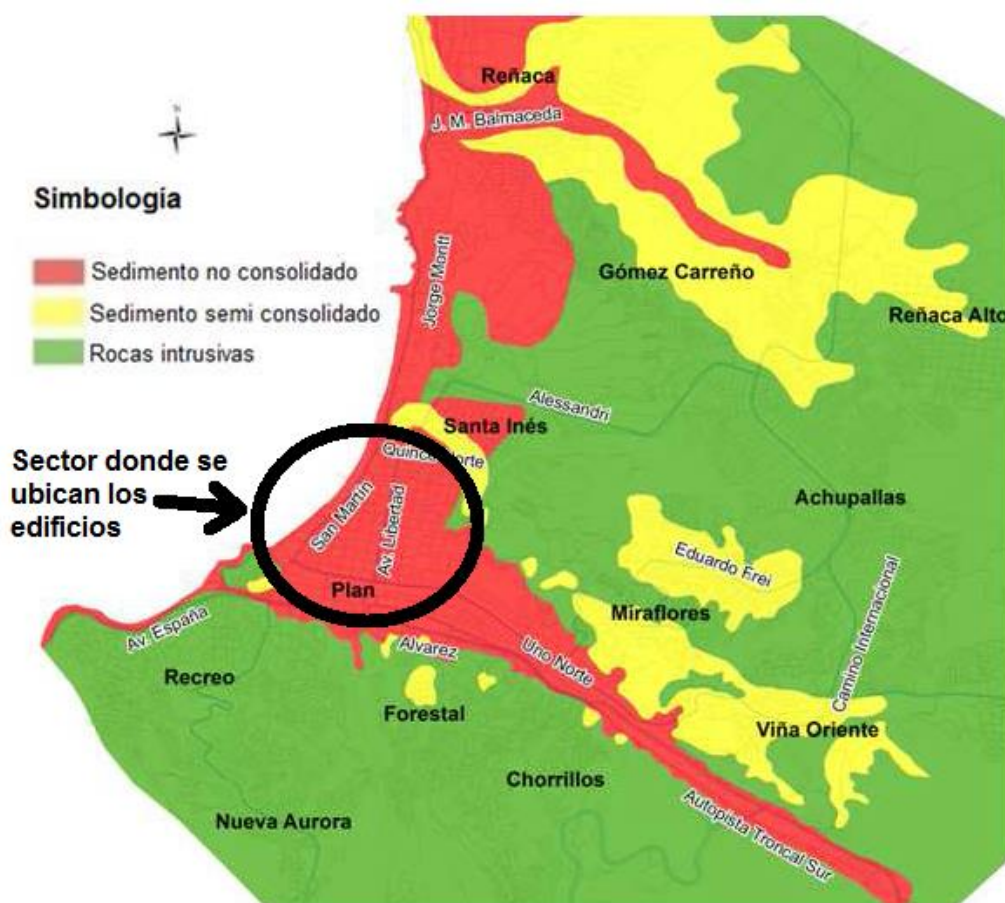


Figura 3.2 Mapa Geológico propuesto para Viña del Mar [Carrasco-Nuñez 2013]

### 3.2.2.2 Morfología del basamento rocoso

Según un estudio gravimétrico realizado por Verdugo (1996), el cual midió las pequeñas variaciones del campo gravitacional en el sector Plan de Viña del Mar (Figura 3.3), el basamento rocoso posee una forma de cuenca, cuya máxima profundidad coincide con el eje inicial del estero Marga-Marga y su falla. Las profundidades llegan a valores máximos de 175 m en la zona que Thorson, R. (1999) estima existió una laguna. La profundidad media del basamento se estima en 100 m de profundidad.

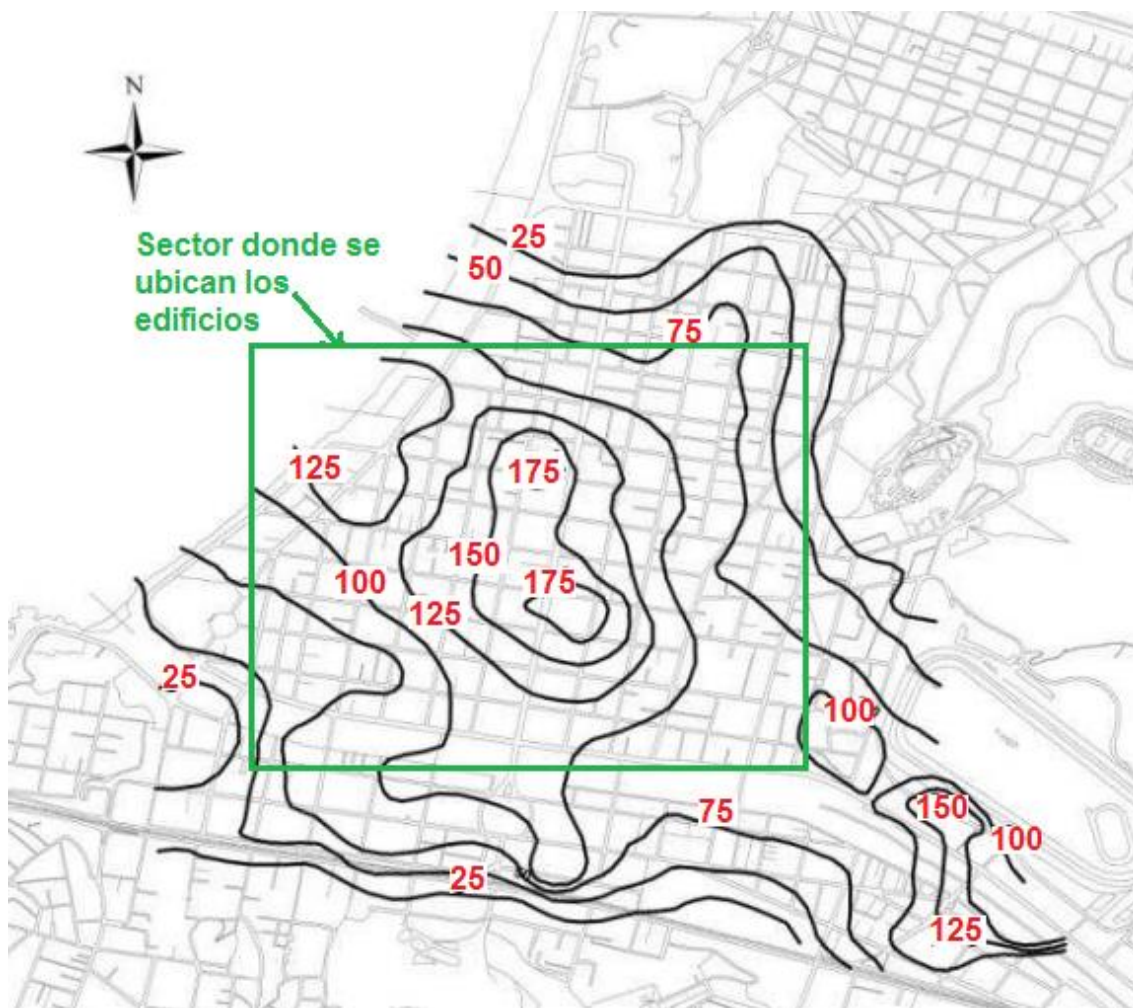


Figura 3.3 Plano isobático del sector Plan de Viña del Mar (Fuente: Adaptación de Verdugo 1996)

### 3.2.2.3 Tipo de suelo

Los sondeos recopilados, realizados por LEMCO, permiten establecer que el subsuelo del sector Plan de Viña del Mar está constituido por sedimentos marino-fluviales provenientes del estero Marga Marga y de la costa. Predominan en ellos los suelos arenosos, constituidos fundamentalmente por arena rubia sedimentaria, limpia, mal graduada y de compacidad media-alta aumentando la profundidad.

De acuerdo a los antecedentes geológicos recopilados y a sondeos realizados por LEMCO, el basamento rocoso de la estación Valparaíso UTFSM corresponde a un gneis de anfíbol de composición granodiorítica (Thiers, 2014).

### 3.3 Inventario de los edificios estudiados

En las tablas 3.1 y 3.2 se presenta el inventario de los edificios considerados en el presente estudio. En la segunda columna con encabezado "Edificio" aparece la sigla empleada para identificarlos. Están en orden alfanumérico a excepción del primero. En la tercera columna se indica la dirección y numeración domiciliaria. En la cuarta columna se indica el número de pisos y el número de subterráneos o zócalos que tiene cada edificio, separados por el signo suma. En la quinta columna aparece el año estimado de construcción que se indica con la finalidad de tener una referencia de la normativa empleada en el diseño. En la sexta y séptima columnas aparecen las coordenadas geográficas, latitud y longitud respectivamente.

N°	Edificio	Dirección	N° de Pisos +Subterráneos+Zócalo	Año de Constr.	Coordenadas geográficas	
1	N1	9 Norte N° 1024	16+2	2009	33° 0'54.42"S	71°32'44.77"O
2	A2	San Martin N° 821	15+0	1962	33° 0'47.65"S	71°33'16.35"O
3	A3	5 Oriente N° 260	16+2	2004	33° 1'13.88"S	71°32'38.85"O
4	B4	Av. Perú N° 530	10+2+z	1962	33° 0'57.60"S	71°33'28.27"O
5	F5	9 Norte N° 450	14+1	1978	33° 0'51.19"S	71°33'11.12"O
6	M6	4 Norte N° 1111	11+1	1995	33° 1'10.72"S	71°32'42.73"O
7	M7	6 Norte N° 536	19+1	2005	33° 1'2.50"S	71°33'8.45"O
8	M8	1 Poniente N° 350	13+1	1999	33° 1'7.79"S	71°33'6.68"O
9	M9	1 Oriente N° 622	7+1	2009	33° 0'58.80"S	71°32'55.02"O
10	R10	2 Poniente N° 648	16+1	1999	33° 0'56.06"S	71°33'8.47"O
11	R11	7 Norte N° 585	17+1	1992	33° 0'57.36"S	71°33'6.44"O
12	T12	4 Norte N° 1093	12+1	1995	33° 1'10.27"S	71°32'44.69"O
13	T13	3 Norte N° 480	10+1	1997	33° 1'11.68"S	71°33'14.10"O
14	T14	8 Norte N° 380	16+2	1988	33° 0'53.96"S	71°33'14.51"O
15	T15	8 Norte N° 501	11+1	1996	33° 0'53.25"S	71°33'8.10"O

**Tabla 3.1 Registro de edificios con mal desempeño.**

N°	Edificio	Dirección	N° de Pisos +Subterráneos	Año de Constr.	Coordenadas geográficas	
16	P16	7 Norte 360	22+2	2007	33° 0'57.52"S	71°33'16.92"O
17	R17	3 Poniente 61	8+1	2007	33° 1'16.91"S	71°33'19.23"O
18	S18	8 Norte 590	11+1	2003	33° 0'54.93"S	71°33'5.38"O
19	S19	8 Norte 1002	16+1	2002	33° 0'58.15"S	71°32'45.68"O
20	V20	9 Norte 834	16+1	2009	33° 0'53.11"S	71°32'52.91"O

**Tabla 3.2 Registro de edificios con buen desempeño.**

### 3.4 Emplazamiento de los edificios estudiados

La figura 3.4 muestra una imagen satelital parcial de la ciudad de Viña del Mar en la cual se ha destacado la ubicación de los veinte edificios considerados en el presente estudio. En la enumeración del 1 al 15 (según tablas 3.1 y 3.2) están los edificios que sufrieron daños severos durante el sismo. En color amarillo se indican aquellos que han sido reparados. Los que fueron decretados a demolición, B4, F5, T12 y T13, aparecen de color rojo. En la numeración de 16 a 20, de color verde, aparecen aquellos edificios que tuvieron buen desempeño durante el terremoto. Por conveniencia de notación se refiere a “edificios con mal desempeño” aquellos enumerados del 1 al 15 y “con buen desempeño” del 16 al 20.



**Figura 3.4 Emplazamiento de los edificios estudiados\* (modificación de Thiers 2014)**

\* Edificios con mal desempeño:

(1) N1, (2) A2, (3) A3, (4) B4, (5) F5, (6) M6, (7) M7, (8) M8, (9) M9, (10) R10, (11) R11, (12) T12, (13) T13, (14) T14, (15) T15.

Edificios con buen desempeño:

(16) P16, (17) R17, (18) S18, (19) S19, (20) V20.

## **3.5 Descripción de los edificios**

### **3.5.1 General**

En esta sección se presenta una descripción de los edificios considerados en el estudio. Para cada edificio se indica las características la descripción se compone por una tabla donde se indican las características generales más importantes, tales como año de construcción, número de pisos, altura total, áreas de piso promedio, densidad promedio de muros, peso sísmico, periodos fundamentales (considerando un 50% de reducción en la rigidez de los elementos) y orientación geográfica del eje principal del edificio con respecto al norte. Los cálculos pertinentes de algunas características se mostrarán con detalle en capítulos posteriores. Se presenta también una serie de imágenes extraídas directamente de los modelos de análisis, en planta y elevación, indicándose el daño. Se incluye además el porcentaje aproximado de daño en el edificio según al área total en planta de muros y columnas, considerándose sólo como un valor referencial.

Los edificios se clasifican según su nivel de desempeño, de acuerdo a los criterios presentados en la tabla 2.2 del Capítulo 2, los cuales relacionan el estado límite alcanzado con el daño provocado por el sismo.

Los elementos dañados presentados en las fotografías se indican con la notación: “Sigla del edificio”-“numeración del elemento” (por ejemplo N1-1), con el objeto de facilidad en el reconocimiento en capítulos posteriores.

El daño observado se presenta predominantemente en el primer piso para trece de los quince edificios con mal desempeño estudiados. Existe un caso donde el daño se concentra en el subterráneo y otro donde el daño se concentra en los pisos dos y tres.

En general, el daño corresponde a desprendimientos de hormigón y grietas diagonales, horizontales y verticales en muros. En varios casos se aprecia aplastamiento del hormigón acompañado de pandeo del refuerzo longitudinal en los bordes de los muros.

De los edificios dañados, cuatro de ellos han sido clasificados con nivel de desempeño Peligro de Colapso. Los restantes se han clasificado con el nivel de desempeño Poca Seguridad de los Ocupantes.

Los cinco edificios con buen desempeño tienen características y ubicaciones similares a los edificios con mal desempeño.

Los cuatro edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso fueron decretados a demolición por la autoridad correspondiente. El resto de los edificios dañados fueron reparados y reforzados.

### **3.5.2 Edificios**

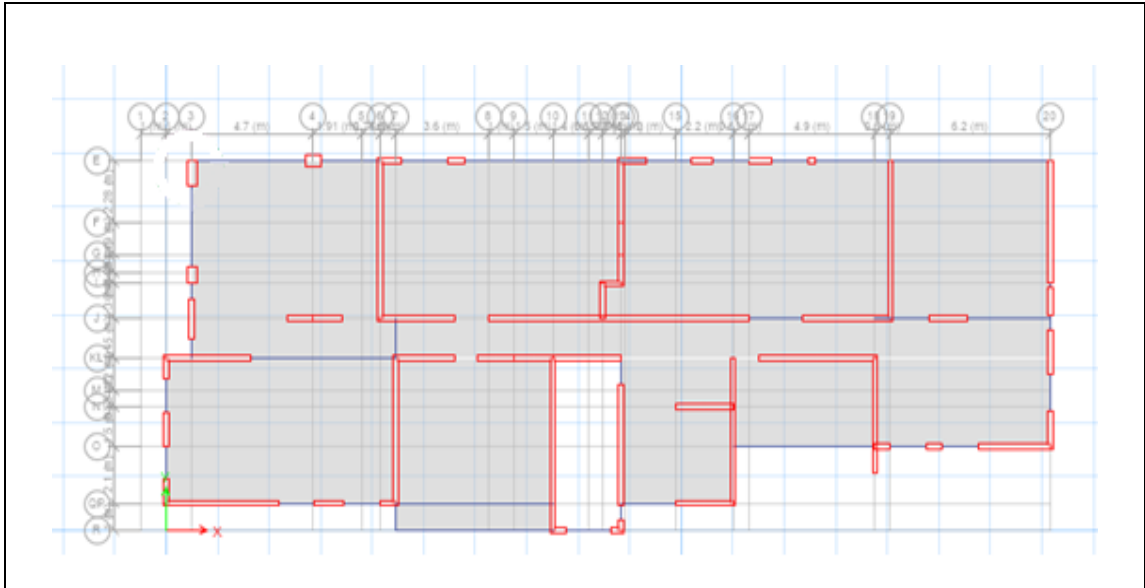
A continuación se presenta cada edificio estudiado con su respectiva tabla de características.

### 3.5.2.1 Edificio N1 (9 Norte)

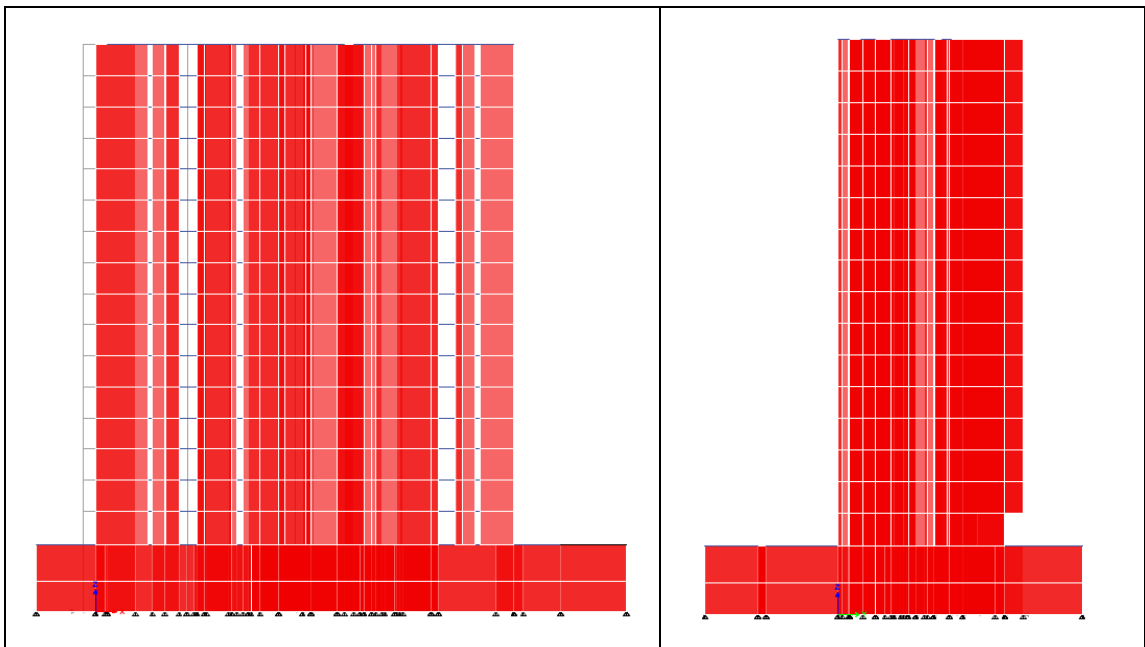
- Descripción general

Edificio N1				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	2009		
	Número de pisos + subterráneos	16+2		
	Altura total del edificio [m]	46.5		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	411.8		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	2.69	3.05	5.74
	Pes sismico [ton]	8885.9		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.72	0.94	
	Orientación c/r norte	+79°N		
				

Tabla 3.3 Tabla resumen edificio N1



**Figura 3.5 Planta piso 1 edificio N1**



**Figura 3.6 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D edificio N1**

- **Daño observado**

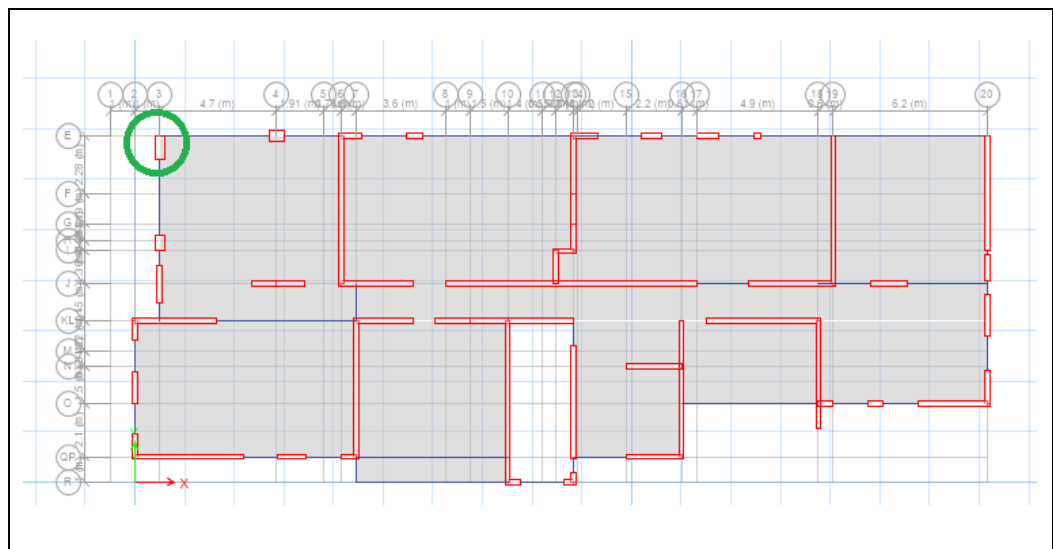


**Figura 3.7 Elemento dañado N1-1**

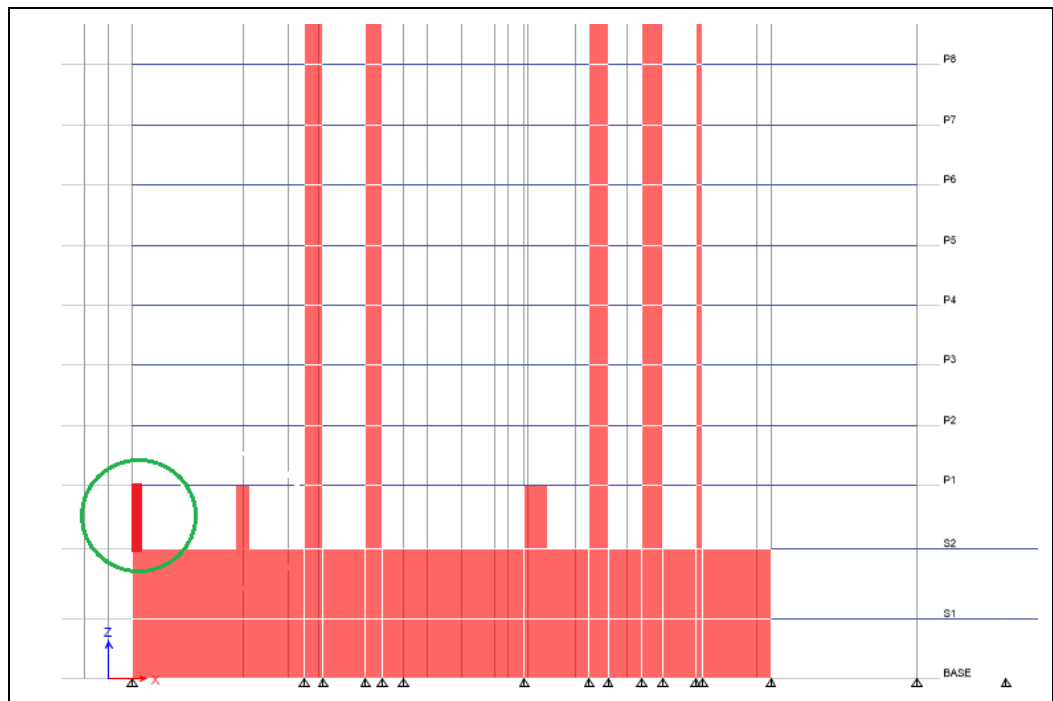
**Elemento N1-1**

El único daño observado en el edificio se encuentra en una columna del primer piso que soporta un muro que soporta un muro. Se ubica en la fachada del edificio en el eje E.

Se observa una grieta horizontal importante que atraviesa de lado a lado al elemento, también se observa desprendimiento del hormigón dejando expuesto el refuerzo longitudinal.



**Figura 3.8 Edificio N1, planta piso 1, se indica el elemento dañado**



**Figura 3.9 Elevación eje E indicando el daño observado**

- **Clasificación general**

Solo un elemento presenta daño, es una columna del primer piso, existe desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 3% en el primer piso.

El edificio se clasifica con el nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes.

### 3.5.2.2 Edificio A2 (Acapulco)

- Descripción general

Edificio A2				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	1962		
	Número de pisos + subterráneos	15+0		
	Altura total del edificio [m]	44.0		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	750 30		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	3.57	2.90	6.47
	Peso sísmico [ton]	12215.		
	Periodo eje x, eje y, [s]	1.33	1.80	
	Orientación c/r norte	49°N		
				

Tabla 3.4 Tabla resumen edificio A2

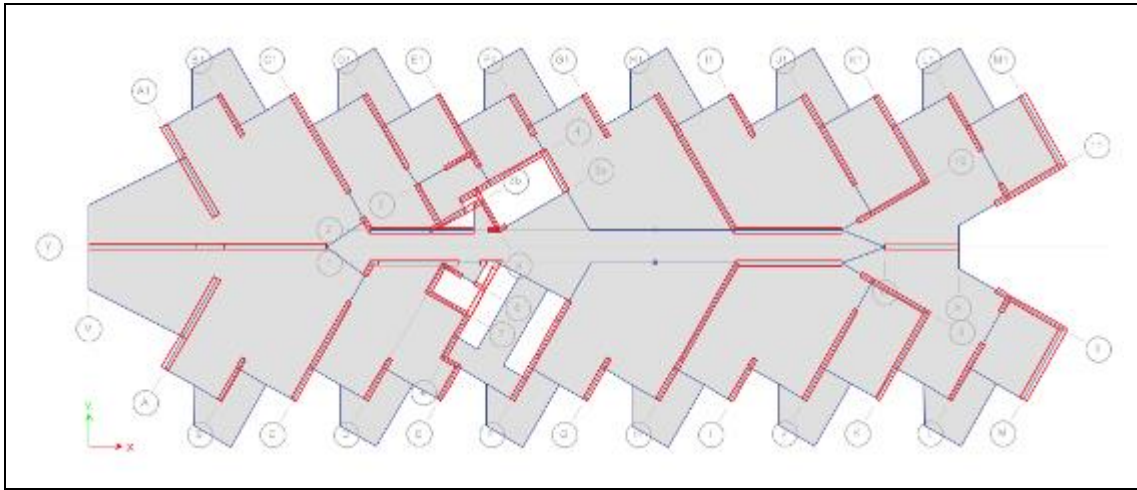


Figura 3.10 Planta piso 1 edificio A2

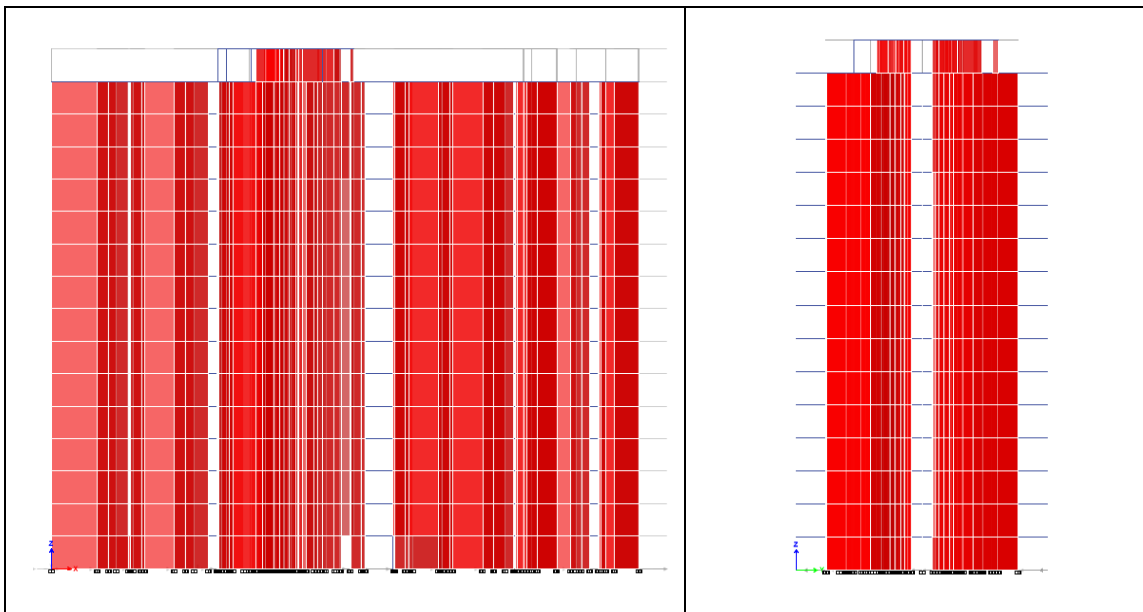





Figura 3.11 Elevaciones X-Z e Y-Z en vista 3D edificio A2

- **Daño observado**

	<p><b>Elemento A2-1</b></p> <p>Falla presumible de compresión en borde de muro en el pasillo, lado poniente. Las grietas se extienden entre la parte superior del segundo piso y la parte inferior del tercer piso (respectivamente según fotos).</p>
	<p><b>Elemento A2-3</b></p> <p>Agrietamiento de la losa en la unión de las columnas con el muro que sostiene (primer piso).</p>
	<p><b>Elemento A2-4</b></p> <p>Falla en la unión Muro-Dintel, cuarto piso. Existe agrietamiento severo.</p>

**Figura 3.12 Daño observado en elemento A2-1**

**Figura 3.13 Daño observado en elemento A2-3**

**Figura 3.14 Daño observado en elemento A2-4**

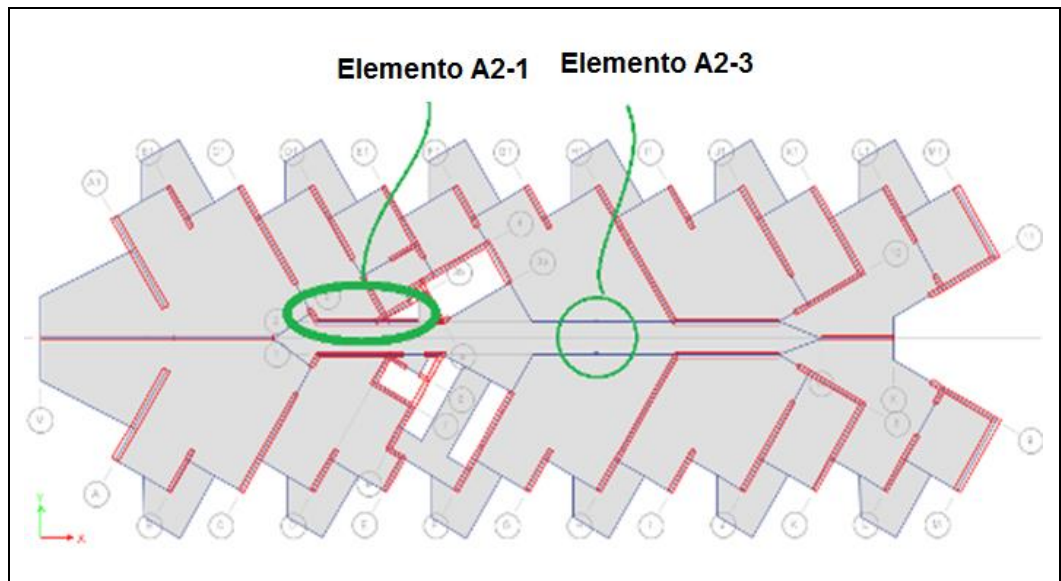


Figura 3.15 Planta piso 1 del edificio A2, se indican zonas y elementos dañados

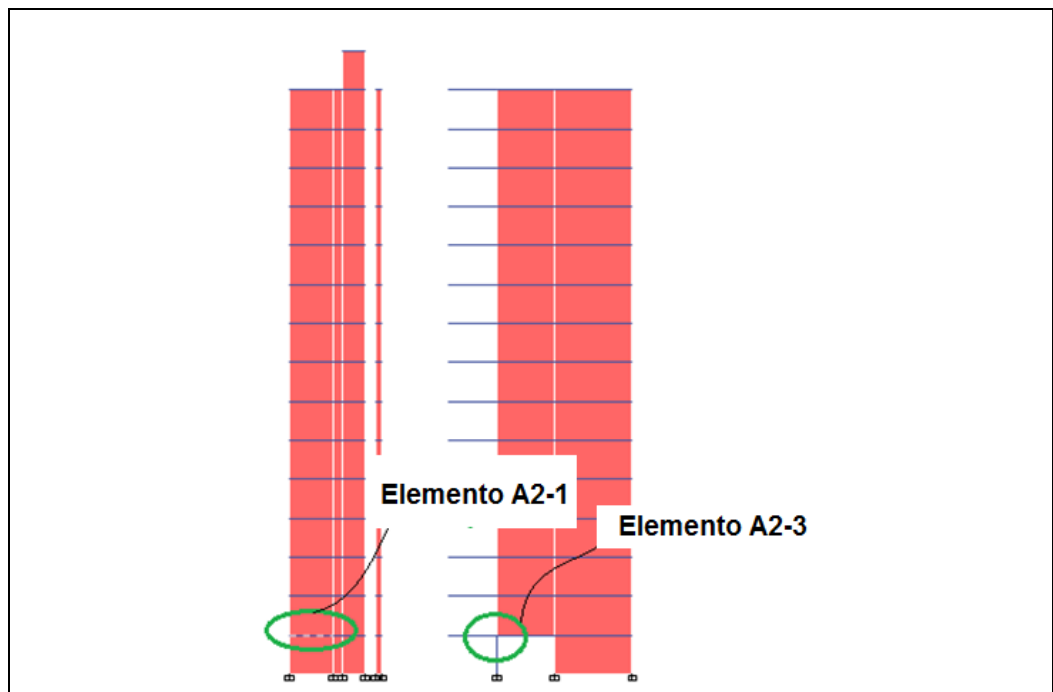


Figura 3.16 Elevación G1-2, edificio A2, se indica el daño observado

- **Clasificación general**

Existe falla en muros, dinteles y losas, el agrietamiento excede los 0.16 cm (ASCE41-06, tabla 2.1), además existe exposición del refuerzo debido a desprendimiento de estucos. No existe riesgo de colapso. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 9% en el primer piso.

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes.

### 3.5.2.3 Edificio A3 (Antígona)

- Descripción general


Edificio A3				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	2004		
	Número de pisos + subterráneos	16+2		
	Altura total del edificio [m]	46.9		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	544.78		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	2.83	2.70	5.53
	Peso sísmico [ton]	10984.2		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.68	1.02	
	Orientación c/r norte	83°N		
				

Tabla 3.5 Tabla resumen edificio A3

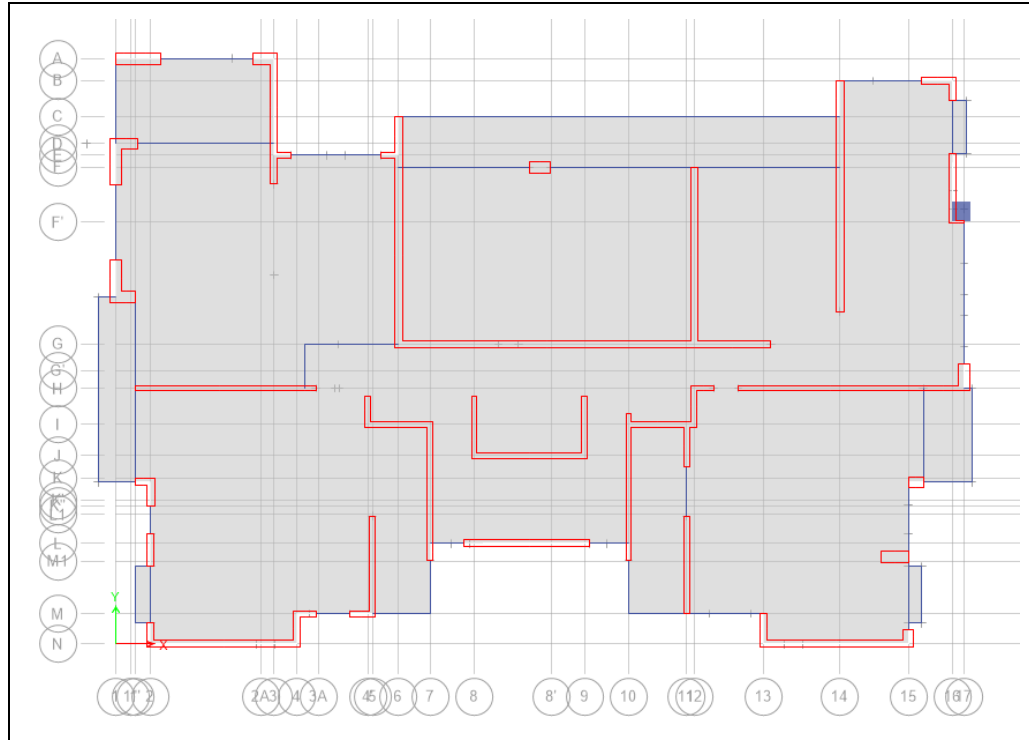


Figura 3.17 Planta piso 1 edificio A3

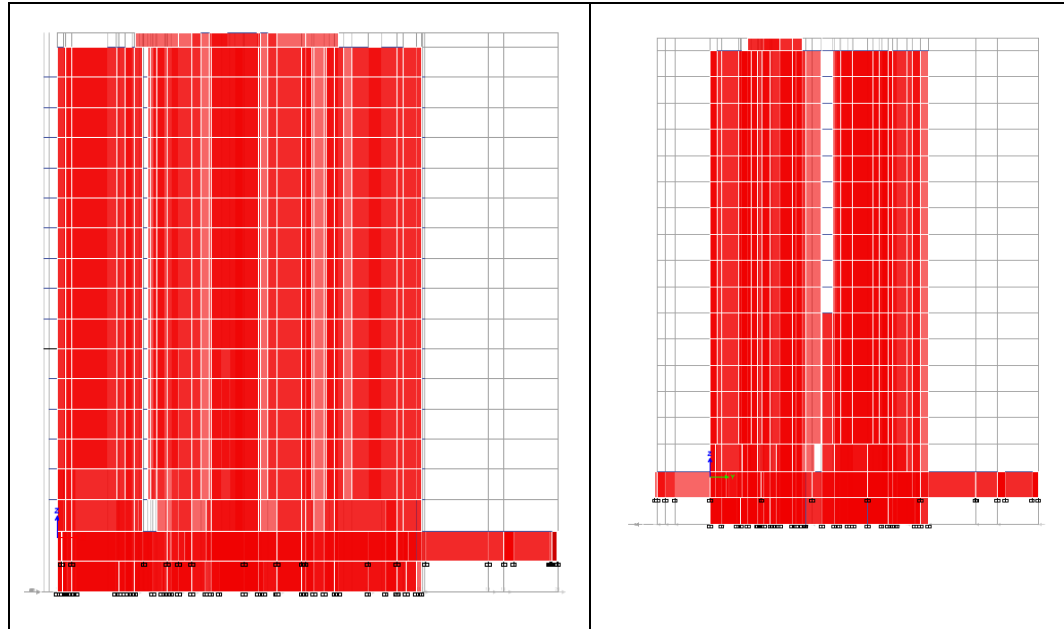


Figura 3.18 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D edificio A3

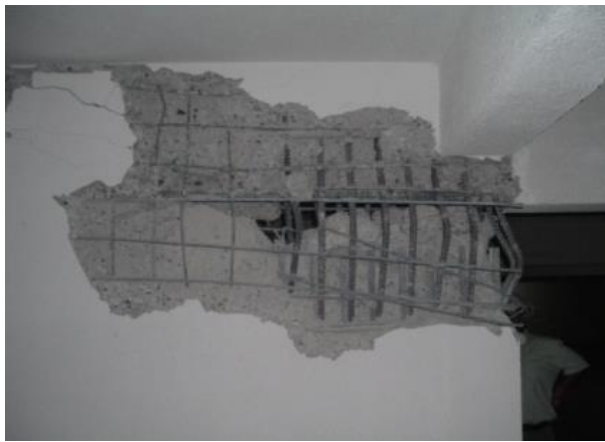
- **Daño observado**



**Figura 3.19 Elemento dañado A3-1**

**Elemento A3-1**

Se aprecia daño en el borde del muro, se observa aplastamiento total del hormigón, apertura lateral del refuerzo transversal y pandeo del refuerzo longitudinal.



**Figura 3.20 Elemento dañado A3-2**

**Elemento A3-2**

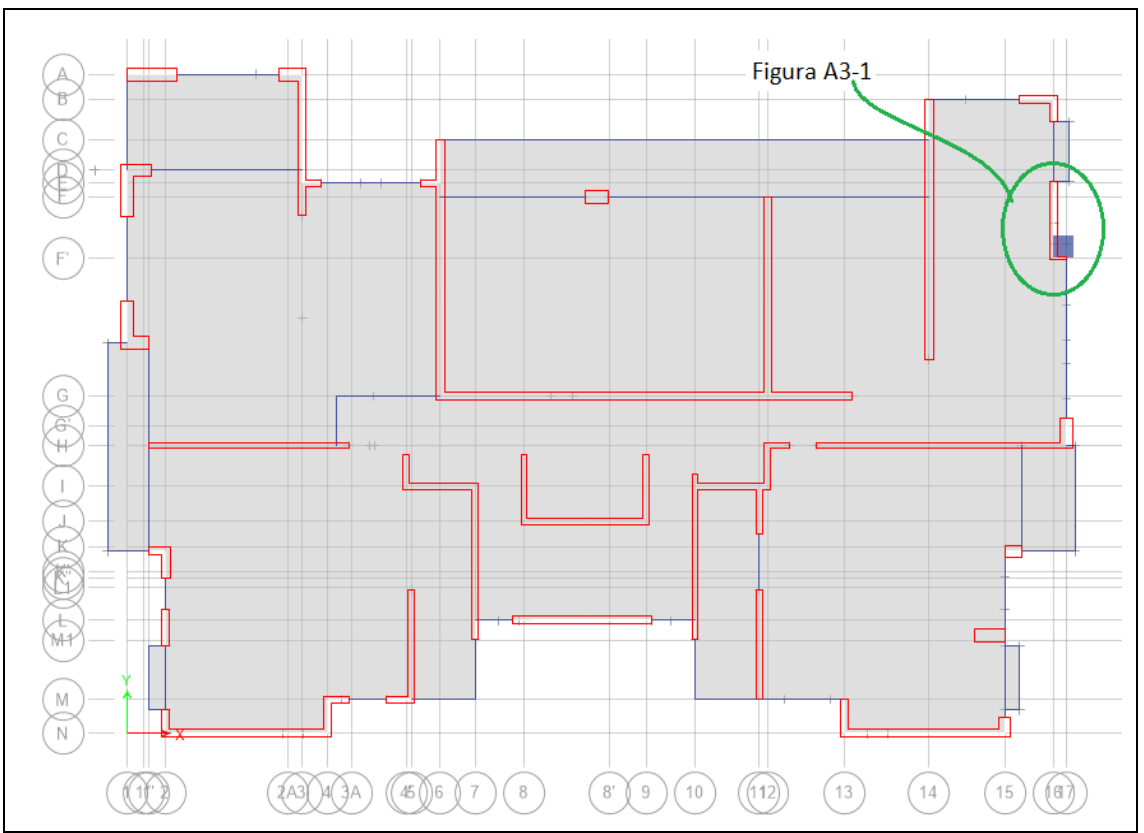
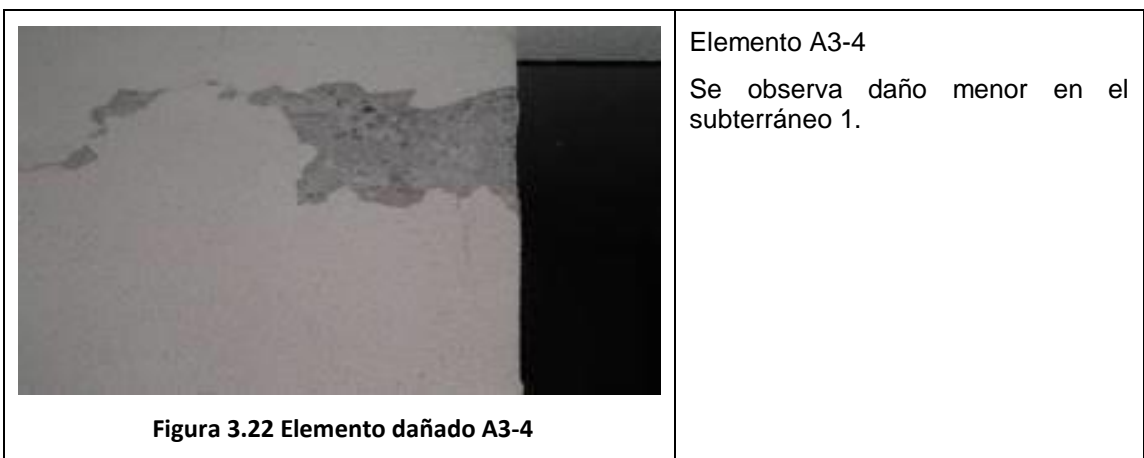
Se observa daño en una gran extensión en la parte superior del muro en el subterráneo 1, con desprendimiento total del hormigón, apertura hacia los lados del refuerzo transversal y pandeo del refuerzo longitudinal.



**Figura 3.21 Elemento dañado A3-3**

**Elemento A3-3**

Se observa agrietamiento diagonal por corte acompañado de desprendimientos de hormigón.



**Figura 3.23 Edificio N1, planta piso 1 indicando elementos dañados**

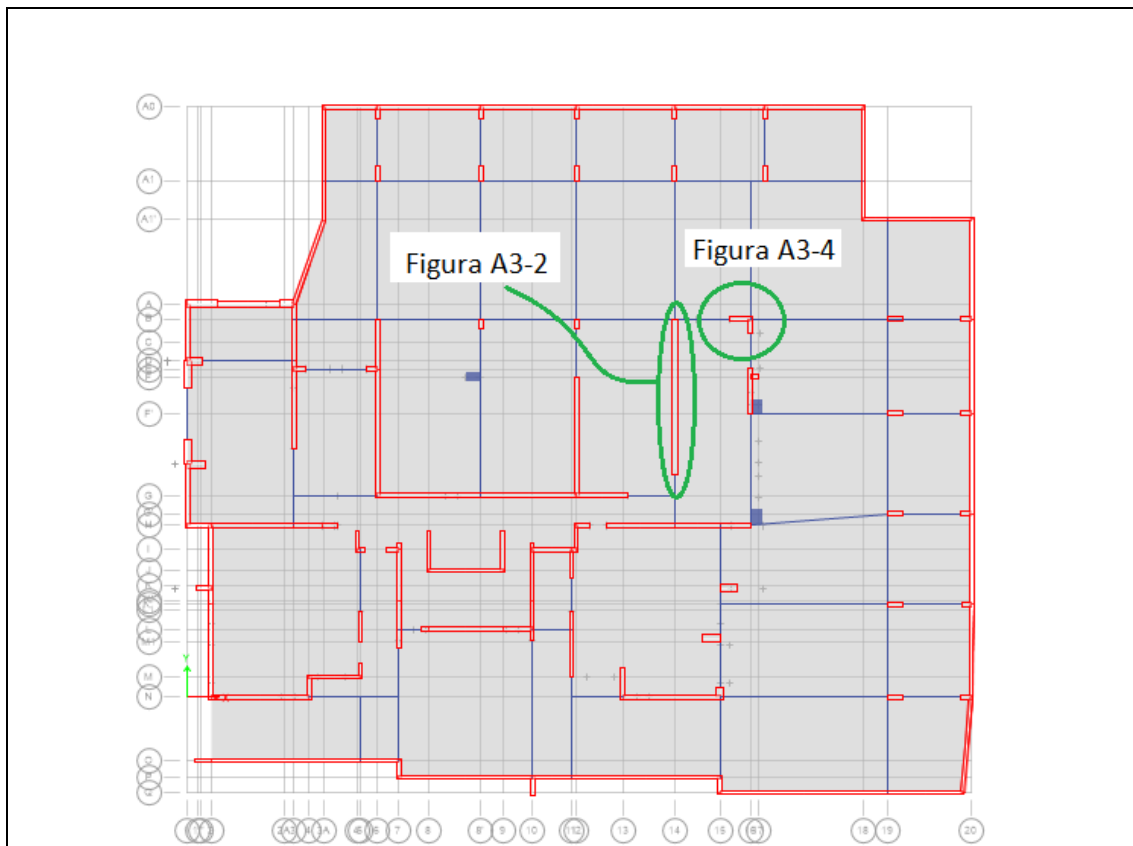


Figura 3.24 Edificio N1, planta subterráneo 1 indicando elementos dañados

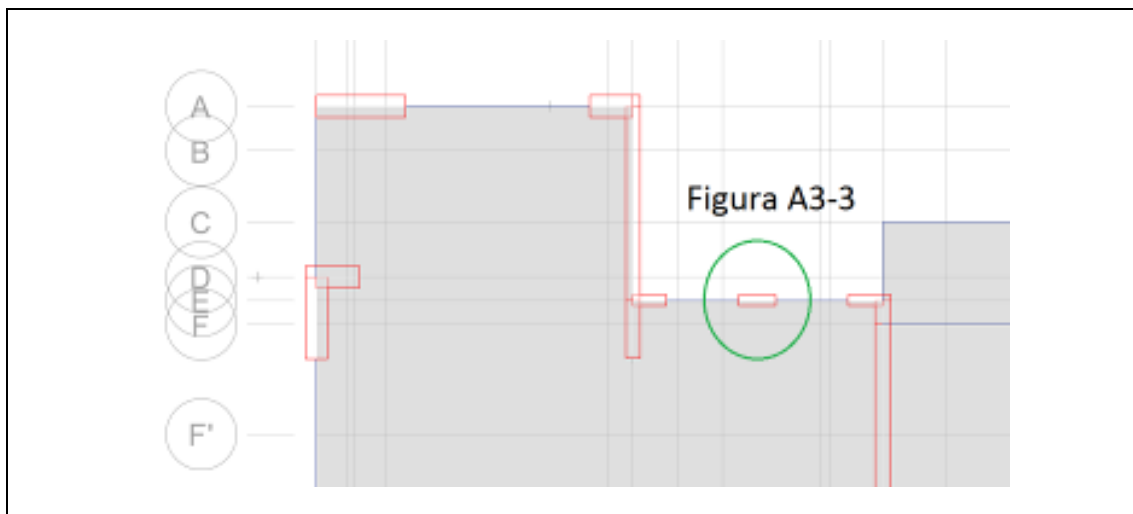


Figura 3.25 Piso 2, eje E, se indica machón dañado

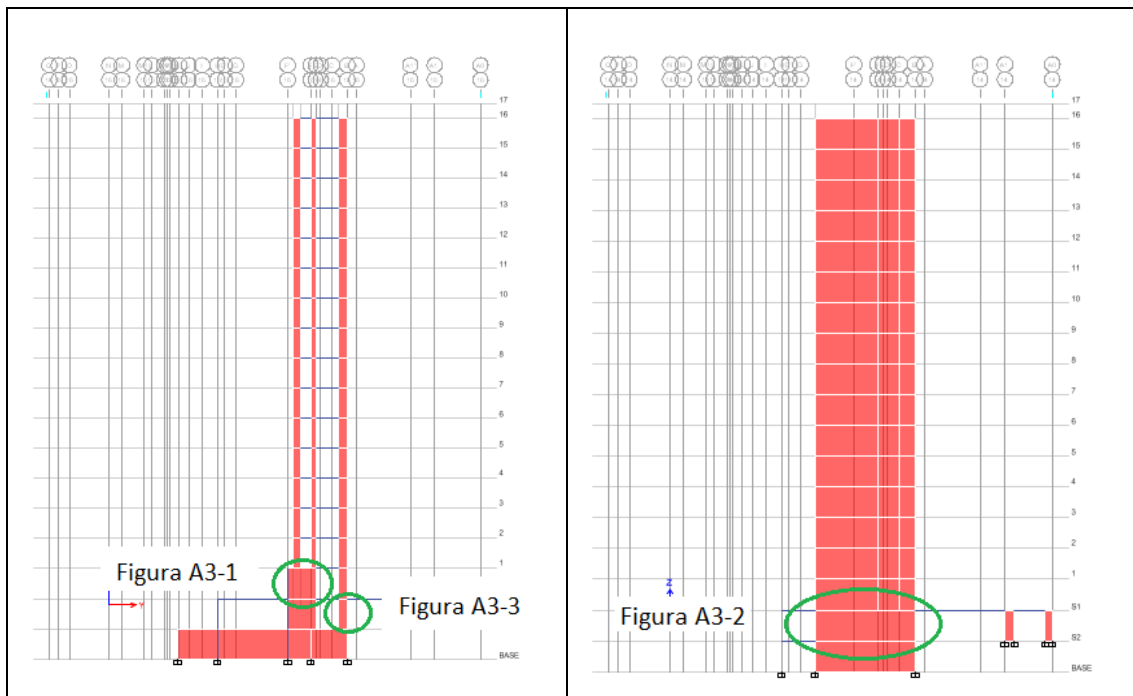


Figura 3.26 Elevación ejes 16 y 14 respectivamente, se indica el daño observado

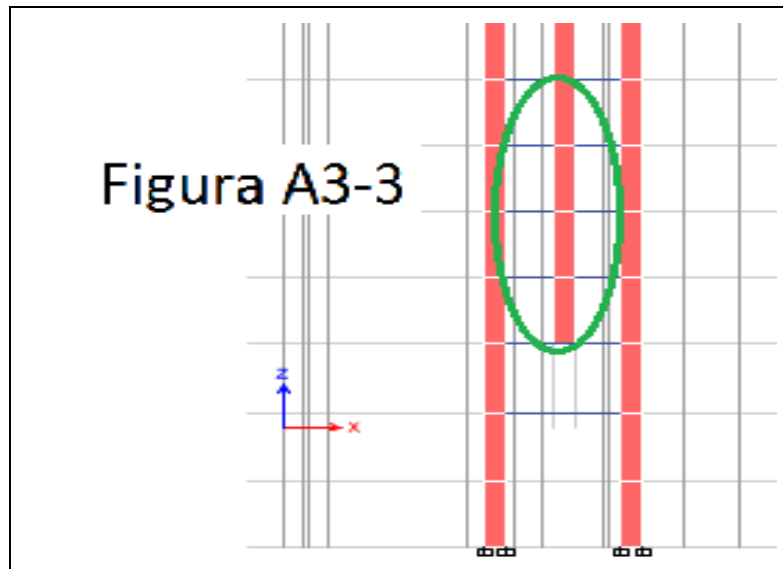


Figura 3.27 Elevación eje E, se indica el daño observado

- **Clasificación general**

El daño principal del edificio se concentra en los muros del sector Nor-Oriente, en el piso 1 y en el primer subterráneo. Tiene daños en muros, machones, y en menor medida en columnas, uniones viga-columna y losas. Existe desprendimiento de hormigón, exposición del refuerzo en los muros y pandeo del refuerzo. No existe riesgo de colapso.

El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 16% en el primer piso.

El edificio se clasifica con el nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes.

### 3.5.2.4 Edificio B4 (Bahía)

- Descripción general

<b>Edificio B4</b>				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	1962		
	Número de pisos + subterráneos	10+2+z		
	Altura total del edificio [m]	35.5		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	344.64		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	2.85	2.11	4.96
	Peso sísmico [ton]	5708.0		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.72	0.75	
	Orientación c/r norte	-51°N		
				

Tabla 3.6 Tabla resumen edificio B4

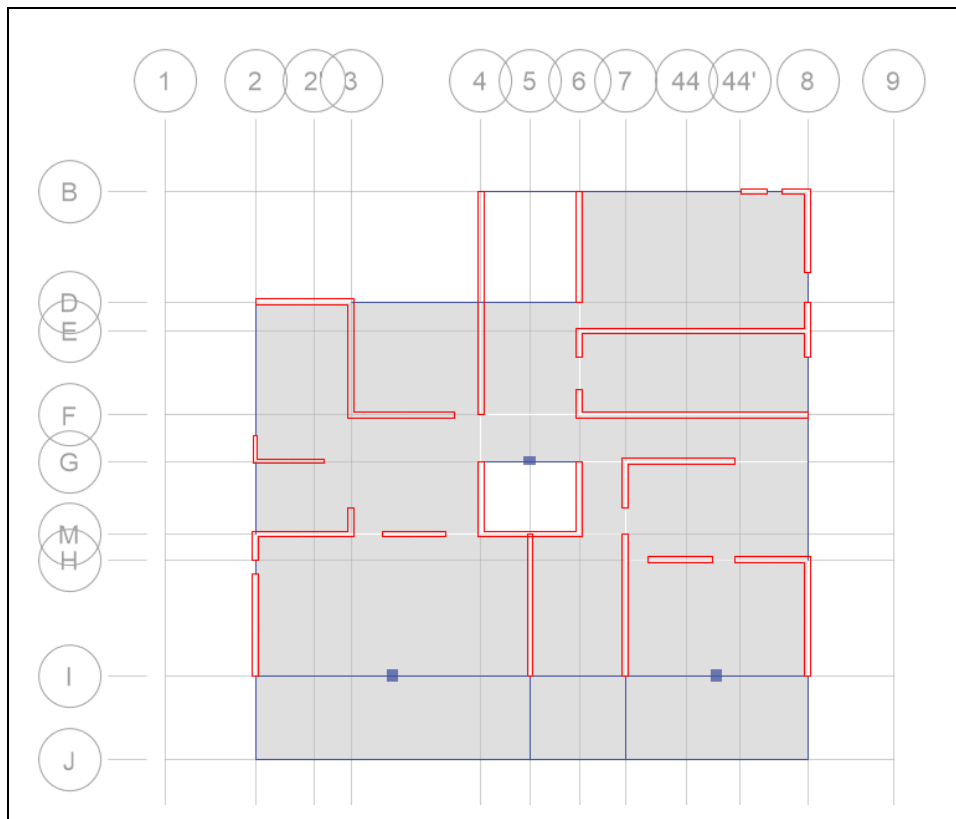


Figura 3.28 Planta piso 1 edificio B4

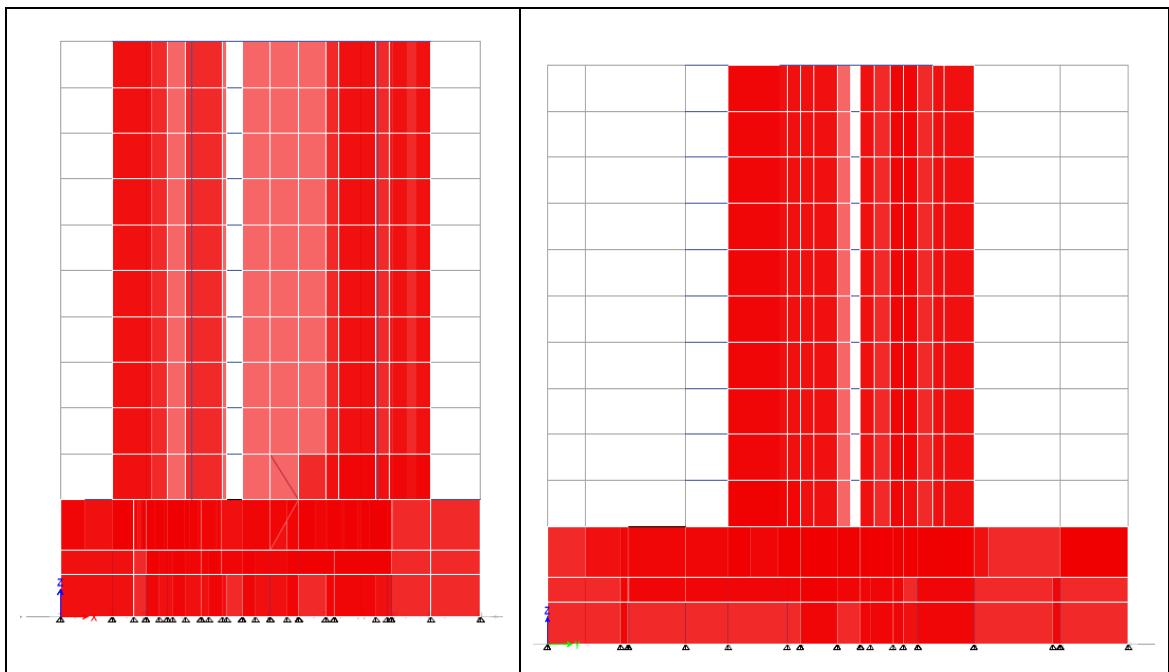


Figura 3.29 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio B4

- **Daño observado**




 <p><b>Figura 3.30 Elemento dañado B4-1</b></p>	<p><b>Elemento B4-1</b></p> <p>Se aprecia daño del muro en el primer piso en la zona inferior por compresión del borde. Existe un agrietamiento horizontal en gran parte del largo del muro acompañado de desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.</p>
 <p><b>Figura 3.31 Elemento dañado B4-2</b></p>	<p><b>Elemento B4-2</b></p> <p>Muro dañado en el primer piso. Se observa extenso agrietamiento horizontal a lo largo del muro, desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.</p>
 <p><b>Figura 3.32 Elemento dañado B4-3</b></p>	<p><b>Elemento B4-3</b></p> <p>Daño de muro en el primer piso. Se observa extenso agrietamiento a lo largo del muro, desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.</p>



Figura 3.33 Elemento dañado B4-4

**Elemento B4-4**

Daño en primer piso de muro. Se observa extenso agrietamiento a lo largo del muro, desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.

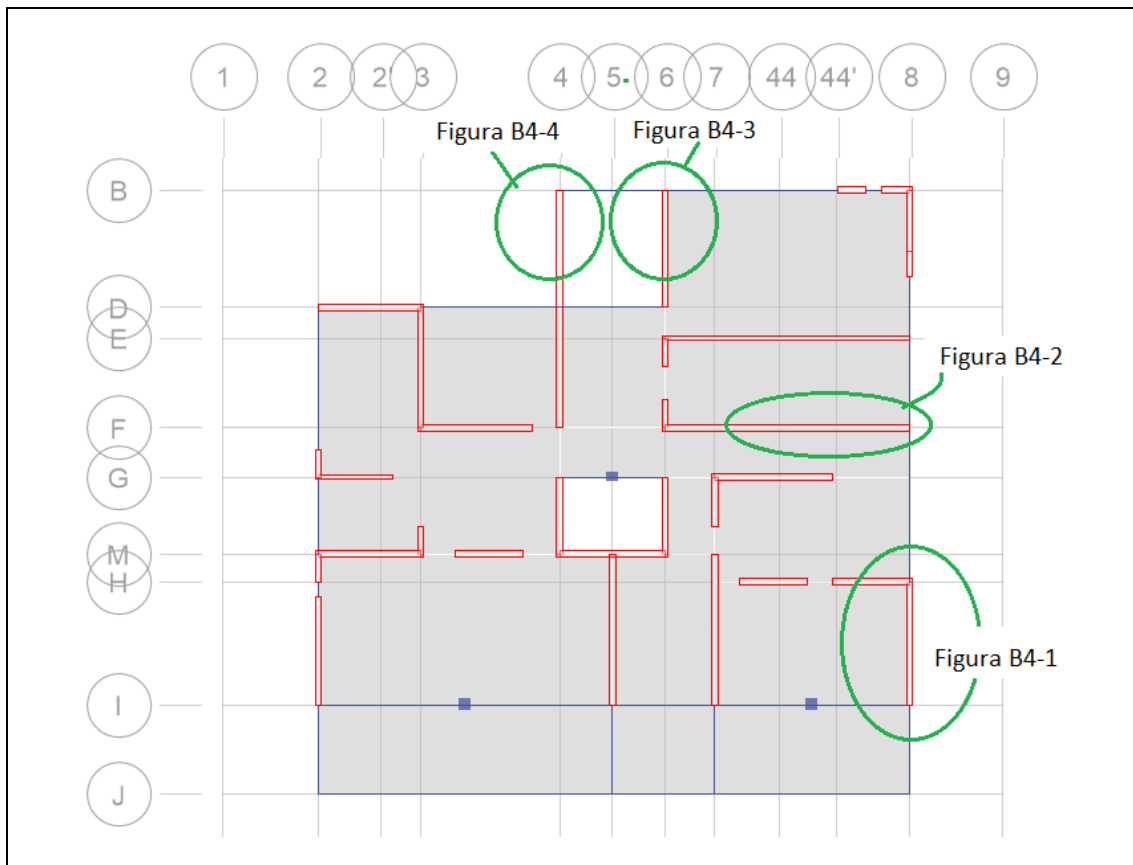


Figura 3.34 Edificio B4, planta piso 1, se indican los elementos dañados

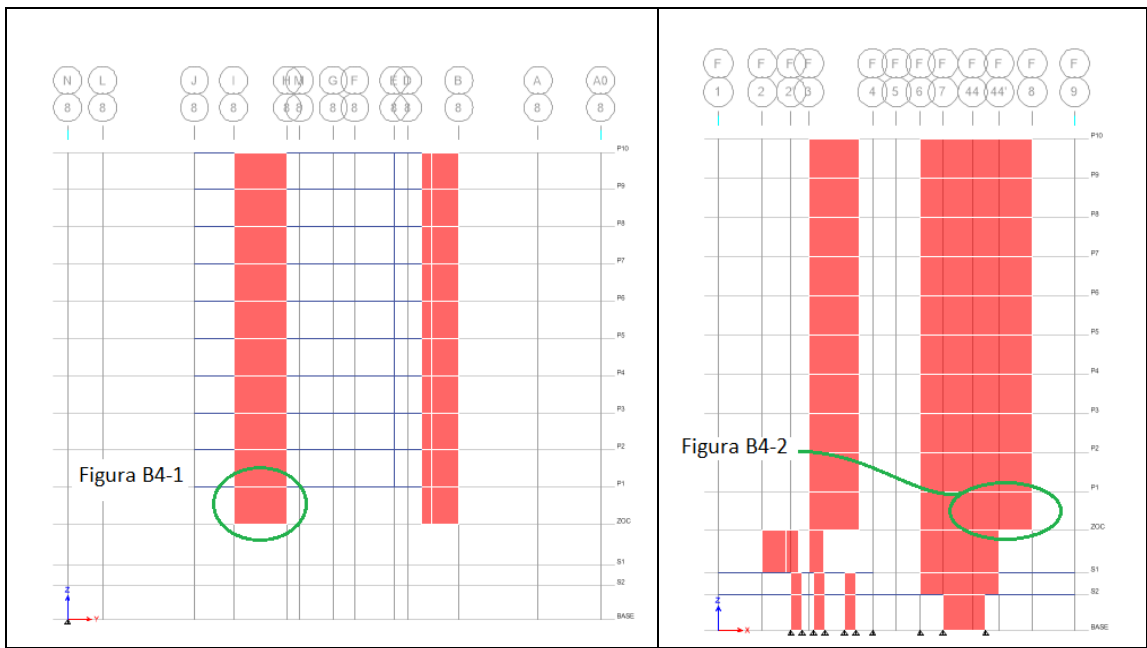


Figura 3.35 Elevación ejes 8 y F respectivamente, se indica el daño observado

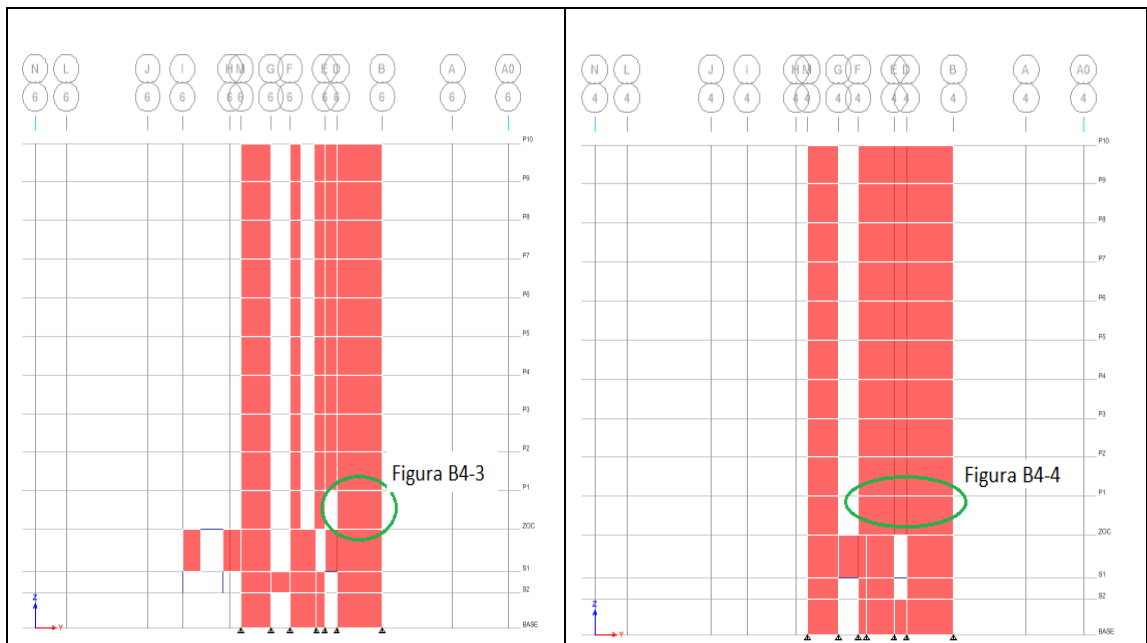


Figura 3.36 Elevación ejes 4 y 6 respectivamente, se indica el daño observado

- **Clasificación general**

El edificio presenta gran daño en elementos estructurales, presenta extenso agrietamiento en muros por compresión de borde, desprendimiento de hormigón dejando expuesto el refuerzo. El daño se concentra en el primer piso, existe deformación permanente mayor al 2%. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 22% en el primer piso.

El edificio se clasifica con el nivel de desempeño Peligro de Colapso.

### 3.5.2.5 Edificio F5 (Festival)

- Descripción general

Edificio F5				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	1978		
	Número de pisos + subterráneos	14+1		
	Altura total del edificio [m]	44.2		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	924.39		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	2.83	2.75	5.58
	Peso sísmico [ton]	14558.3		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.73	0.86	
	Orientación c/r norte	-8°N		
				

Tabla 3.7 Tabla resumen edificio F5

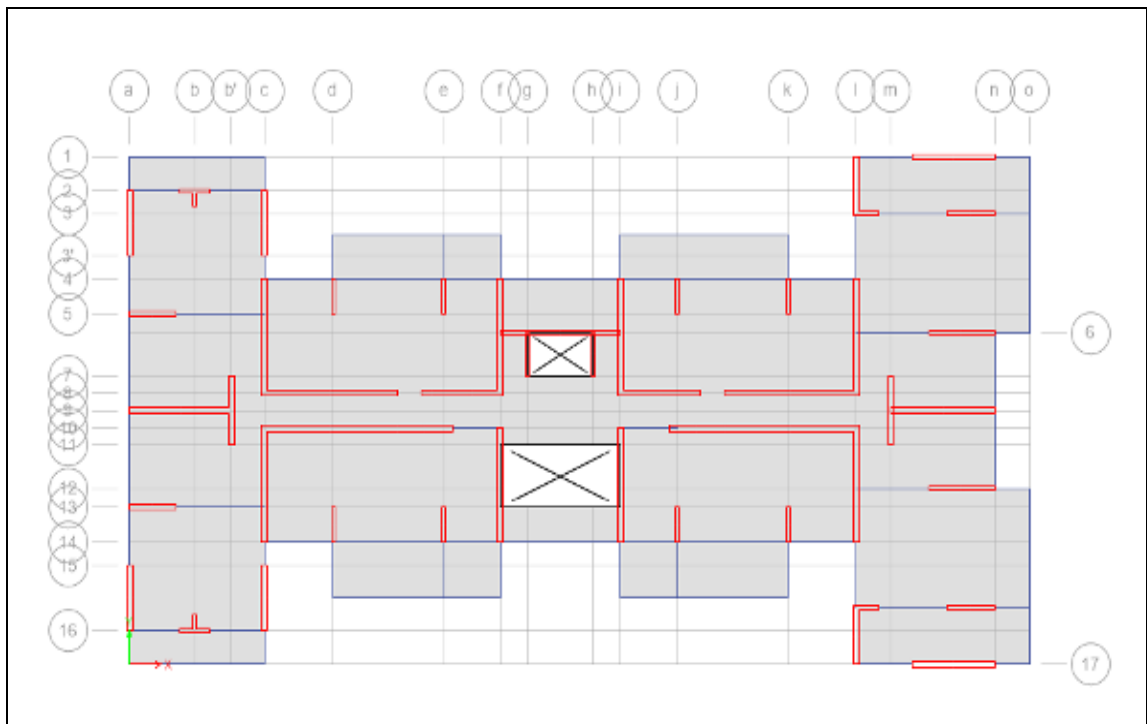


Figura 3.37 Edificio F5, planta piso 1

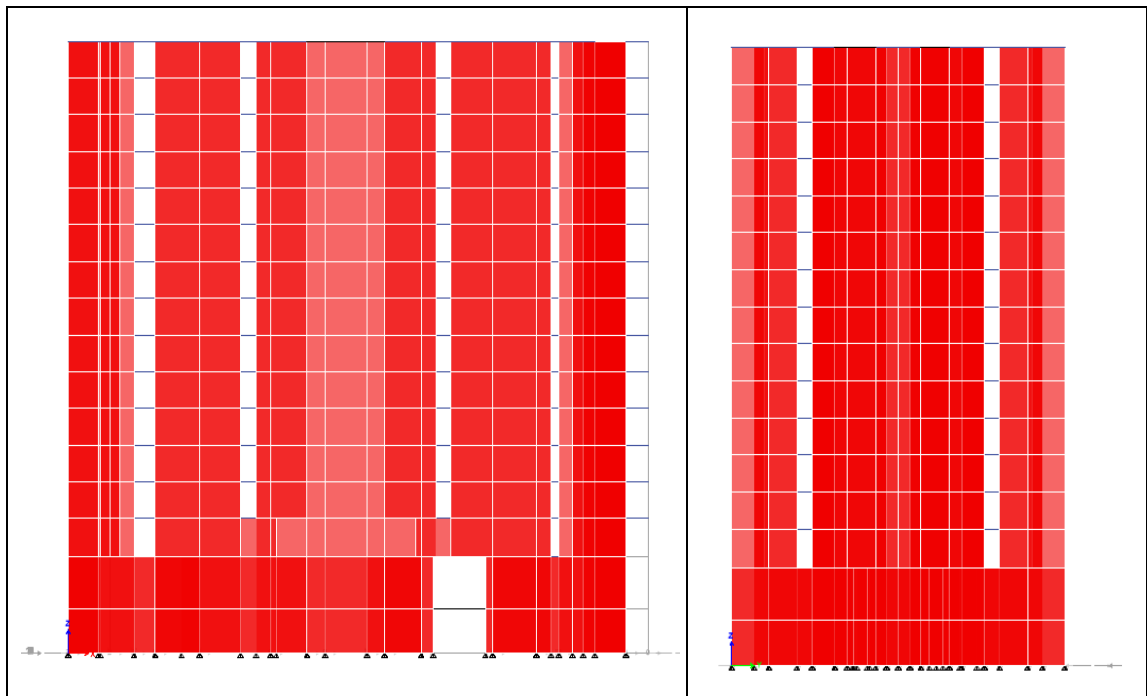


Figura 3.38 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D edificio F5

- **Daño observado**



**Figura 3.39 Elemento dañado F5-1**

**Elemento F5-1**

Se aprecia daño del muro en el primer piso. Existe un agrietamiento en todo el alto del piso y en lo largo del muro acompañado de desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.



**Figura 3.40 Elemento dañado F5-2**

**Elemento F5-2**

Muro dañado en el primer piso. Se observa extenso agrietamiento a lo largo del muro, desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.



**Figura 3.41 Elemento dañado F5-3**

**Elemento F5-3**

Daño en primer piso por compresión del borde del muro. Se observa extenso agrietamiento a lo largo, desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.



Figura 3.42 Elemento dañado F5-4

**Elemento F5-4**

Daño en primer piso de muro. Se observa agrietamiento concentrado en el borde del muro, se observa desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.



Figura 3.43 Elemento dañado F5-5

**Elemento F5-5**

Se observa agrietamiento que atraviesa el alto de la escalera dejando expuesto el refuerzo.

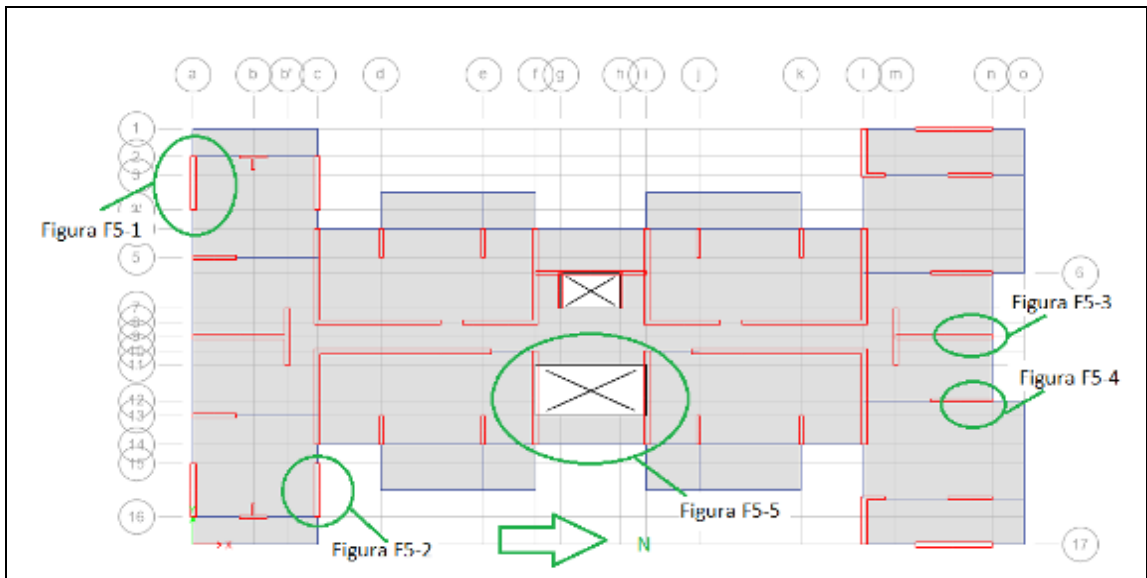


Figura 3.44 Edificio F5, planta piso 1, se indican los elementos dañados

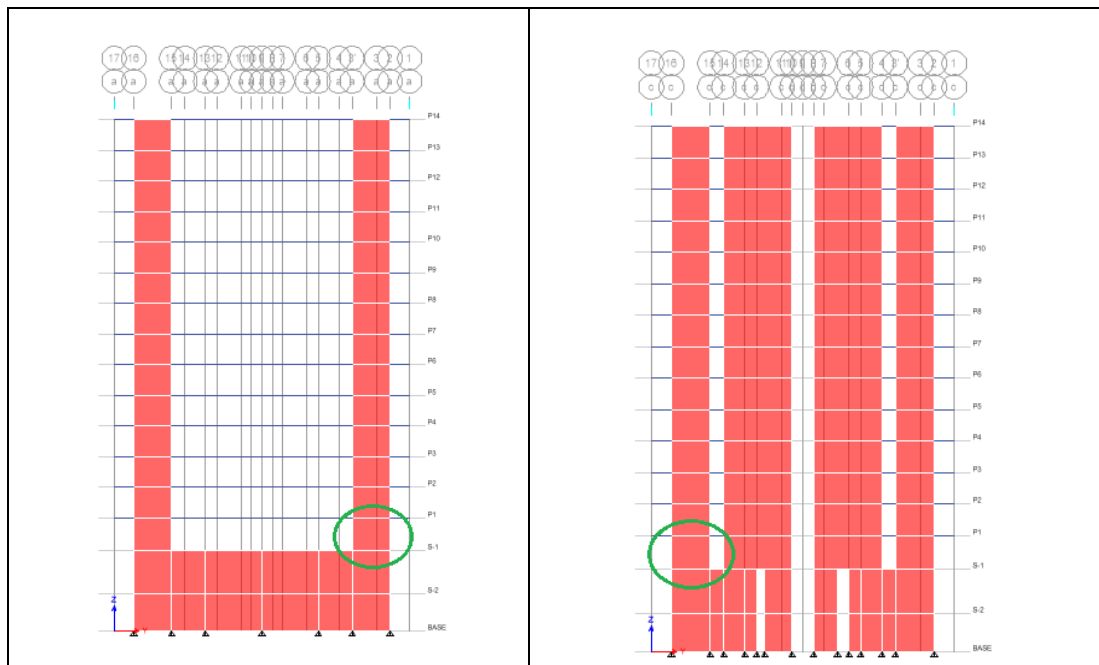


Figura 3.45 Elevación ejes A y C, edificio F5, se indica el daño observado

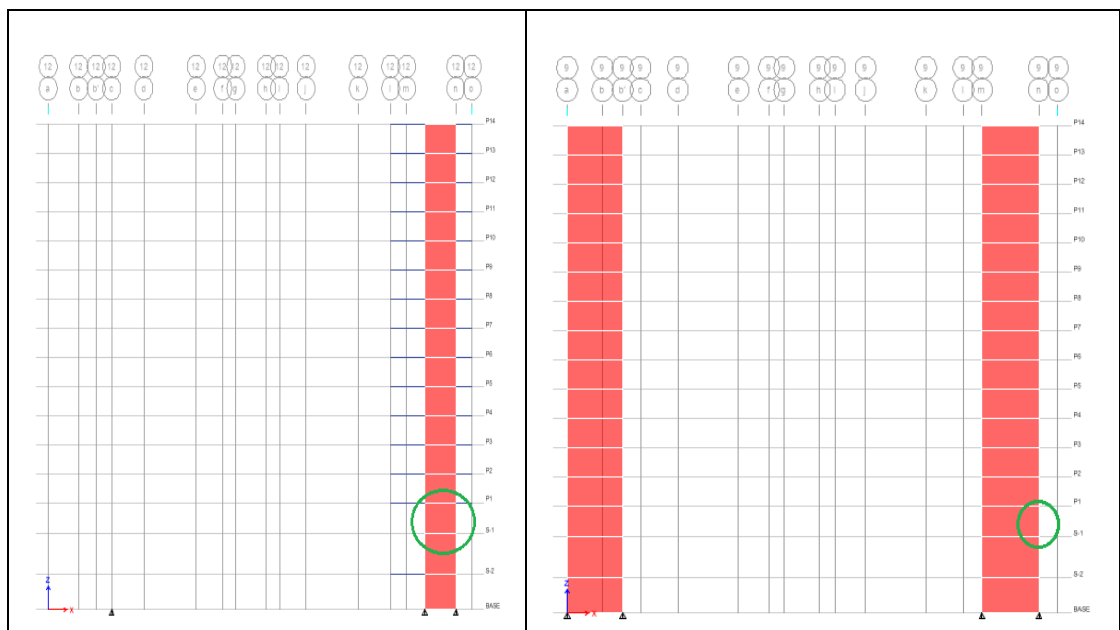


Figura 3.46 Elevación ejes 12 y 9 respectivamente del edificio F5, se indica el daño observado

- **Clasificación general**

El edificio presenta gran daño en elementos estructurales, presenta extenso agrietamiento en muros por compresión de borde de muro, por corte y flexión, se observa extenso desprendimiento de hormigón dejando expuesto el refuerzo en varias zonas. El daño se concentra en el primer piso en muros, en escaleras y losas de pisos superiores, existe deformación permanente mayor al 2%. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 25% en el primer piso.

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Peligro de Colapso.

### 3.5.2.6 Edificio M6 (Málaga)

- Descripción general

Edificio M6				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	1995		
	Número de pisos + subterráneos	11+1		
	Altura total del edificio [m]	31		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	359.27		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	3.00	3.27	6.27
	Peso sísmico [ton]	4604.3		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.42	0.73	
	Orientación c/r norte	82°N		
				

Tabla 3.8 Tabla resumen edificio M6

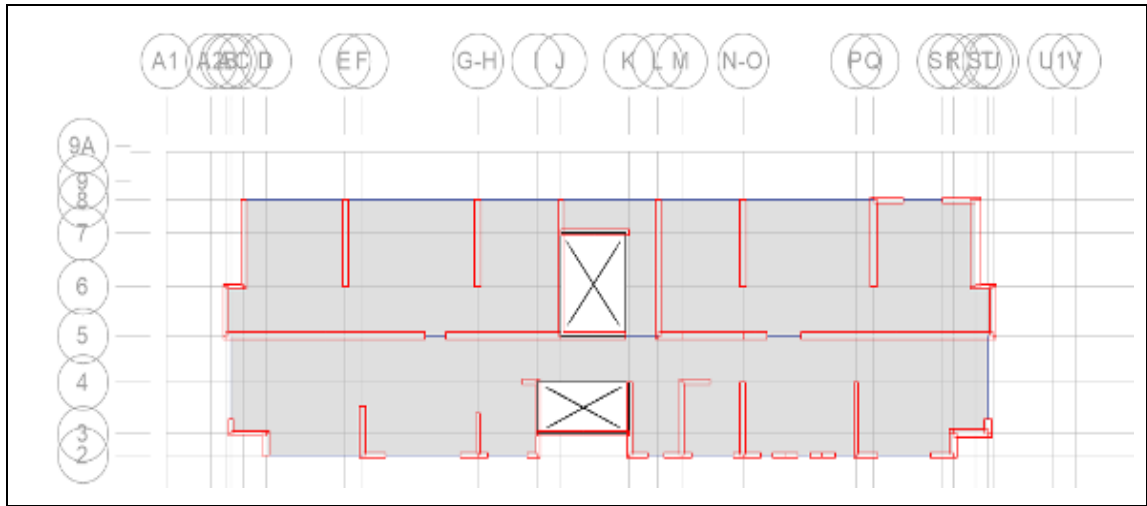


Figura 3.47 Planta piso 1 edificio M6

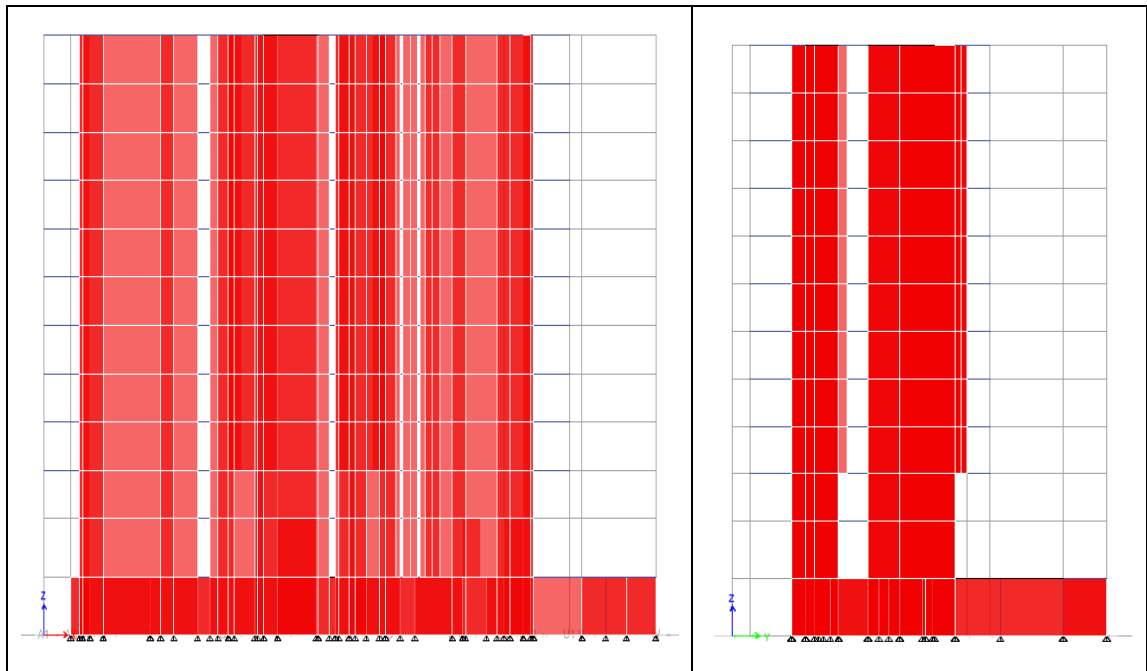
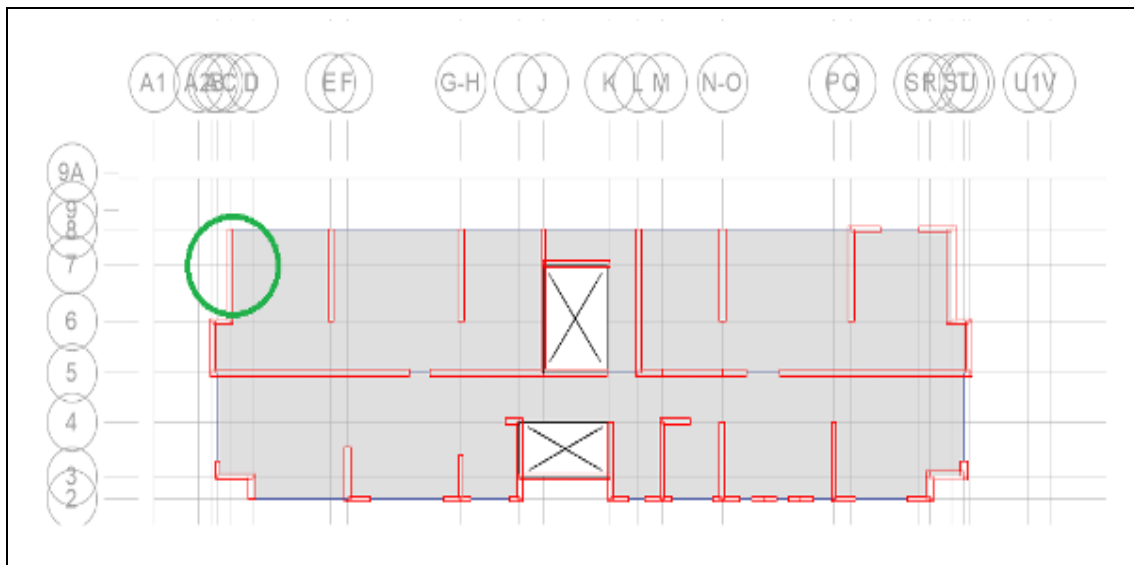


Figura 3.48 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio M6

- Daño observado

	<p><b>Elemento M6-1</b></p> <p>Se aprecia daño del muro en el primer piso. Daño por compresión en el borde del muro, existe desprendimiento de hormigón dejando expuesto el refuerzo el cual se pandeó.</p>
<p><b>Figura 3.49 Elemento dañado M6-1</b></p>	



**Figura 3.50 Edificio M6, planta piso 1, se indica elemento dañado**

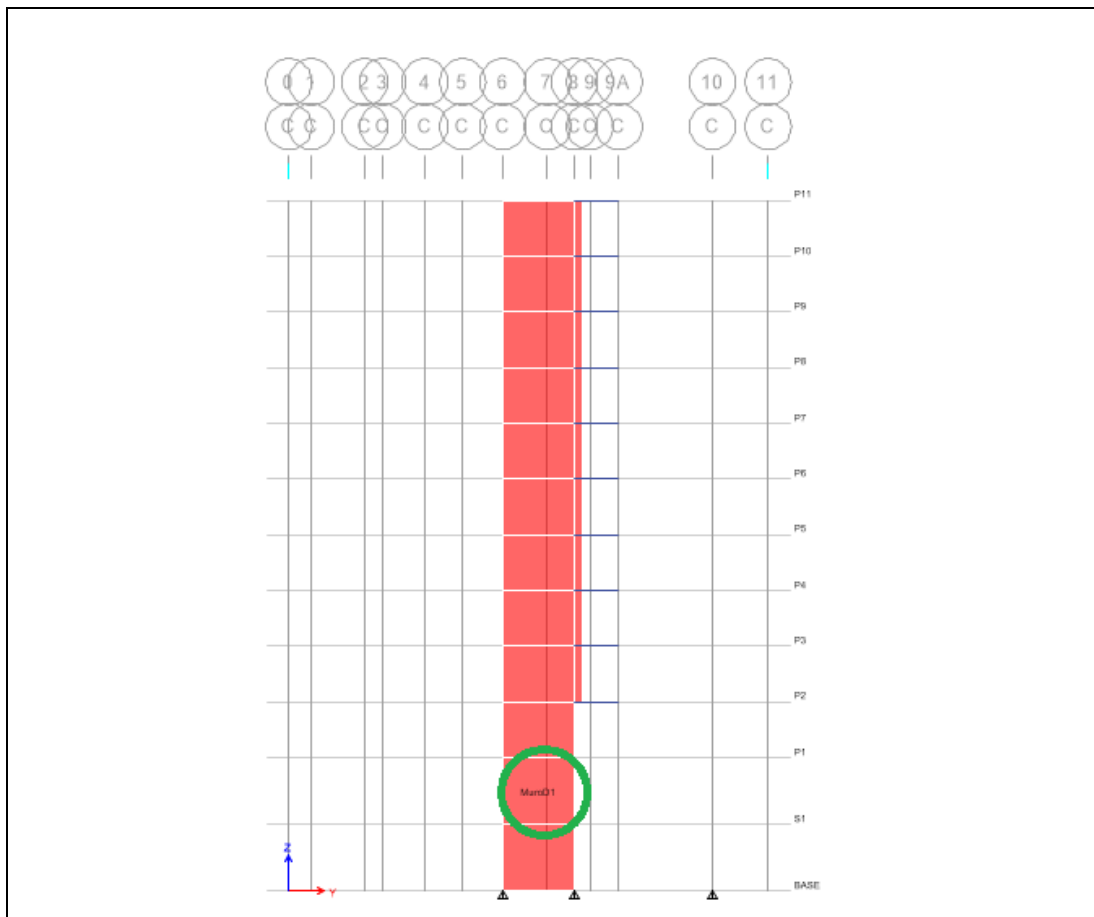


Figura 3.51 Elevación del eje C del edificio M6, se indica el daño observado

- **Clasificación general**

El edificio presenta daño localizado en un muro del primer piso, existe desprendimiento de hormigón y pandeo del refuerzo longitudinal. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 6% en el primer piso.

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes.

### 3.5.2.7 Edificio M7 (Marina del Sol)

- Descripción general

<b>Edificio M7</b>				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	2005		
	Número de pisos + subterráneos	19+1		
	Altura total del edificio [m]	52.38		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	454.96		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	3.50	2.80	6.30
	Peso sísmico [ton]	9909.3		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.78	1.28	
	Orientación c/r norte	-9°N		
				

Tabla 3.9 Tabla resumen edificio M7

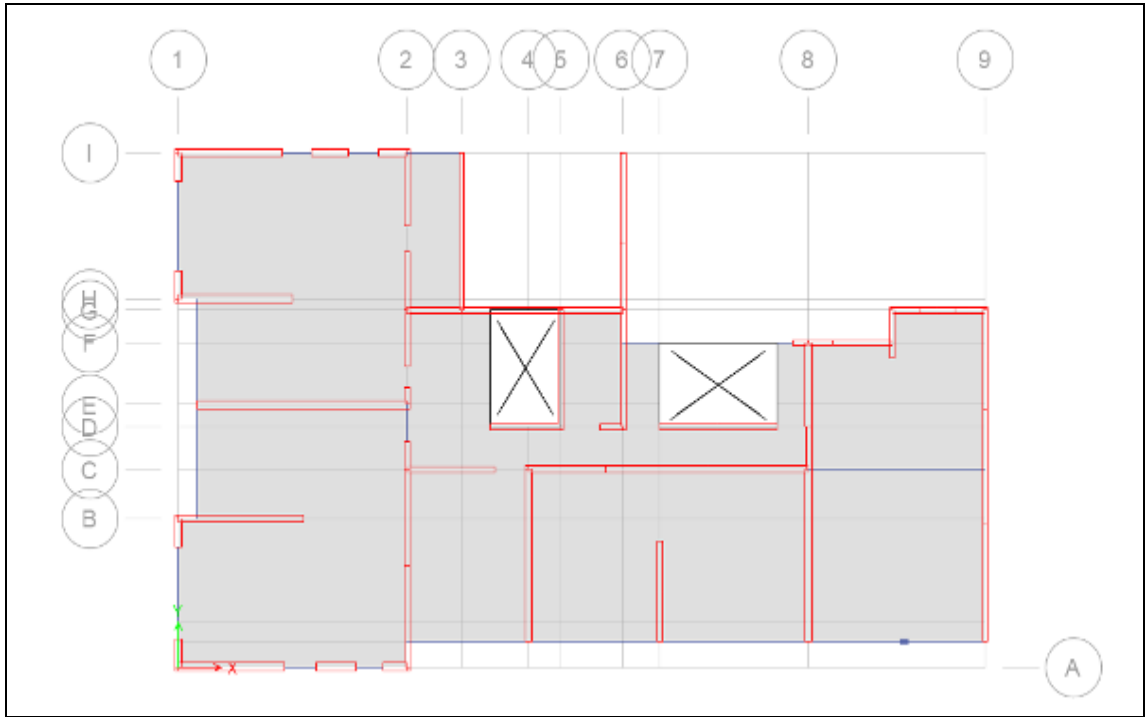


Figura 3.52 Planta piso 1 edificio M7

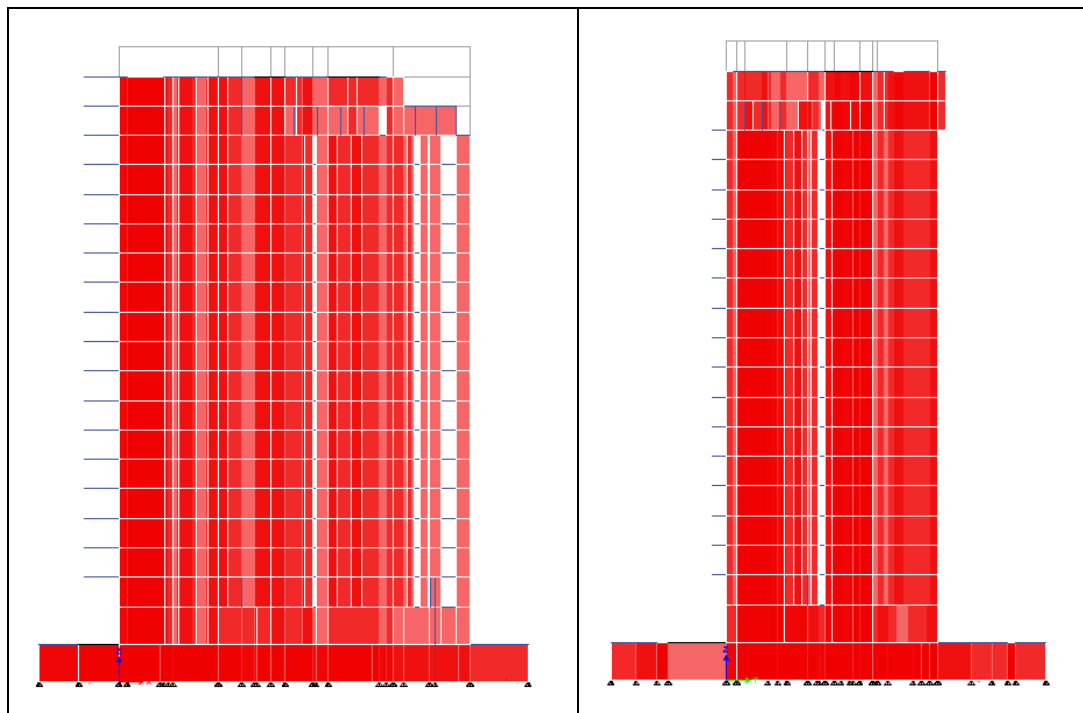


Figura 3.53 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio M7

- **Daño observado**

 <p>A photograph showing a vertical crack in a light-colored wall. The crack runs from the top to the bottom, with a jagged, irregular shape. The concrete around the crack is crumbling, and the internal steel reinforcement (rebar) is exposed. To the left of the crack, there is a red stamp that reads 'D-501' and a black stamp that reads '56'.</p>	<p><b>Elemento M7-1</b></p> <p>Se aprecia daño del muro en el primer piso. Existe un agrietamiento en el centro en todo el alto del piso acompañado de desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.</p>
 <p>A photograph showing a large, irregular hole in a wall. The hole is filled with broken concrete and exposed steel reinforcement. The wall is light-colored, and the hole is jagged. In the foreground, there is a red surface, possibly a table or counter, with some concrete debris on it.</p>	<p><b>Elemento M7-2</b></p> <p>Daño en el borde del muro, se observa aplastamiento y desprendimiento de hormigón, eje 7.</p>

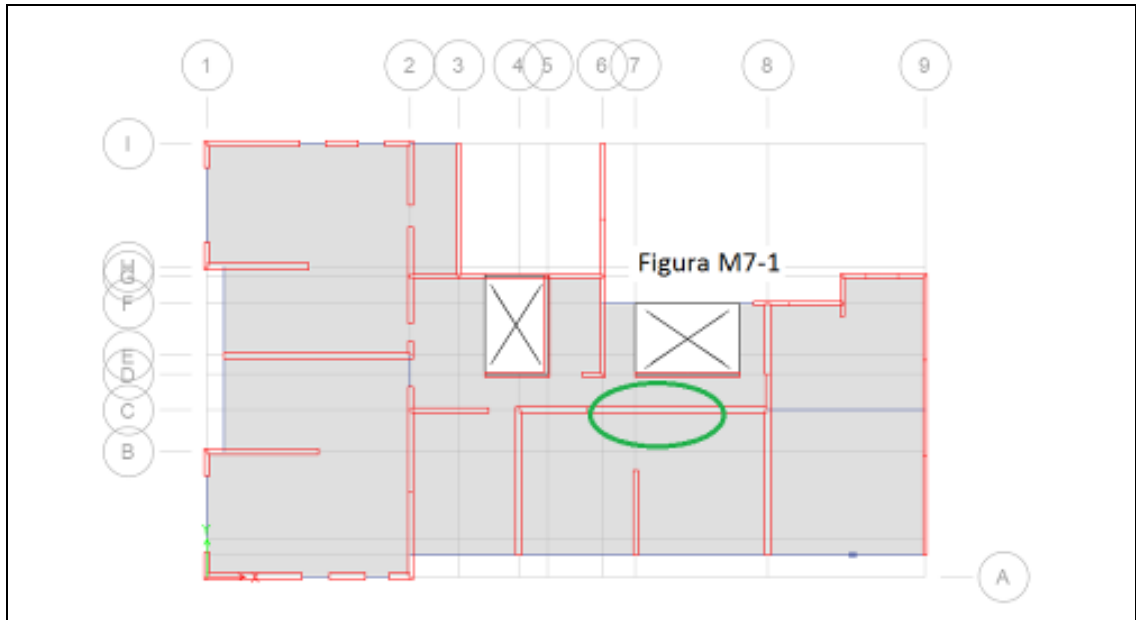


Figura 3.56 Edificio M7, planta piso 1, se indican los elementos dañados

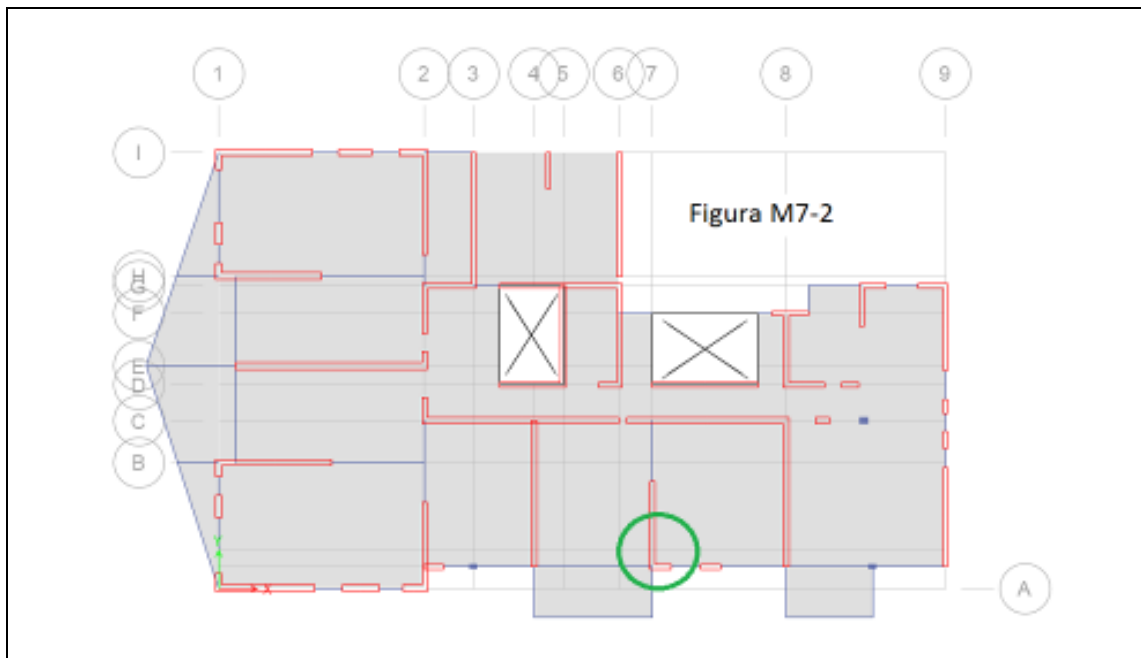
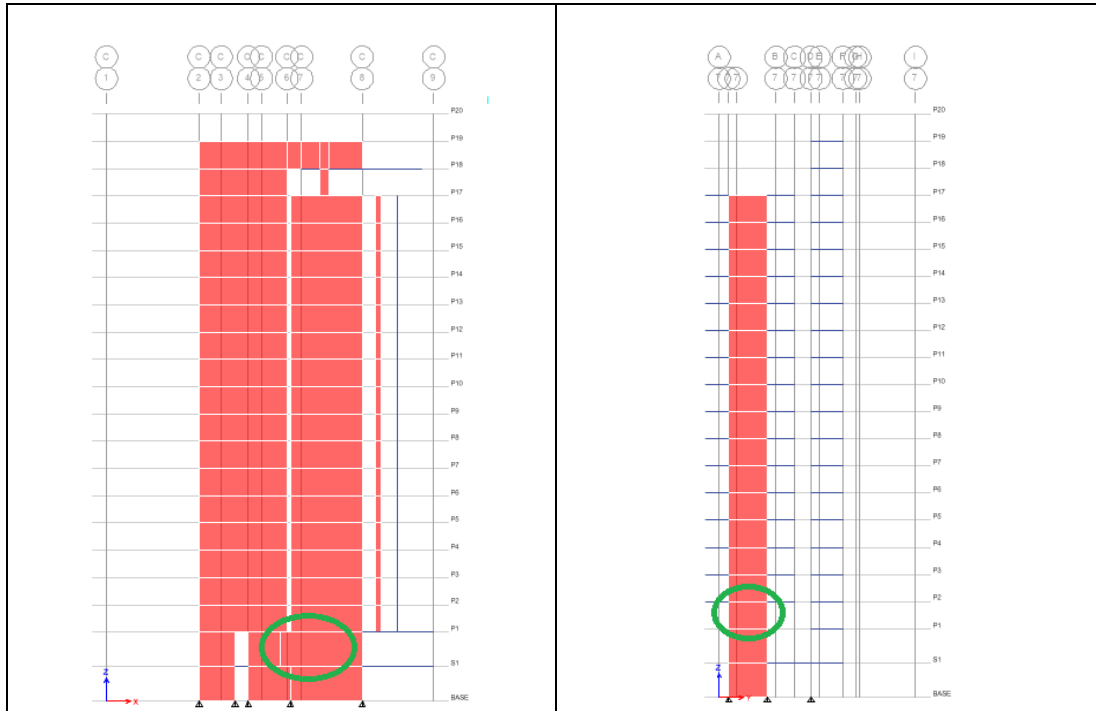


Figura 3.57 Edificio M7, planta piso 2, se indica el elemento dañado



**Figura 3.58 Elevación ejes C y 7 respectivamente del edificio M7, se indica el daño observado**

- **Clasificación general**

Se observa daño en el borde de un muro en el segundo piso acompañado de desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo. Se observa daño en el centro de otro muro, la grieta atraviesa el alto del muro del primer piso. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 10% en el primer y segundo piso.

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes.

### 3.5.2.8 Edificio M8 (Montebianco)

- Descripción general

Edificio M8				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	1999		
	Número de pisos + subterráneos	13+1		
	Altura total del edificio [m]	36.31		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	420.25		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	2.11	3.18	5.29
	Peso sísmico [ton]	5621.1		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.77	0.81	
	Orientación c/r norte	-10°N		
				

Tabla 3.10 Tabla resumen edificio M8

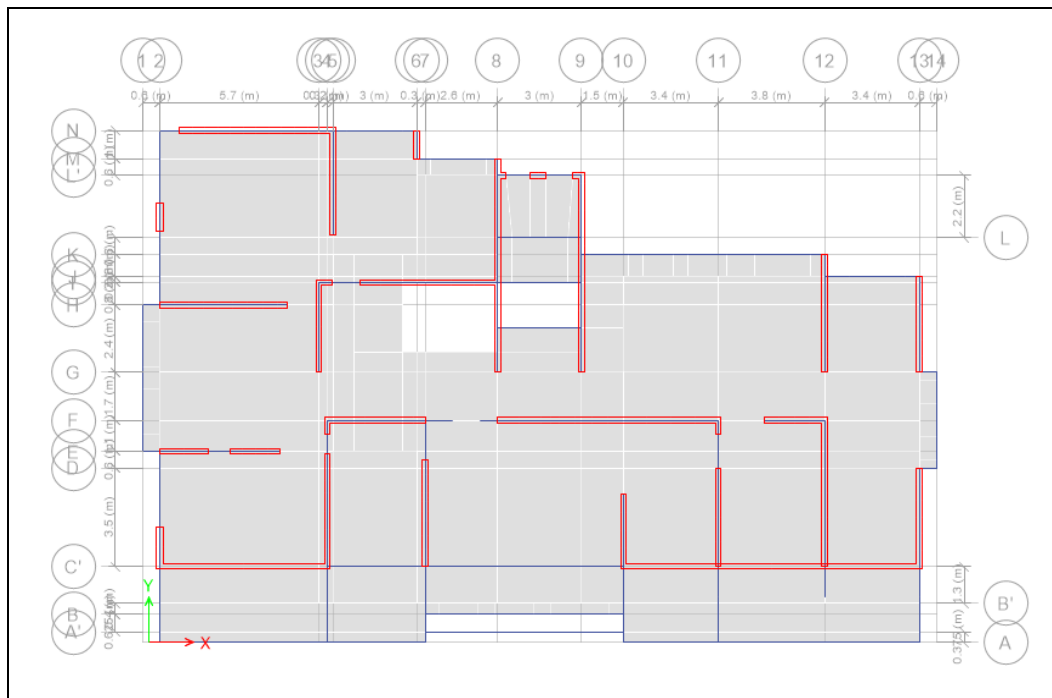


Figura 3.59 Planta piso 1 edificio M8

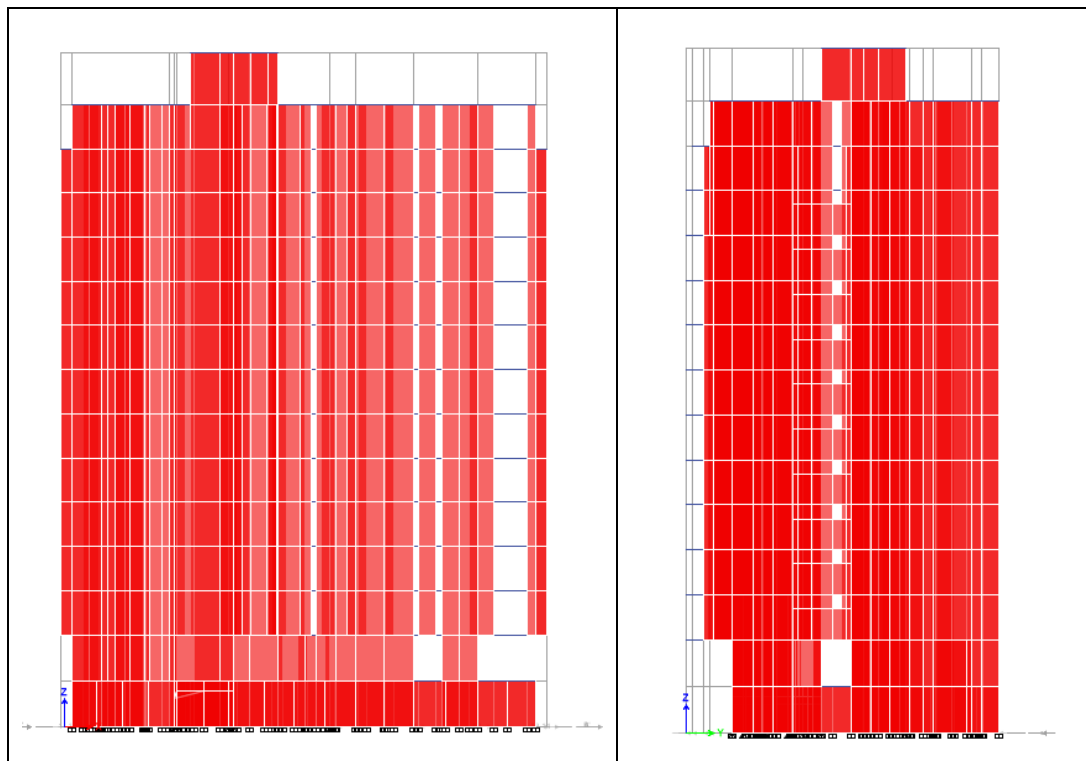


Figura 3.60 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio M8

- **Daño observado**



**Figura 3.61 Elemento dañado M8-1**

**Elemento M8-1**

Se observa agrietamiento vertical en muro del primer piso.



**Figura 3.62 Elemento dañado M8-2**

**Elemento M8-2**

Se observa agrietamiento vertical y aplastamiento en borde de muro del primer piso.



**Figura 3.63 Elemento dañado M8-3**

**Elemento M8-3**

Se observa daño por corte en columna en piso 2, 3 y 4.

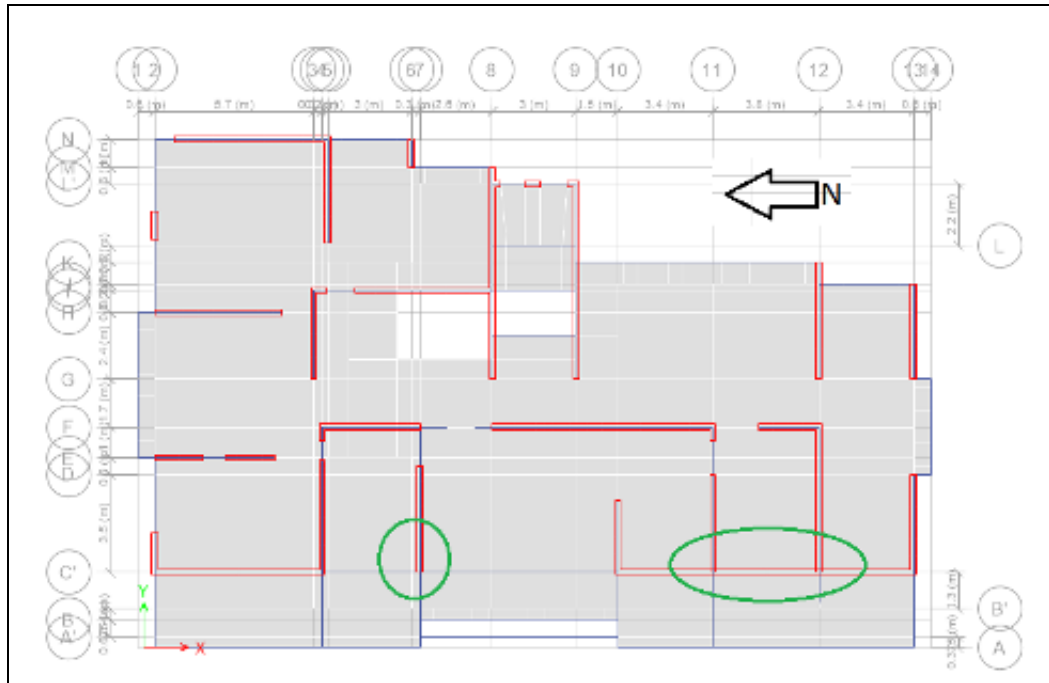


Figura 3.64 Planta del piso 1 del edificio M8, se indican los elementos dañados M8-2 y M8-1 respectivamente

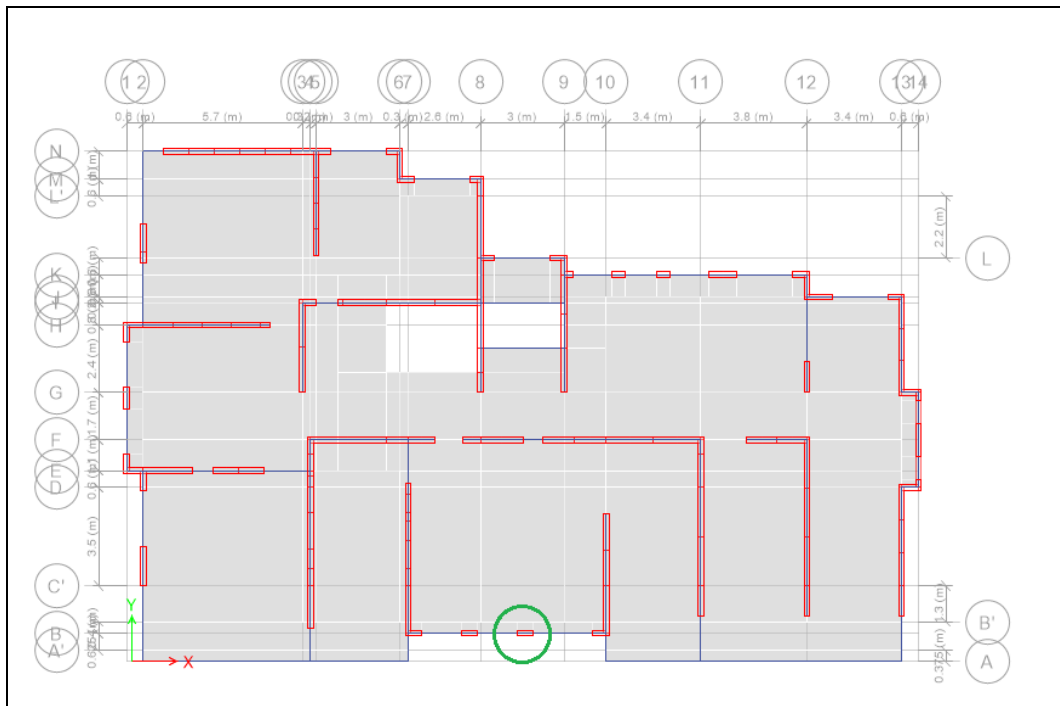


Figura 3.65 Edificio M8, planta piso 1, se indica el elemento M8-3 dañado

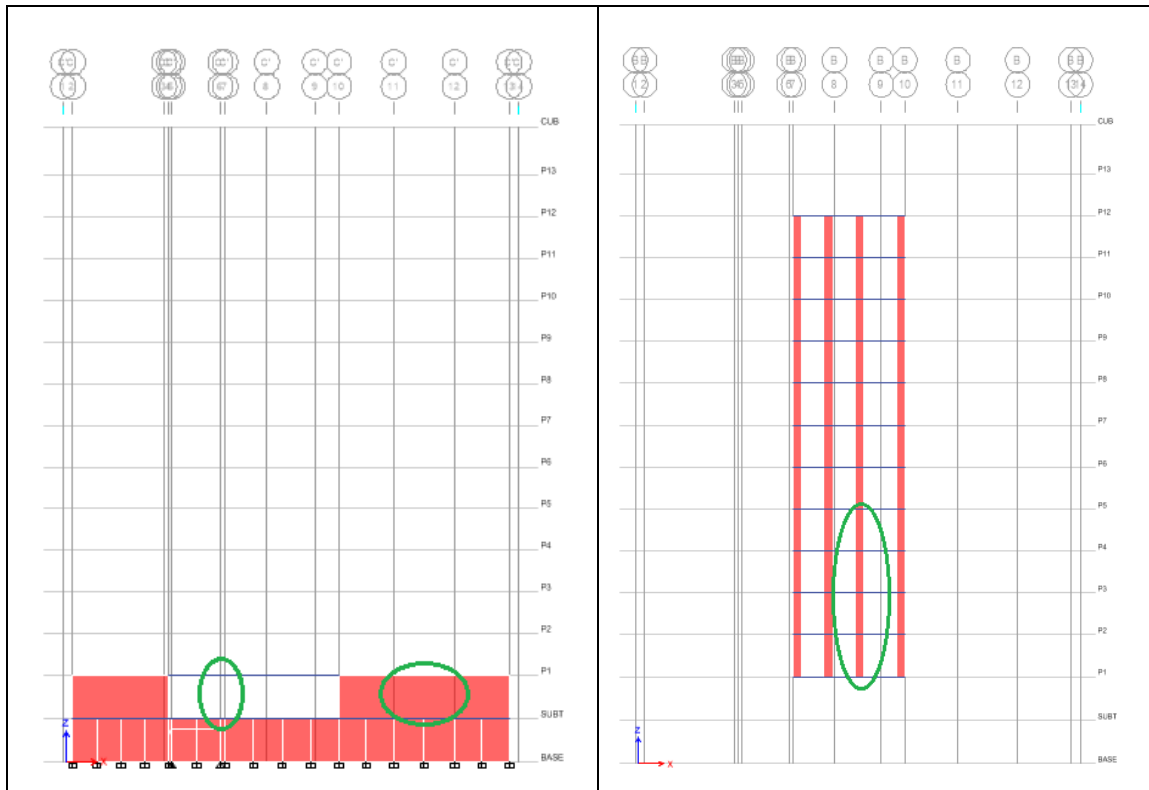


Figura 3.66 Elevación ejes C' y B del edificio M7, se indica el daño observado

- **Clasificación general**

Se observa daño por aplastamiento en el borde de un muro, existe otro muro con agrietamiento vertical, se observan fallas por corte en columnas. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 15% en el primer piso.

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes.

### 3.5.2.9 Edificio M9 (Murano)

- Descripción general

<b>Edificio M9</b>				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	2009		
	Número de pisos + subterráneos	7+1		
	Altura total del edificio [m]	21.04		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	303.46		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	3.17	2.88	6.06
	Peso sísmico [ton]	2110.0		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.24	0.50	
	Orientación c/r norte	81°N		
				

Tabla 3.11 Tabla resumen edificio M9

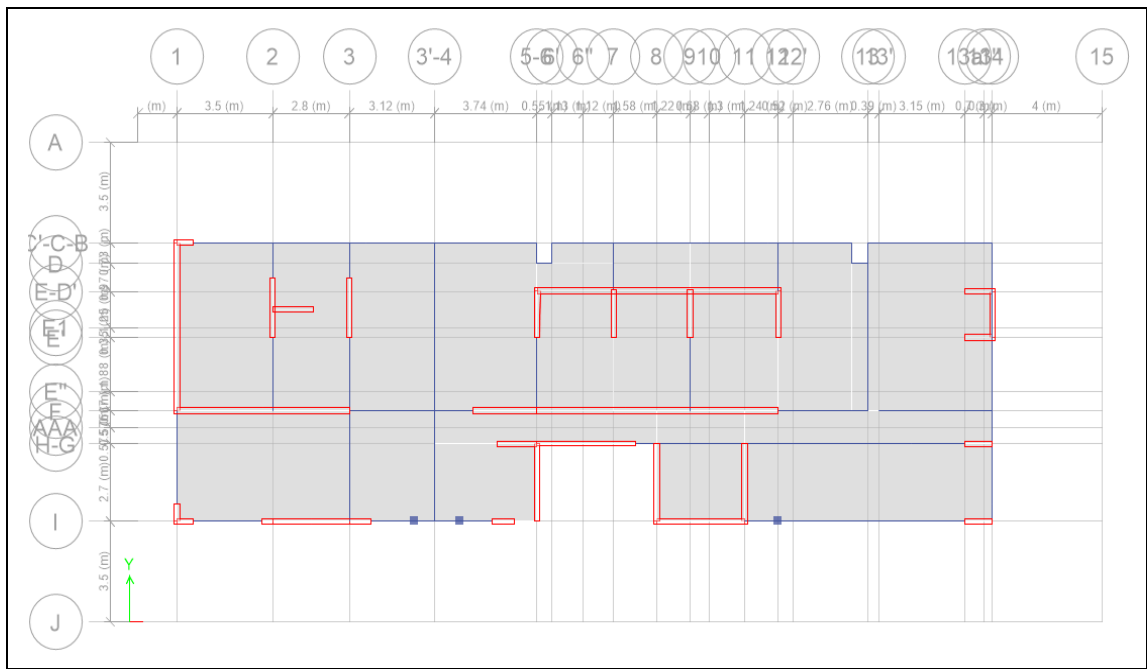


Figura 3.67 Planta piso 1 edificio M9

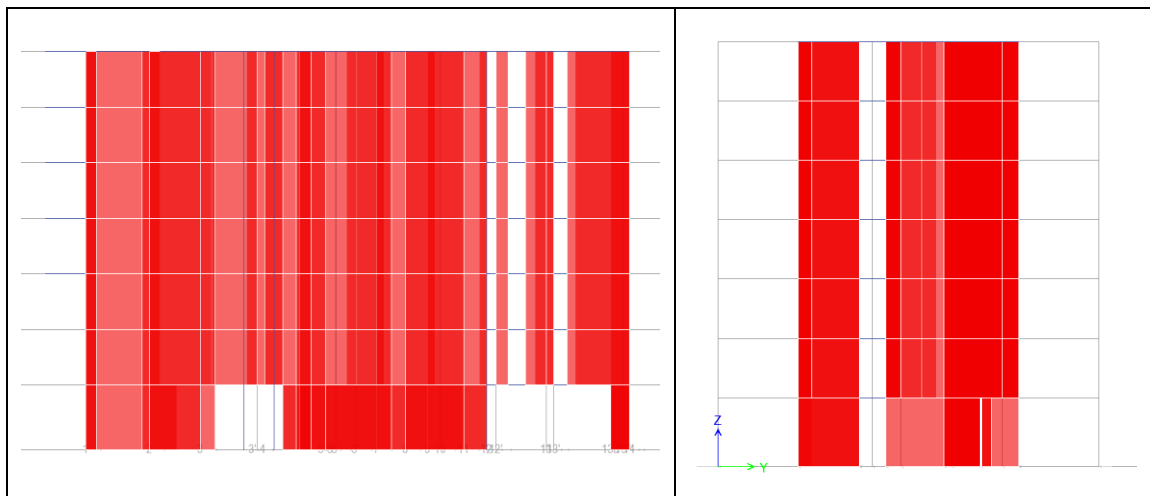
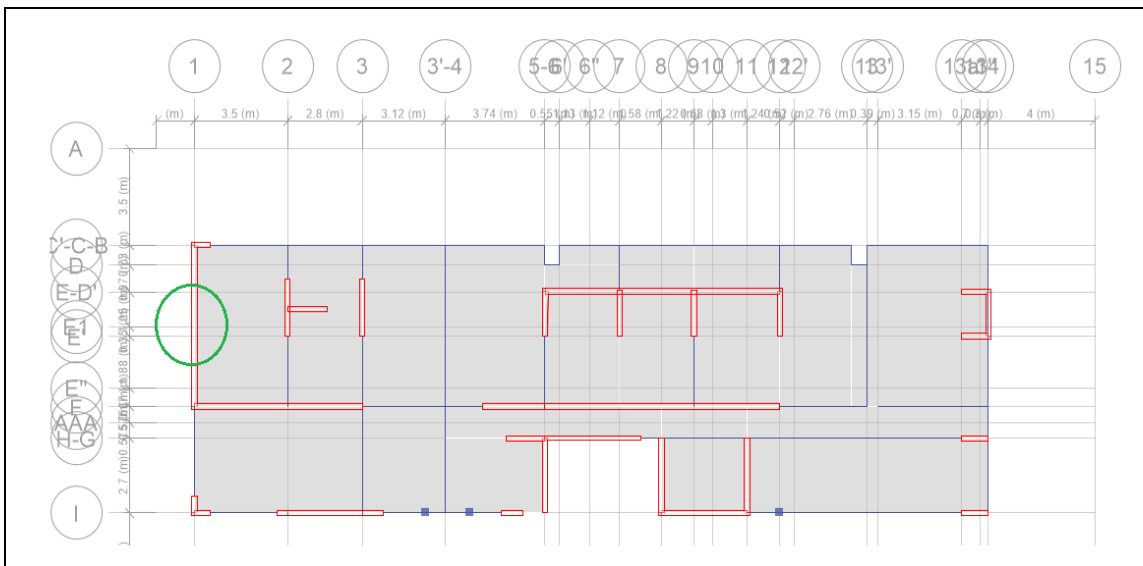


Figura 3.68 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio M9

- Daño observado

	<p><b>Elemento M9-1</b></p> <p>Se observa falla en un muro de fachada del primer piso, existe desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.</p>
<p align="center"><b>Figura 3.69 Elemento dañado M9-1</b></p>	



**Figura 3.70 Planta del piso 1 del edificio M9, se indica el elemento dañado**

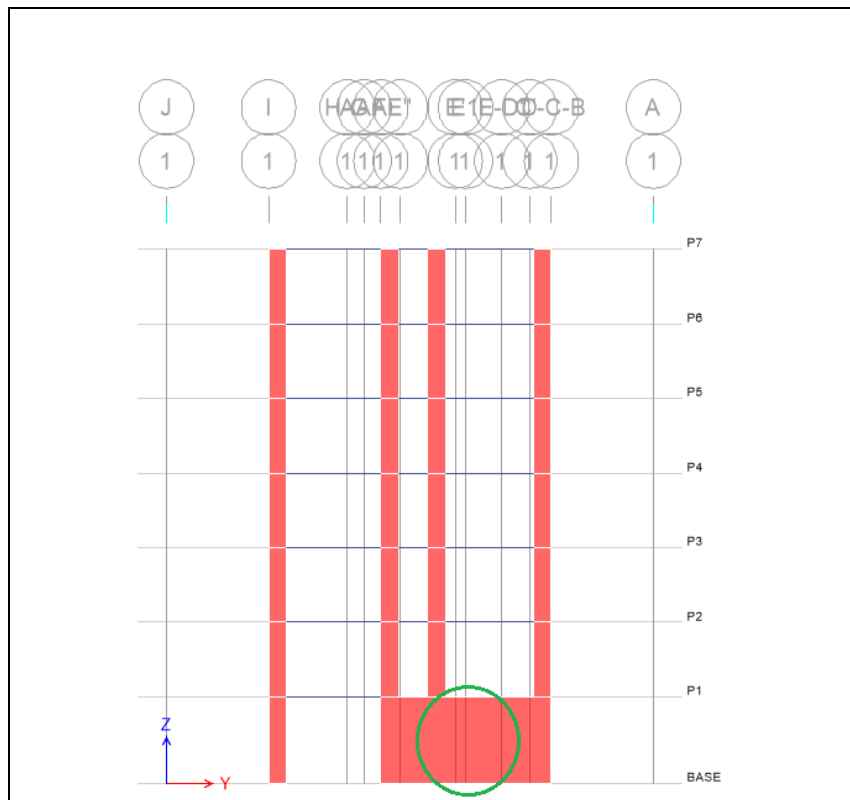


Figura 3.71 Elevación del eje 1 del edificio M9, se indica el daño observado

- **Clasificación general**

Se observa daño en el centro de un muro en la fachada del edificio, existe desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 7% en el primer piso.

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes.

### 3.5.2.10 Edificio R10 (Río Imperial)

- Descripción general

<b>Edificio R10</b>				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	1999		
	Número de pisos + subterráneos	16+1		
	Altura total del edificio [m]	43.8		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	519.40		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	2.71	2.69	5.40
	Peso sísmico [ton]	10143.7		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.85	1.24	
	Orientación c/r norte	84°N		
				

Tabla 3.12 Tabla resumen edificio R10

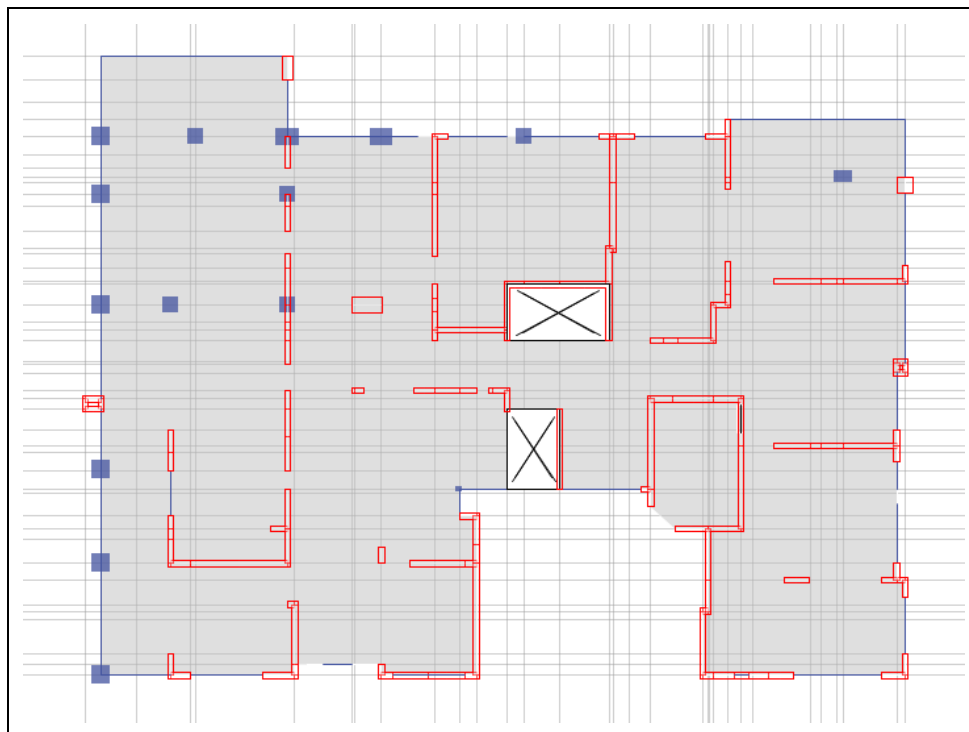


Figura 3.72 Planta piso 1 edificio R10

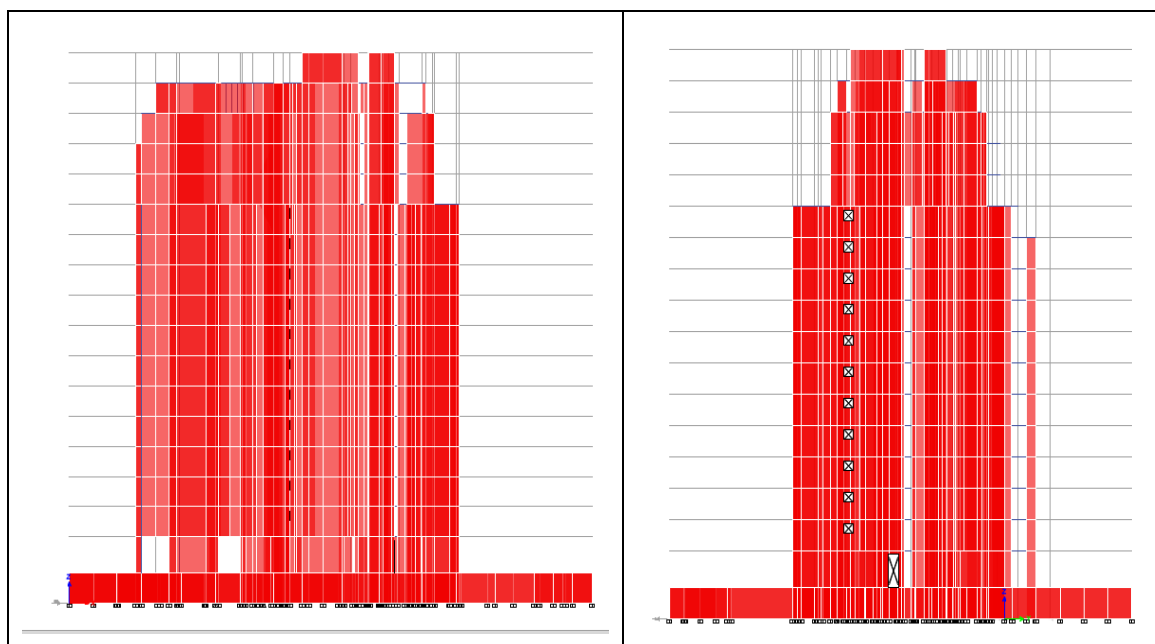


Figura 3.73 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio R10

- Daño observado



Figura 3.74 Elemento dañado R10-1

**Elemento R10-1**

Se observa daño en columna del subterráneo, desprendimientos de hormigón y pandeo del refuerzo longitudinal.



Figura 3.75 Elemento dañado R10-2

**Elemento R10-2**

Se observa daño en borde de muro, existe aplastamiento, desprendimiento de hormigón y pandeo del refuerzo.



Figura 3.76 Elemento dañado R10-3

**Elemento R10-3**

Se observa daño en columna del subterráneo, desprendimiento de hormigón y una considerable grieta diagonal.

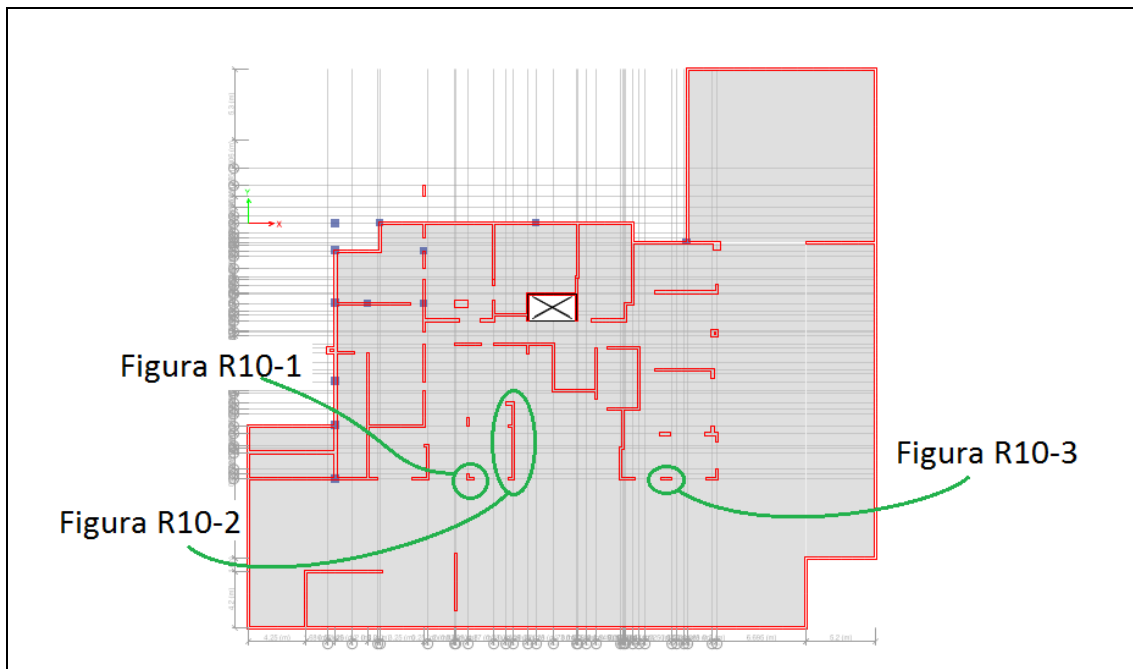


Figura 3.77 Planta del subterráneo del edificio R10, se indican los elementos dañados

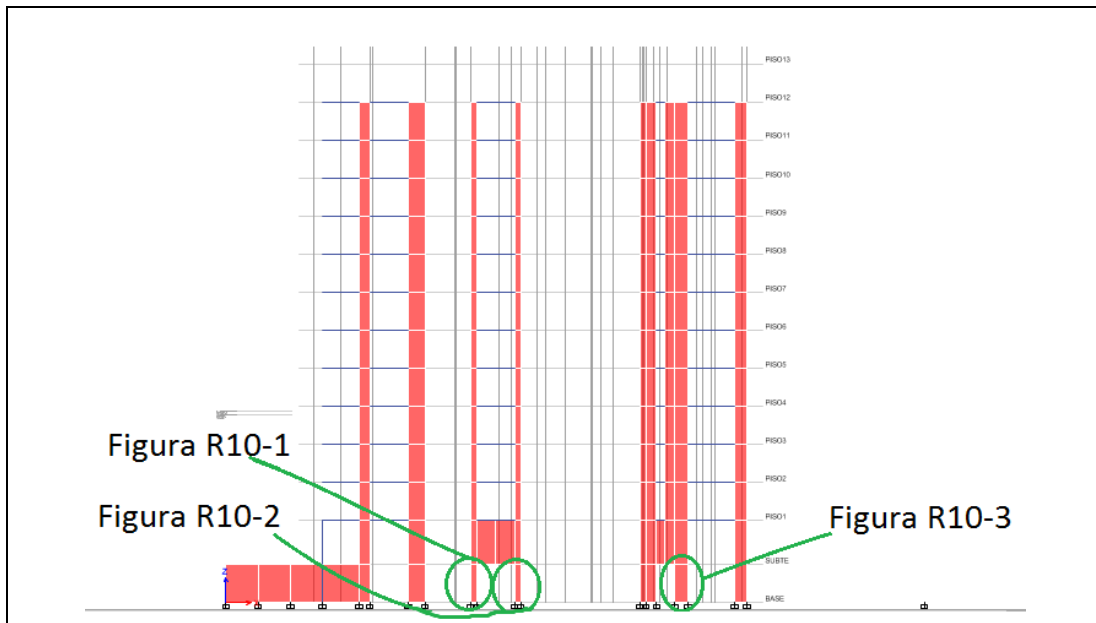


Figura 3.78 Elevación del eje P del edificio R10, se indican los elementos dañados

- **Clasificación general**

Se observa daño en el borde de un muro acompañado de desprendimiento de hormigón, existe daño en dos columnas. El daño está concentrado en el subterráneo, El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total en planta de elementos verticales del primer piso es de 13%.

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes.

### 3.5.2.11 Edificio R11 (Río Petrohue)

- Descripción general

<b>Edificio R11</b>				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	1992		
	Número de pisos + subterráneos	17+1		
	Altura total del edificio [m]	48.9		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	487.08		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	2.18	2.50	4.68
	Peso sísmico [ton]	8324.3		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.88	1.17	
	Orientación c/r norte	82°N		
				

Tabla 3.13 Tabla resumen edificio R11

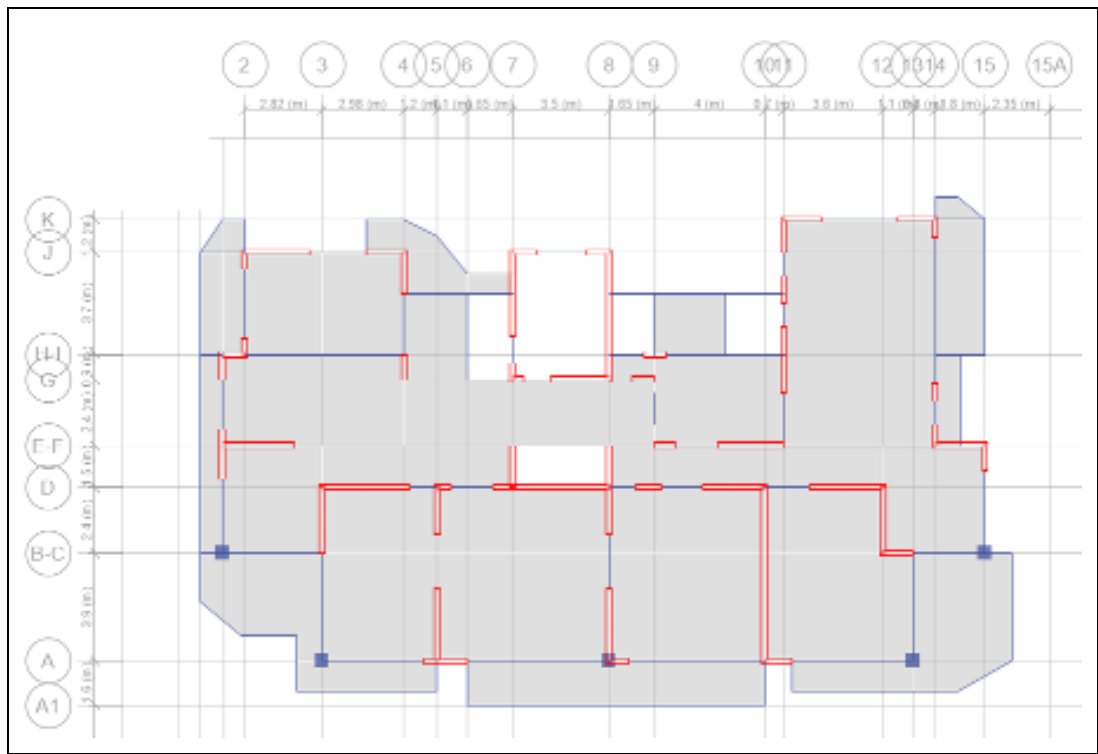


Figura 3.79 Planta piso 1 edificio R11

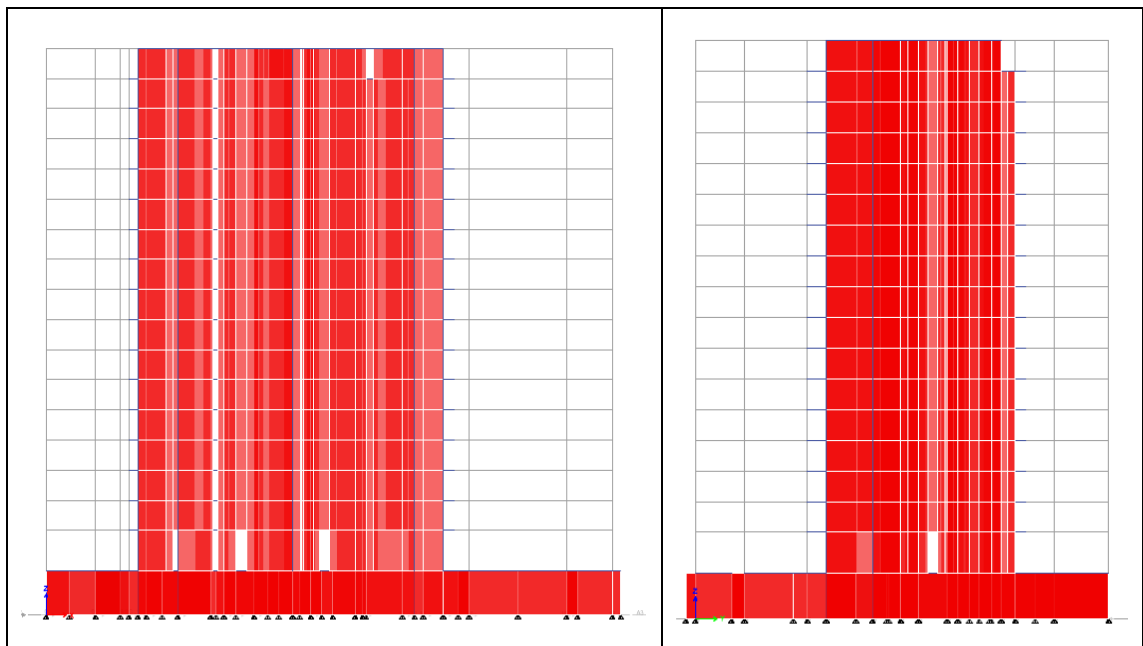


Figura 3.80 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio R11

- Daño observado



Figura 3.81 Elemento dañado R11-1

**Elemento R11-1**

Se observa daño en muros de la fachada del primer piso, agrietamiento y desprendimiento de hormigón.



Figura 3.82 Elemento dañado R11-2

**Elemento R11-2**

Daño en muro de la fachada del primer piso, agrietamiento y desprendimiento de hormigón.



Figura 3.83 Elemento dañado R11-3

**Elemento R11-3**

Daño en muro de la fachada del primer piso, agrietamiento, desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.

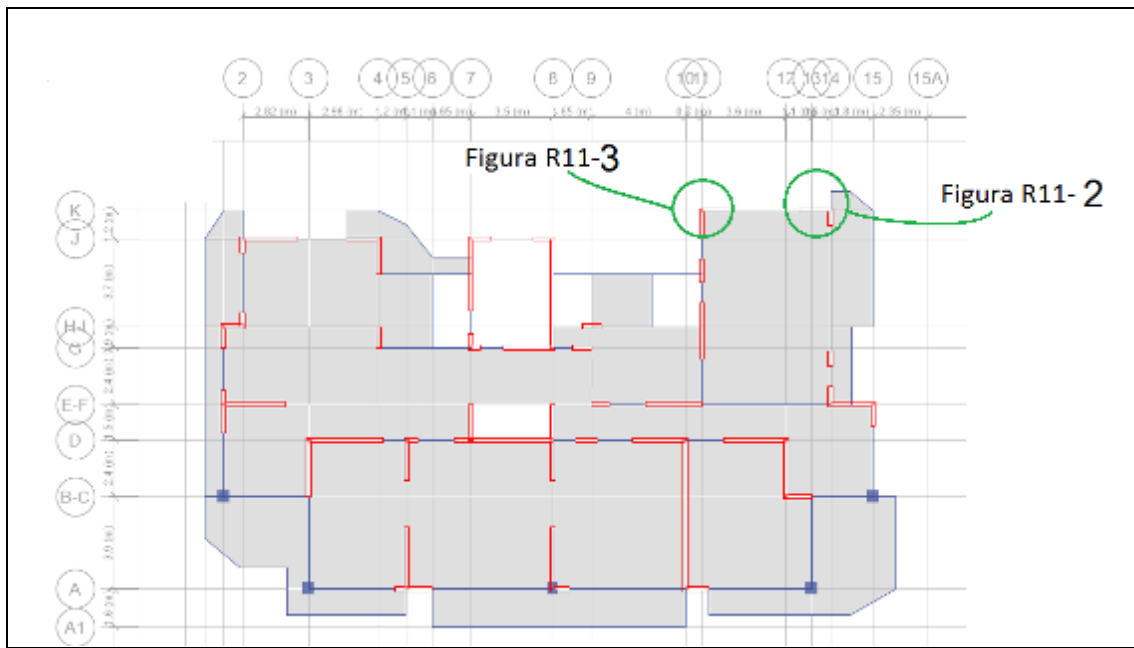


Figura 3.84 Planta del subterráneo del edificio R11, se indican los elementos dañados

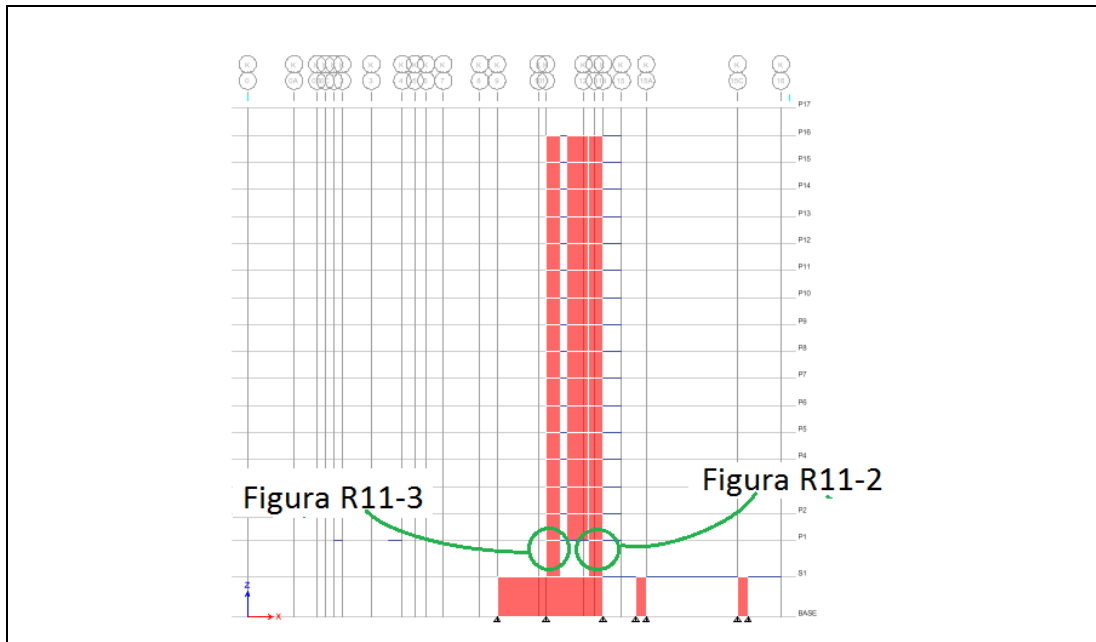


Figura 3.85 Elevación del K del edificio R11, se indican los elementos dañados

- **Clasificación general**

Se observa daño en muros de la fachada del primer piso, agrietamiento y desprendimiento de hormigón. El daño está concentrado en el primer piso. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 6% en el primer piso.

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes.

### 3.5.2.12 Edificio T12 (Tenerife)

- Descripción general

<b>Edificio T12</b>				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	1995		
	Número de pisos + subterráneos	12+1		
	Altura total del edificio [m]	34.43		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	391.03		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	2.20	3.08	5.28
	Peso sísmico [ton]	6863.5		
	Periodo eje x, eje y, [s]	1.30	1.00	
	Orientación c/r norte	80°N		
				

Tabla 3.14 Tabla resumen edificio T12

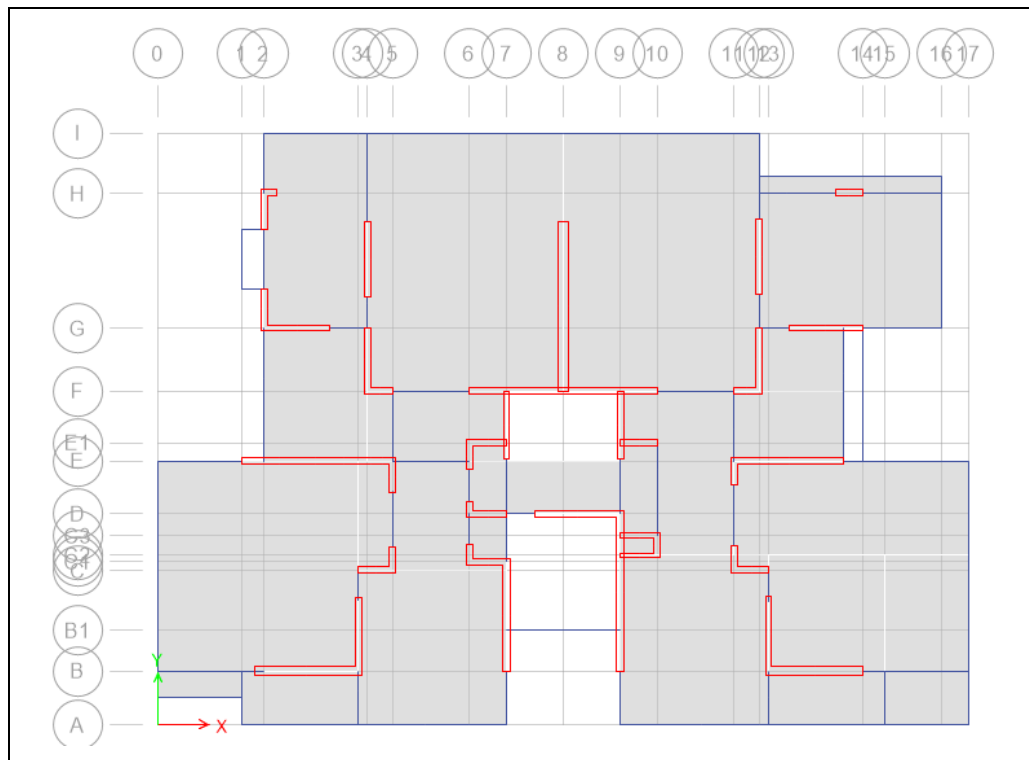


Figura 3.86 Planta piso 1 edificio T12

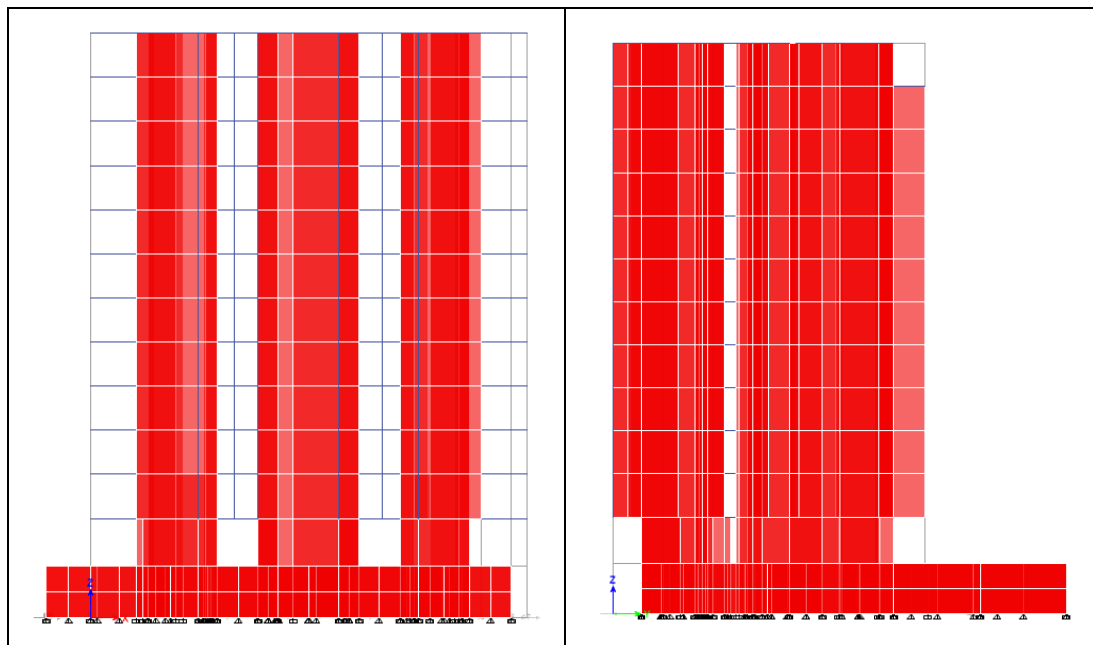




Figura 3.87 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio T12

- Daño observado

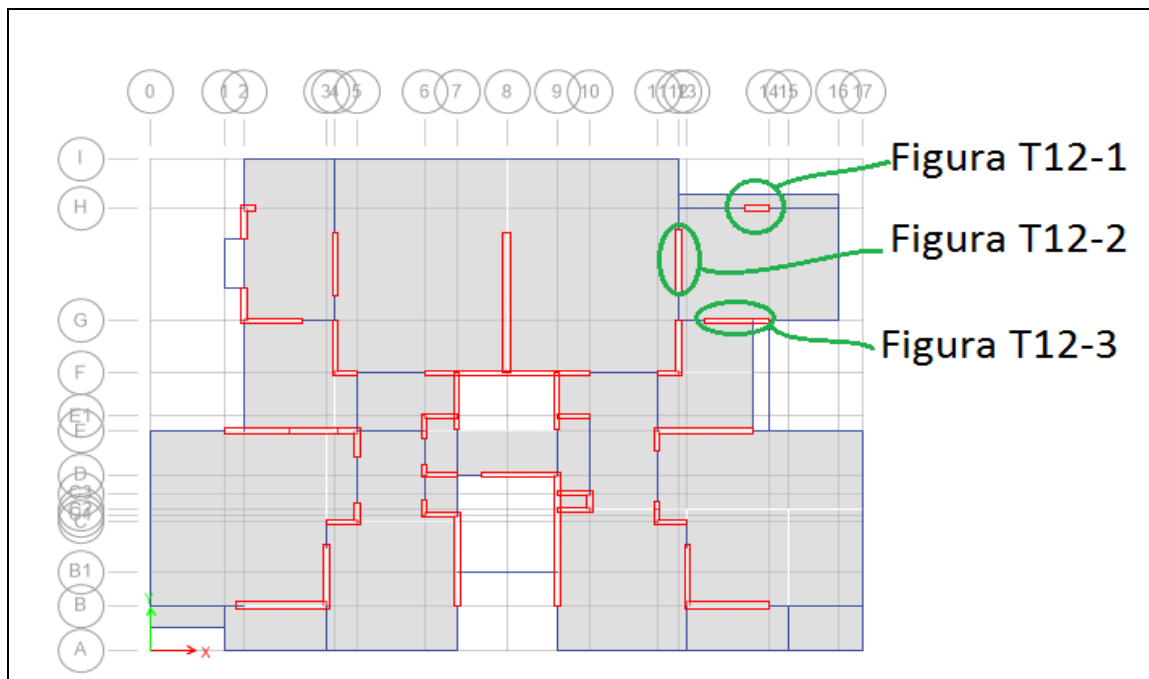
 <p data-bbox="485 711 878 743"><b>Figura 3.88 Elemento dañado T12-1</b></p>	<p data-bbox="1068 273 1268 300"><b>Elemento T12-1</b></p> <p data-bbox="1068 319 1419 499">Se observa daño en muro del primer piso (eje H). Agrietamiento con desprendimiento de hormigón, pandeo y fractura del refuerzo</p>
 <p data-bbox="459 1656 854 1688"><b>Figura 3.89 Elemento dañado T12-2</b></p>	<p data-bbox="1068 789 1268 816"><b>Elemento T12-2</b></p> <p data-bbox="1068 835 1419 953">Se observa el muro con pérdida de hormigón, exposición y fractura del refuerzo.</p>



**Elemento T12-3**

Se observa el muro con desprendimiento de hormigón, exposición y pandeo del refuerzo.

**Figura 3.90 Elemento dañado T12-3**



**Figura 3.91 Planta del piso 1 del edificio T12, se indican los elementos dañados**

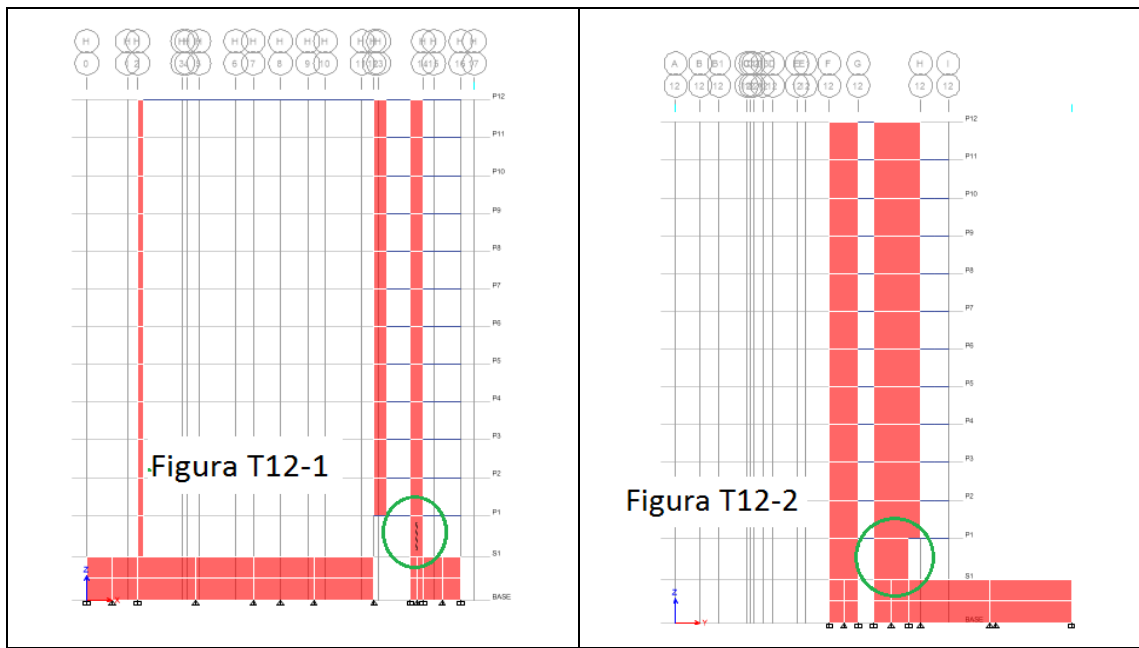


Figura 3.92 Elevación ejes H y 12 respectivamente del edificio T12, se indica el daño observado

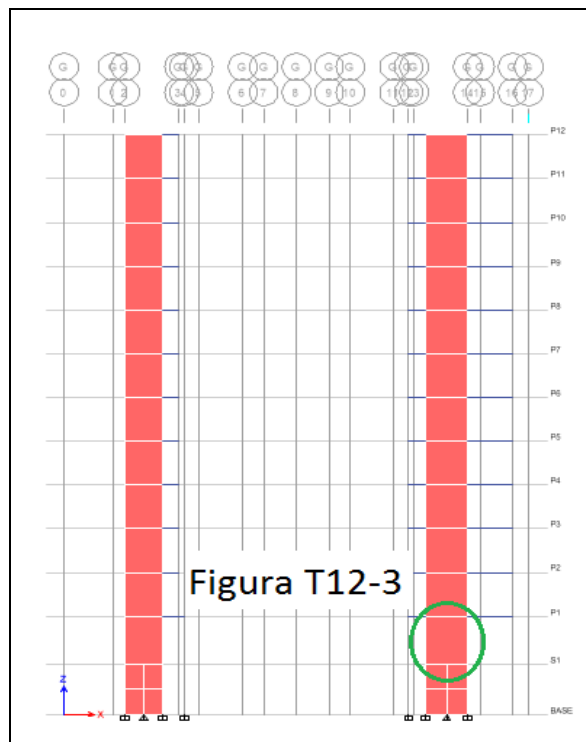


Figura 3.93 Elevación del eje G del edificio T12, se indica el daño observado

- **Clasificación general**

Se observa daño en muros del primer piso, agrietamiento y desprendimiento de hormigón. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 22% en el primer piso.

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Peligro de Colapso.

### 3.5.2.13 Edificio T13 (Toledo)

- Descripción general



Edificio T13				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	1997		
	Número de pisos + subterráneos	10+1		
	Altura total del edificio [m]	30.66		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	508.92		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	2.3 5	2.6 5	5.0 0
	Peso sísmico [ton]	5714.5		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.54	0.88	
	Orientación c/r norte	82°N		
				

Tabla 3.15 Tabla resumen edificio T13

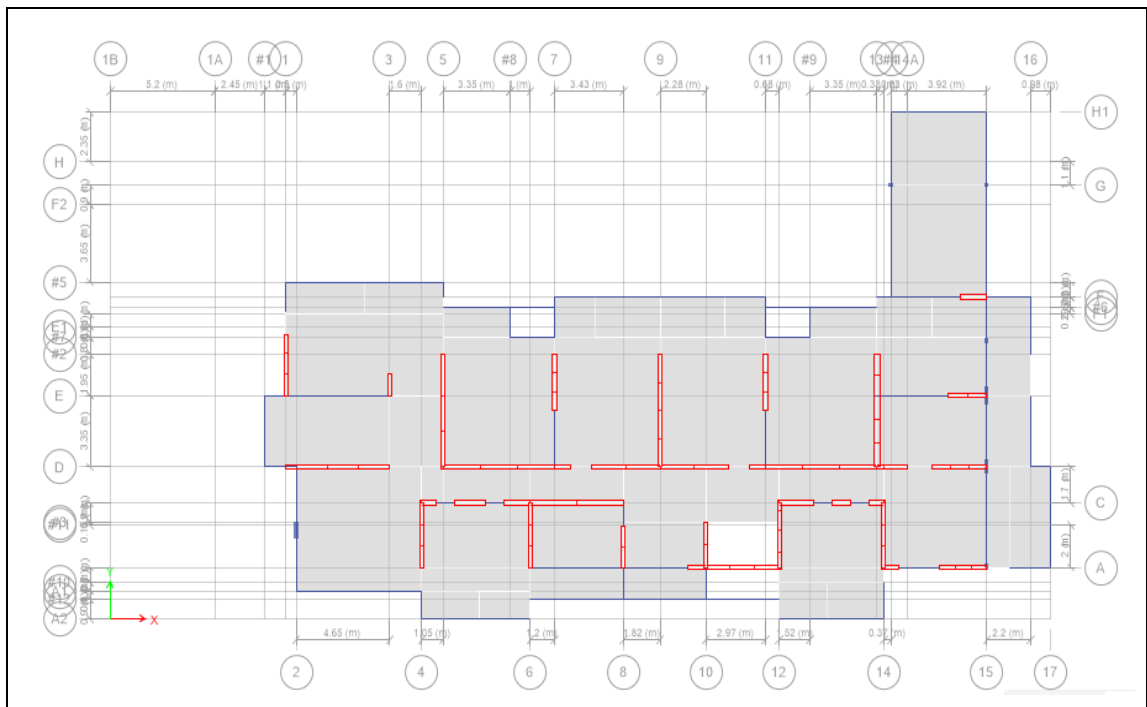


Figura 3.94 Planta piso 1 edificio T13

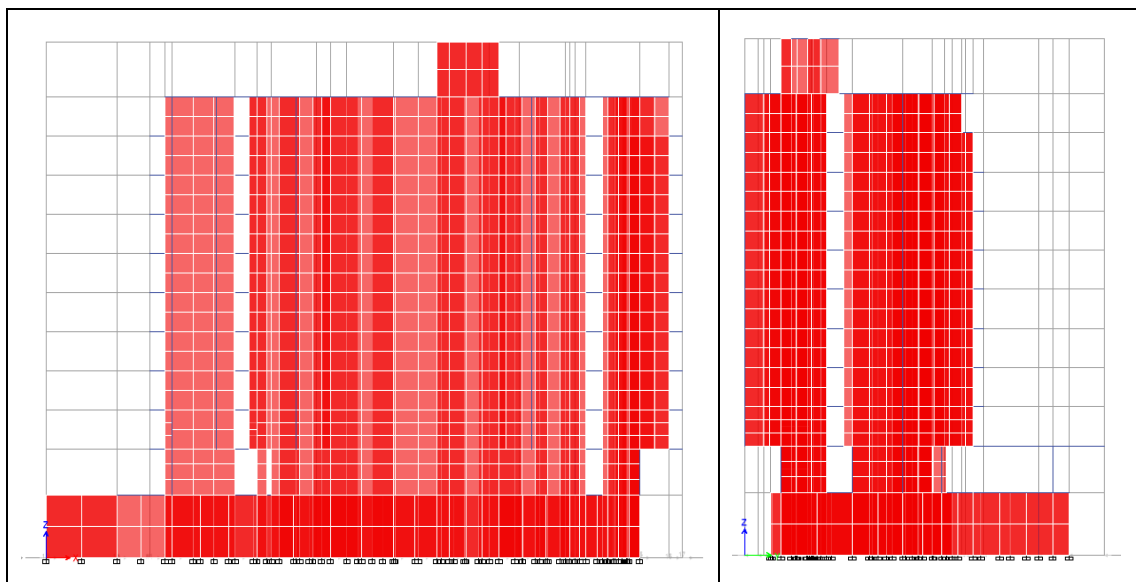


Figura 3.95 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio T13

- Daño observado



Figura 3.96 Elemento dañado T13-1

**Elemento T13-1**

Se observa daño en borde de muro del primer piso. Agrietamiento con desprendimiento de hormigón, exposición y pandeo del refuerzo.



Figura 3.97 Elemento dañado T13-1

**Elemento T13-2**

Se observa daño en muro del primer piso. Agrietamiento con desprendimiento de hormigón, exposición y pandeo del refuerzo.



Figura 3.98 Elemento dañado T13-1

**Elemento T13-3**

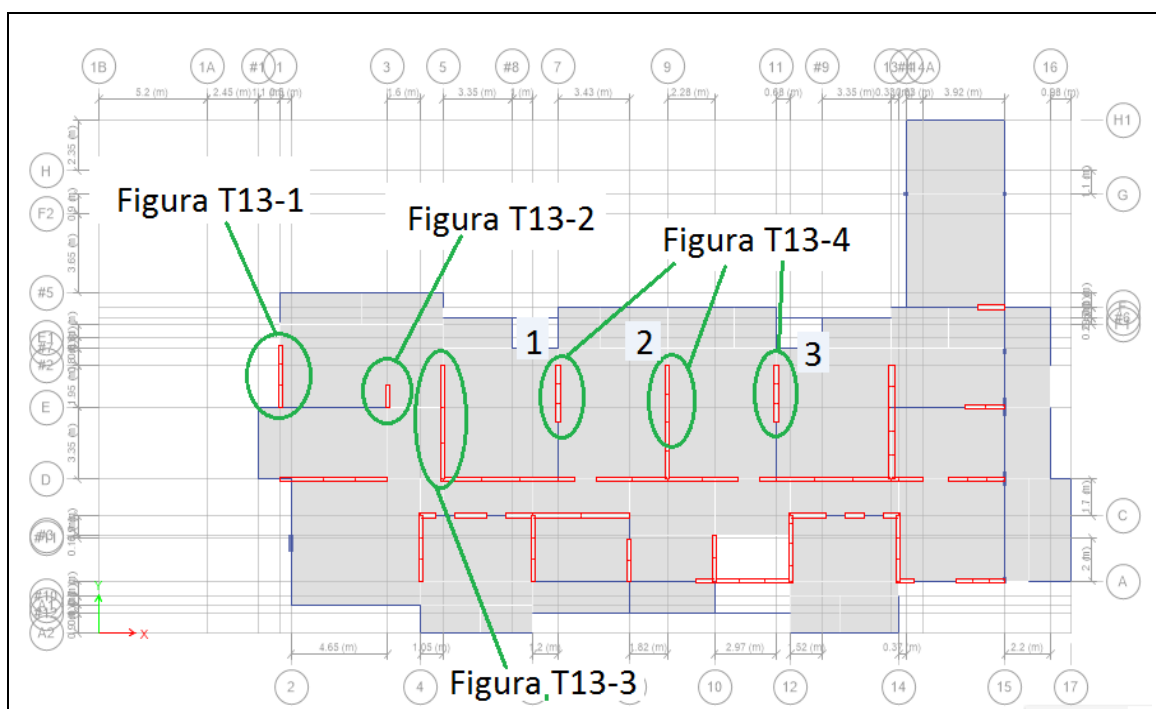
Se observa daño en muro del primer piso. Agrietamiento con desprendimiento de hormigón, exposición y pandeo del refuerzo.



**Elementos T13-4.1, T14.2 y T14.3**

Se observa daño en borde de 3 muros del primer piso. Agrietamiento con desprendimiento de hormigón, exposición y pandeo del refuerzo.

**Figura 3.99 Elementos dañados T13-4.1, T13-4.2 y T13-4.3**



**Figura 3.100 Planta del piso 1 del edificio T13, se indican los elementos dañados**

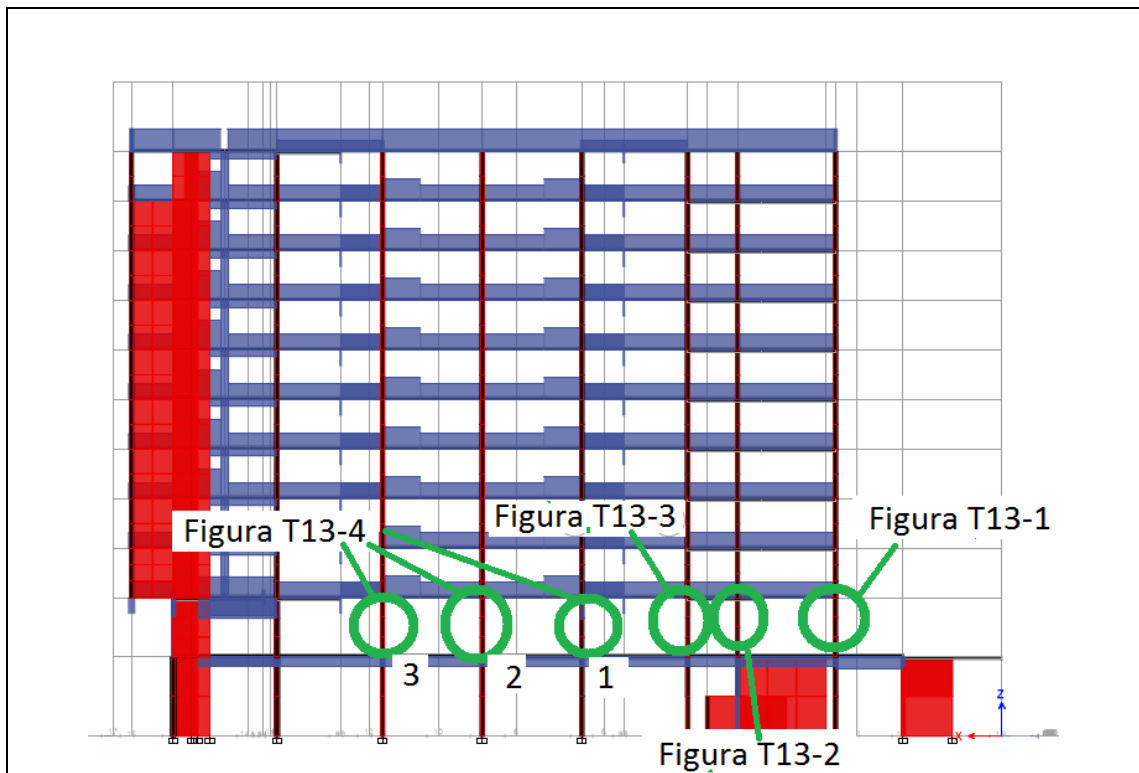


Figura 3.101 Elevación del eje 2 del edificio T13, se indica el daño observado

- **Clasificación general**

El edificio presenta daño en varios elementos estructurales, se observa daño en muros del primer piso, agrietamiento y desprendimiento de hormigón, exposición y pandeo del refuerzo, existe deformación de techo permanente en el edificio superior al 4%, colapso parcial. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 35% en el primer piso.

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Peligro de Colapso.

### 3.5.2.14 Edificio T14 (Torres del Mar)

- Descripción general

<b>Edificio T14</b>				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	1988		
	Número de pisos + subterráneos	16+2		
	Altura total del edificio [m]	47.25		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	548.48		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	1.63	3.28	4.91
	Peso sísmico [ton]	11500.1		
	Periodo eje x, eje y, [s]	1.03	1.14	
	Orientación c/r norte	-69°N		
				

Tabla 3.16 Tabla resumen edificio T14

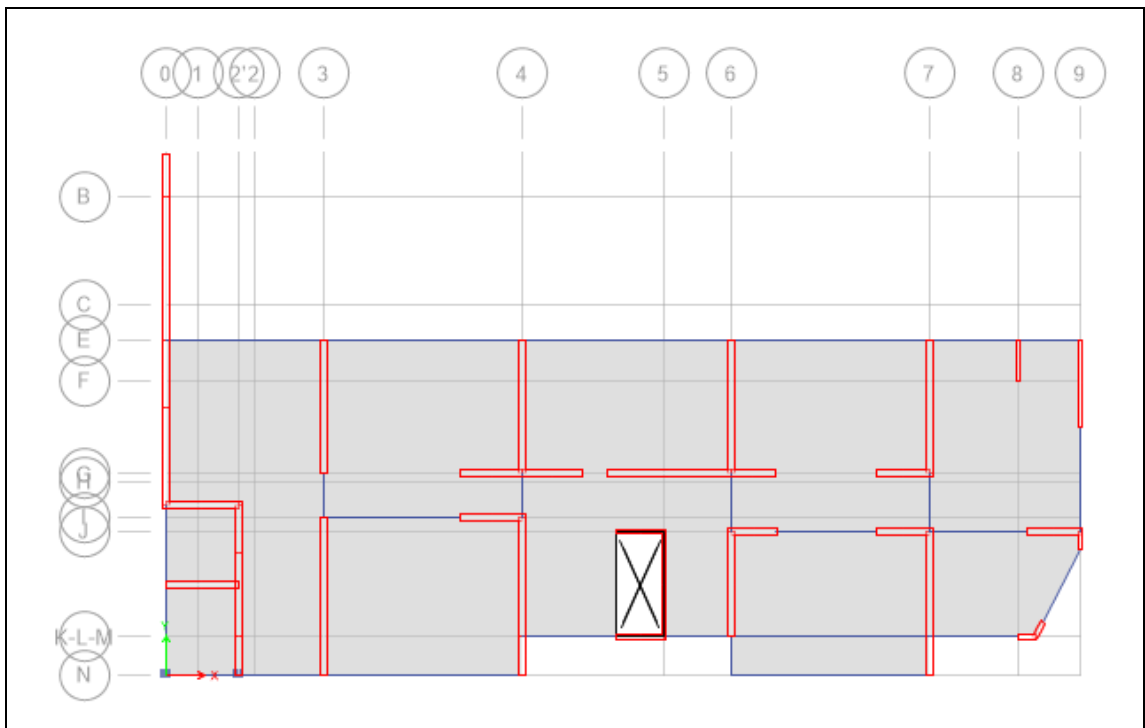


Figura 3.102 Planta piso 1 edificio T14

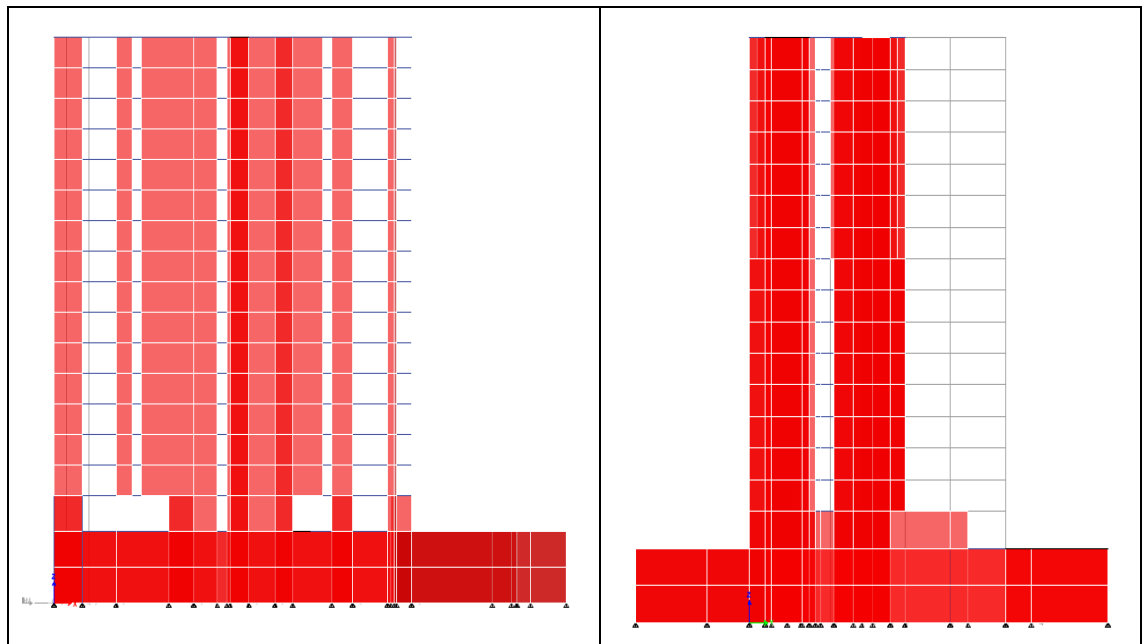


Figura 3.103 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio T14

- **Daño observado**

 <p><b>Figura 3.104 Elemento dañado T14-1</b></p>	<p><b>Figura T14-1</b></p> <p>Se observa grieta diagonal por corte en muro del tercer piso. Agrietamiento con desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.</p>
 <p><b>Figura 3.105 Elemento dañado T14-2</b></p>	<p><b>Figura T14-2</b></p> <p>Se observa daño en muro del segundo piso. Agrietamiento con desprendimiento de hormigón, exposición y pandeo del refuerzo.</p>
 <p><b>Figura 3.106 Elemento dañado T14-3</b></p>	<p><b>Figura T14-3</b></p> <p>Se observa daño en muro del segundo piso. Agrietamiento diagonal con desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.</p>



Figura 3.107 Elemento dañado T14-4

**Figura T14-4**

Se observa daño en muro del segundo piso. Agrietamiento con desprendimiento de hormigón, exposición y pandeo del refuerzo.

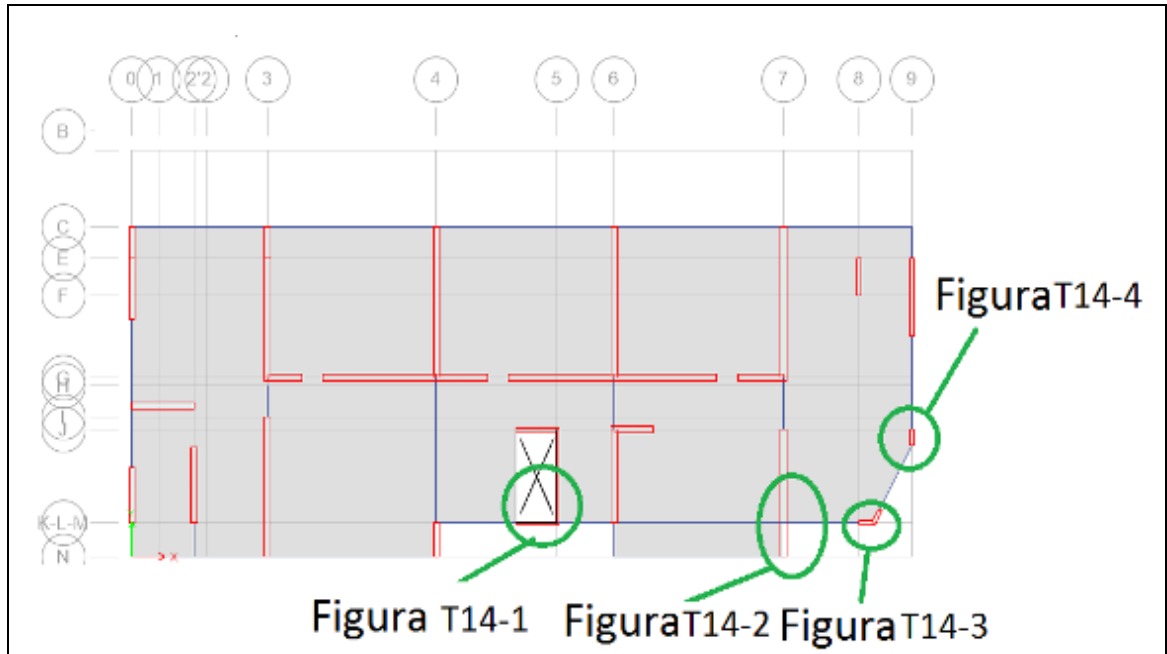


Figura 3.108 Planta del piso 2 al 8 del edificio T14, se indican los elementos dañados según el respectivo piso

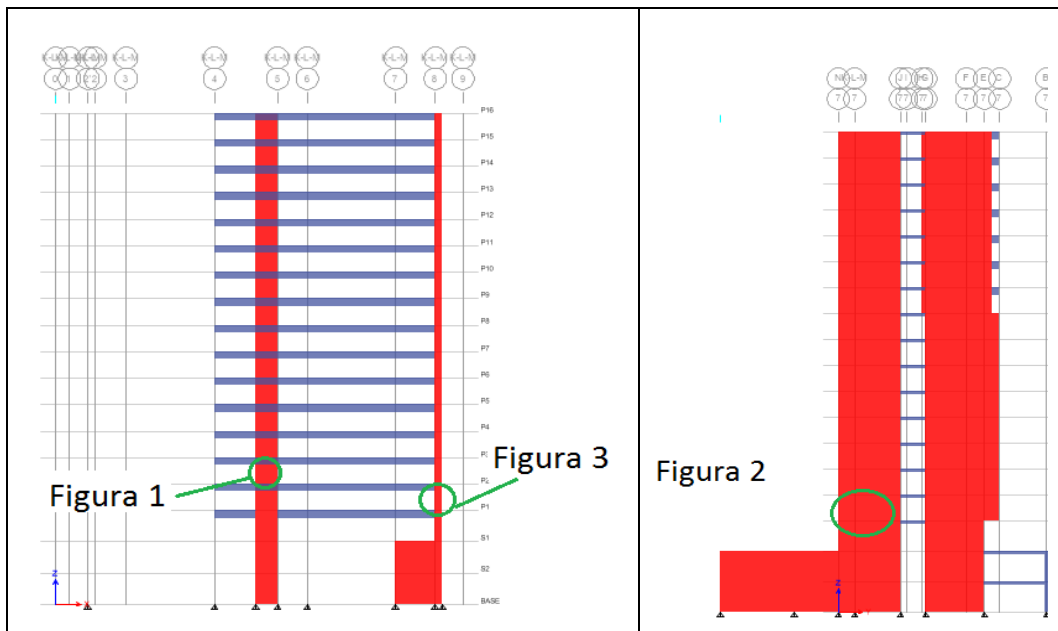


Figura 3.109 Elevación ejes L y 7 respectivamente del edificio T14, se indica el daño observado

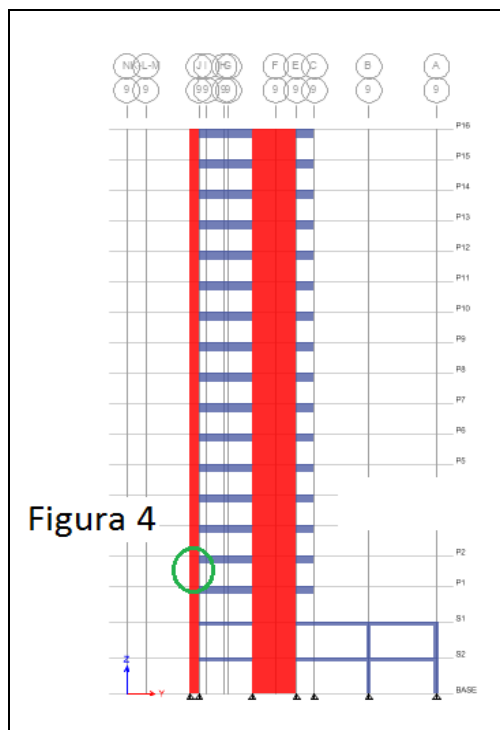


Figura 3.110 Elevación eje 9 del edificio T14, se indica el daño observado

- **Clasificación general**

El edificio presenta daño en varios elementos estructurales, se observa daño en muros del segundo y tercer piso, agrietamiento y desprendimiento de hormigón, exposición y pandeo del refuerzo. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total del primer piso es de 3%.

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes.

### 3.5.2.15 Edificio T15 (Tricahue)

- Descripción general

Edificio T15				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	1996		
	Número de pisos + subterráneos	11+1		
	Altura total del edificio [m]	32.33		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	348.39		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	1.94	2.93	4.88
	Peso sísmico [ton]	4333.6		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.66	0.66	
	Orientación c/r norte	83°N		
				

Tabla 3.17 Tabla resumen edificio T15

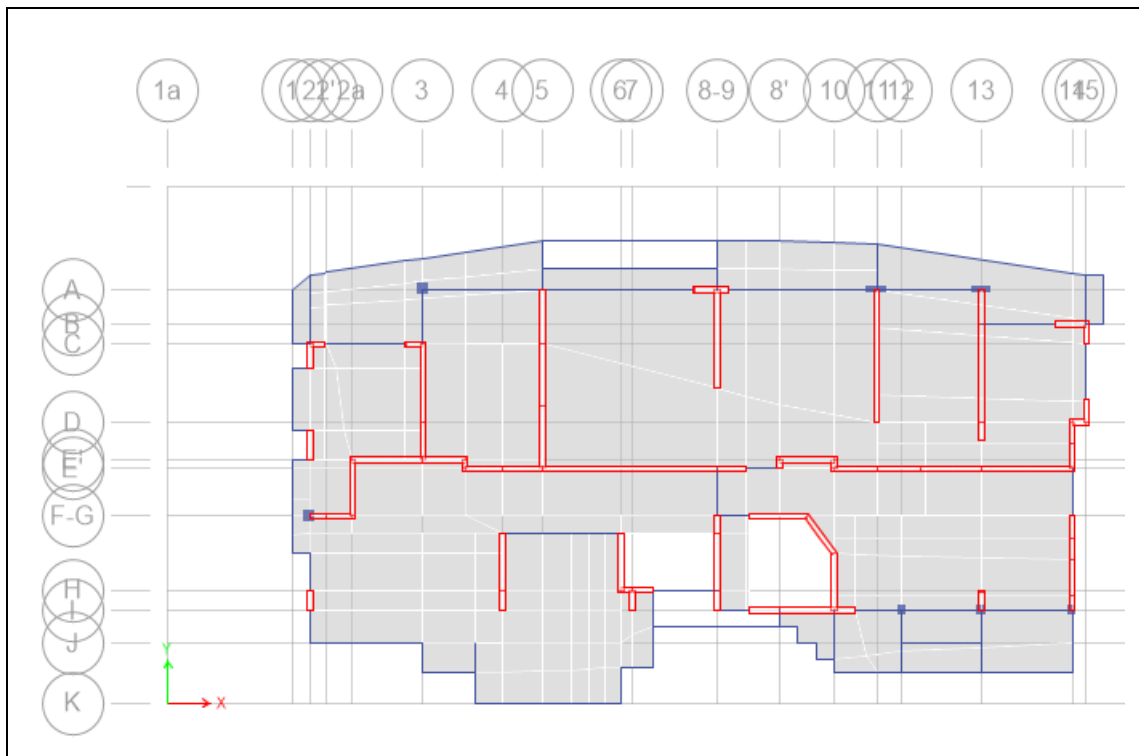


Figura 3.111 Planta piso 1 edificio T15

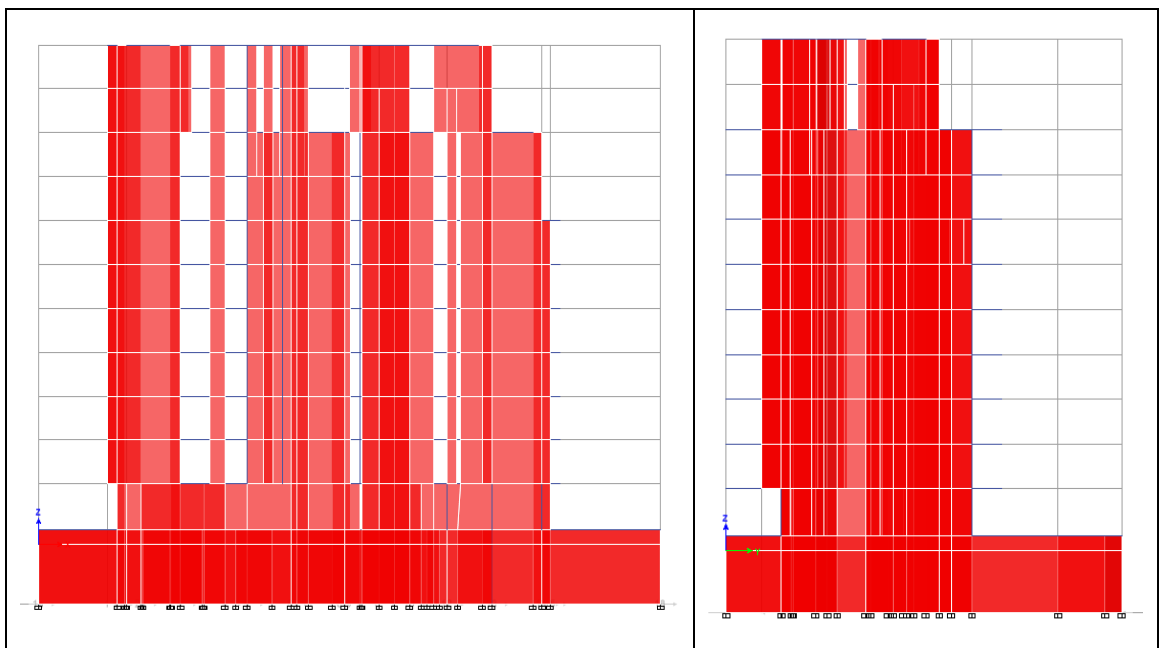


Figura 3.112 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio T15

- Daño observado



Figura 3.113 Elemento dañado T15-1

**Elemento T15-1**

Se observa daño en muro del primer piso. Agrietamiento con desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo.



Figura 3.114 Elemento dañado T15-2

**Elemento T15-2**

Se observa daño en muro del primer piso. Agrietamiento con desprendimiento de hormigón, exposición y pandeo del refuerzo.

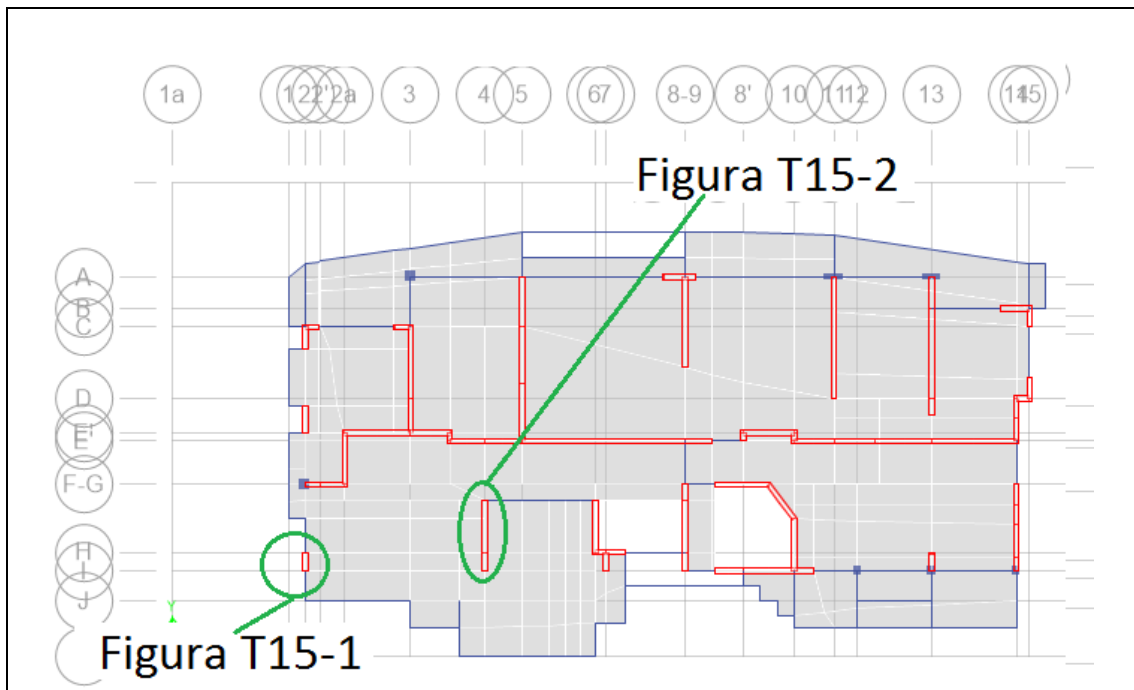


Figura 3.115 Planta del piso 1 del edificio T15, se indican los elementos dañados

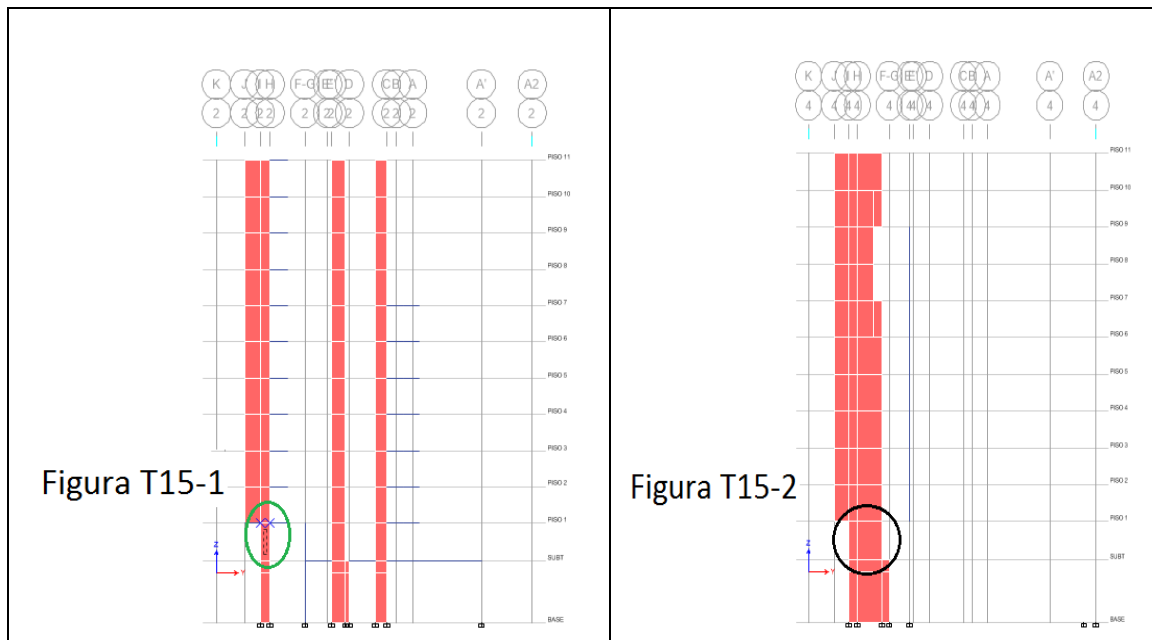


Figura 3.116 Elevación ejes 2 y 4 respectivamente del edificio T15, se indica el daño observado

- **Clasificación general**

El edificio presenta daño en algunos elementos estructurales, se observa daño en muros del primer piso, agrietamiento y desprendimiento de hormigón, exposición y pandeo del refuerzo. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 10% en el primer piso.

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes.

### 3.5.2.16 Edificio P16 (Palmas del Mar)

- Descripción general

<b>Edificio P16</b>				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	2007		
	Número de pisos + subterráneos	22+2		
	Altura total del edificio [m]	61.02		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	584.91		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	2.24	2.90	5.14
	Peso sísmico [ton]	15617.8		
	Periodo eje x, eje y, [s]	1.58	2.36	
	Orientación c/r norte	-11°N		
				

Tabla 3.18 Tabla resumen edificio P16

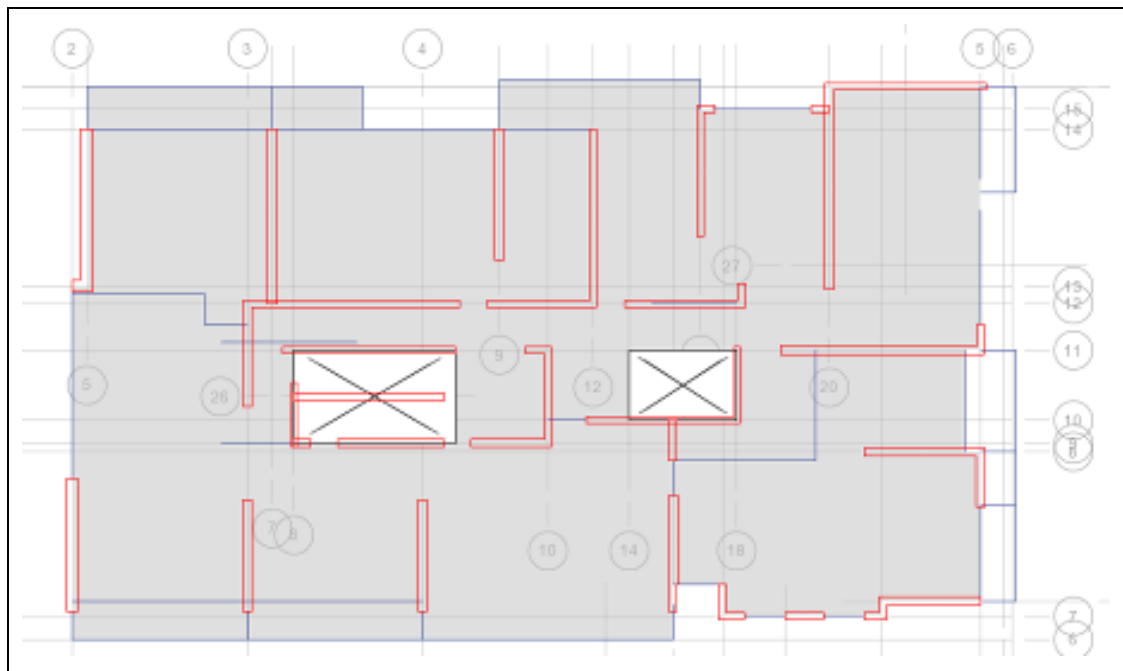


Figura 3.117 Planta piso 1 edificio P16

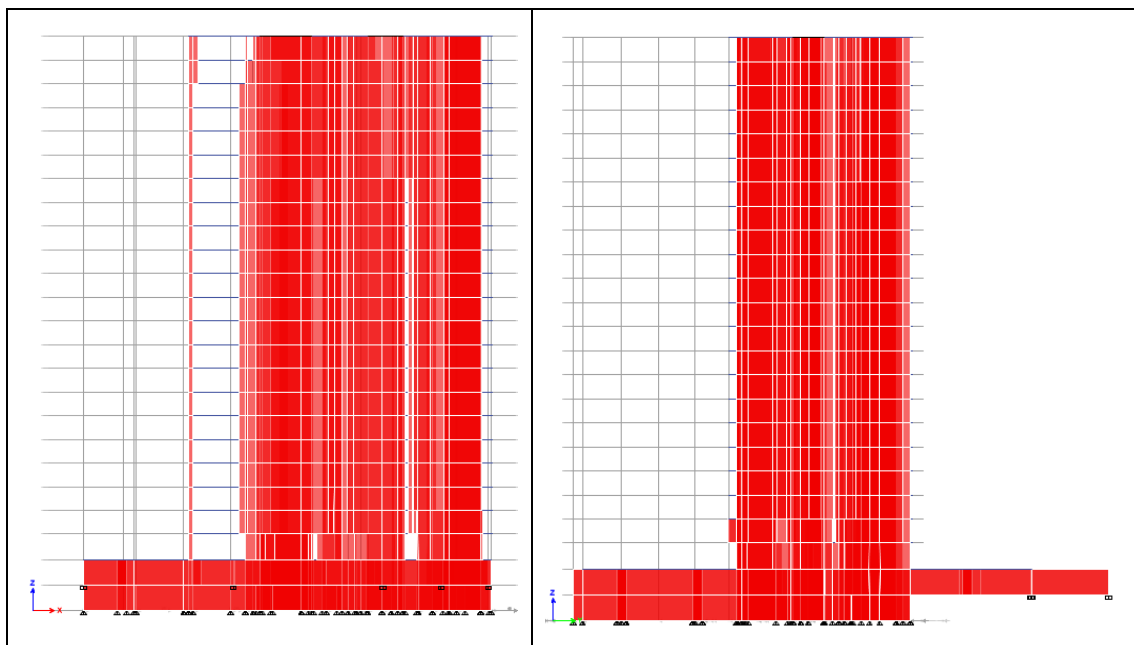


Figura 3.118 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio P16

- **Daño observado**

No se registran daños estructurales.

- **Clasificación general**

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Operacional.

### 3.5.2.17 Edificio R17 (Reina Victoria)

- Descripción general

<b>Edificio R17</b>				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	2007*		
	Número de pisos + subterráneos	8+1		
	Altura total del edificio [m]	23.49		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	419.75		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	1.66	2.67	4.33
	Peso sísmico [ton]	4344.4		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.54	0.48	
	Orientación c/r norte	-9°N		
				

Tabla 3.19 Tabla resumen edificio R17

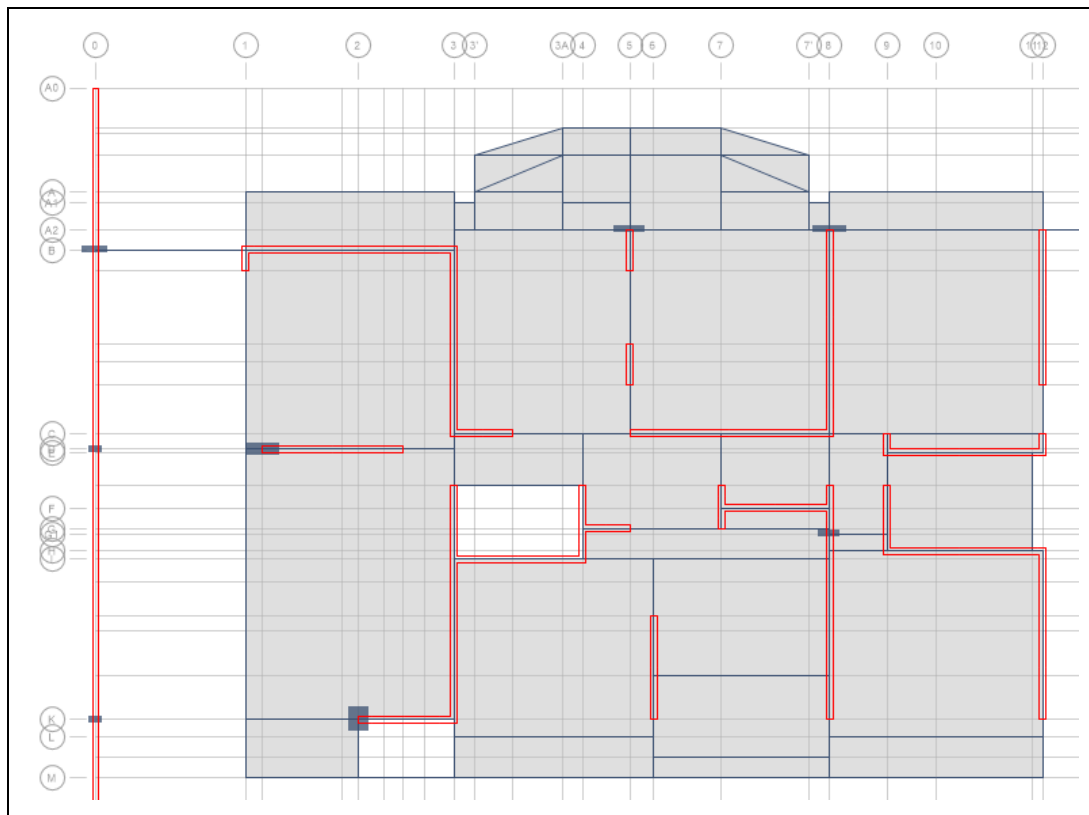


Figura 3.119 Planta piso 1 edificio R17

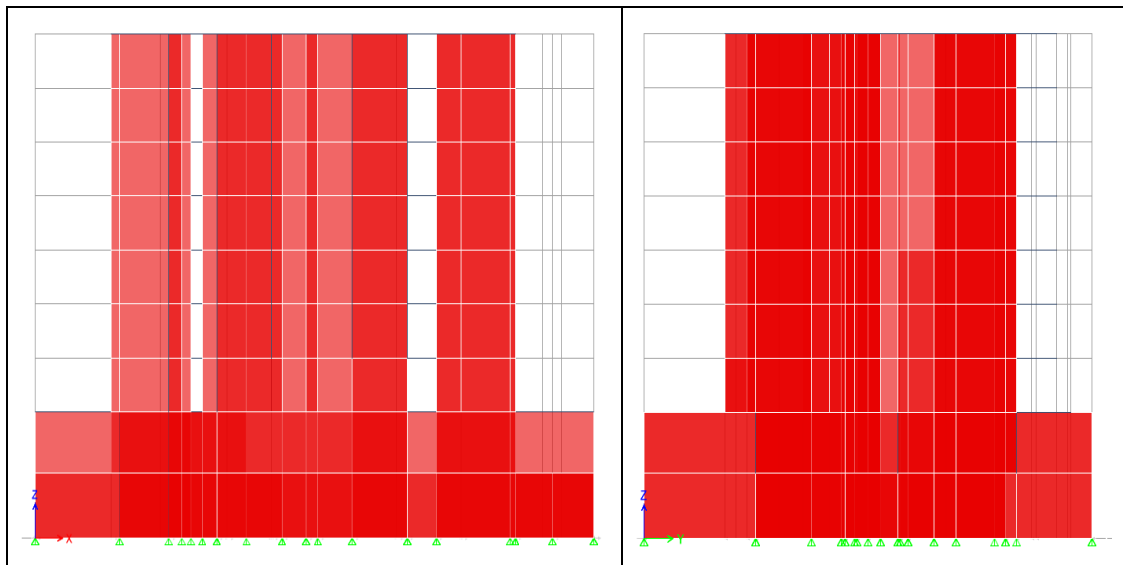


Figura 3.120 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio R17

- **Daño observado**

No se registran daños estructurales.

- **Clasificación general**

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Operacional.

### 3.5.2.18 Edificio S18 (San Sebastián)

- Descripción general

Edificio S18				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	2003		
	Número de pisos + subterráneos	11+1		
	Altura total del edificio [m]	31.2		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	258.99		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	2.82	2.05	4.87
	Peso sísmico [ton]	2804.5		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.57	0.83	
	Orientación c/r norte	-9°N		
				

Tabla 3.20 Tabla resumen edificio S18

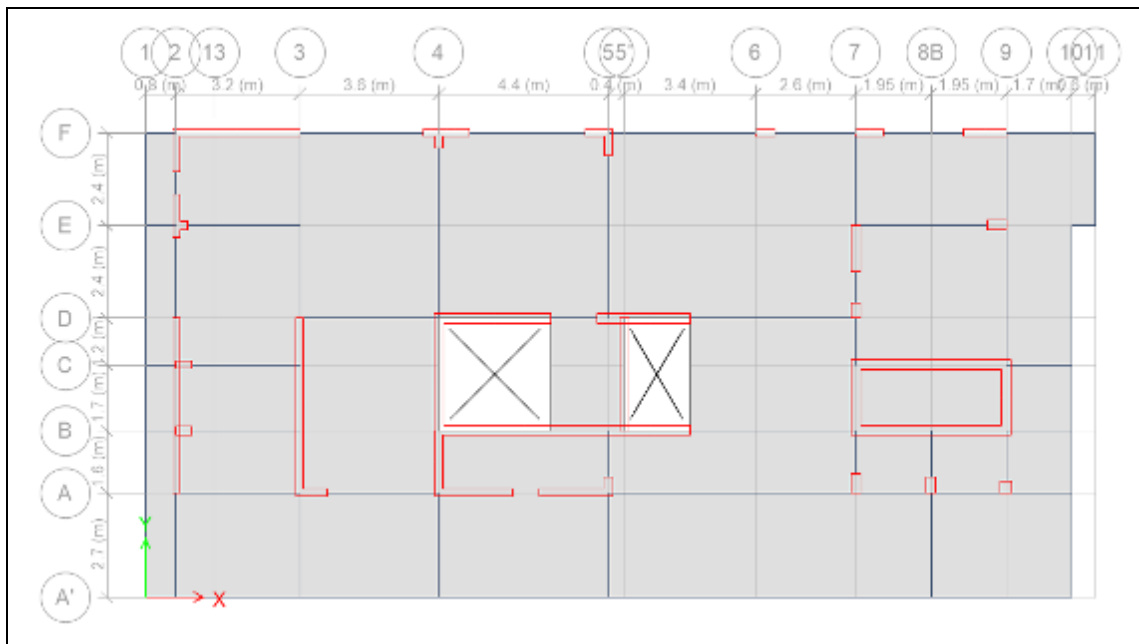


Figura 3.121 Planta piso 1 edificio S18

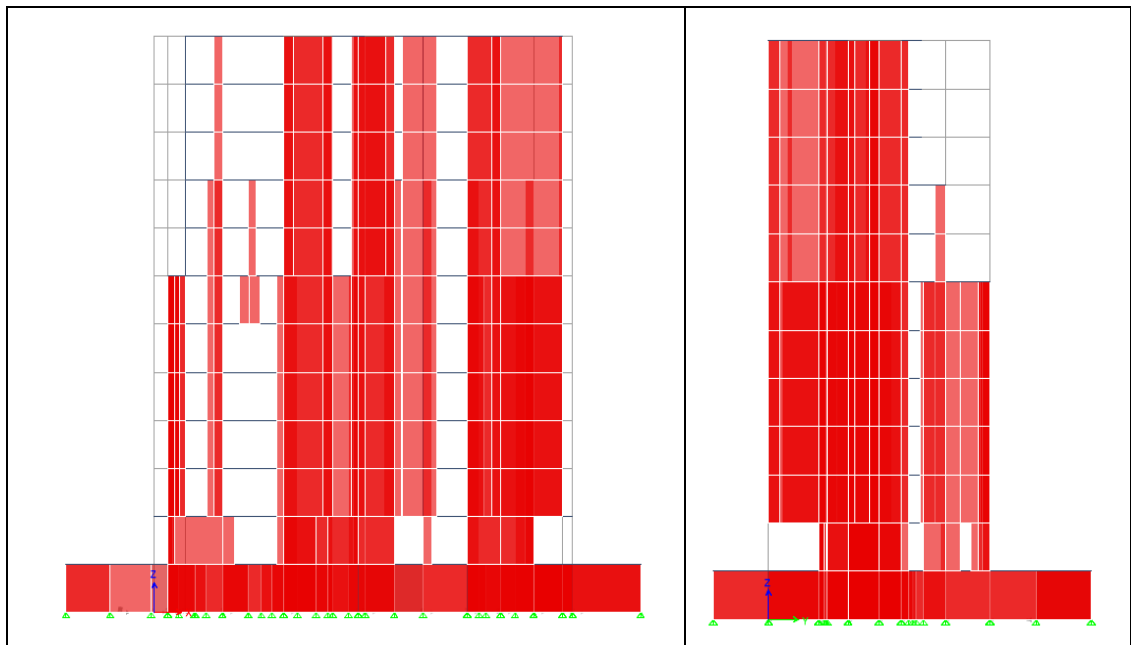


Figura 3.122 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio S18

- **Daño observado**

No se registran daños estructurales.

- **Clasificación general**

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Operacional.

### 3.5.2.19 Edificio S19 (Sol Norte)

- Descripción general

Edificio S19				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	2002		
	Número de pisos + subterráneos	16+1		
	Altura total del edificio [m]	43.2		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	418.26		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	3.08	2.81	5.89
	Peso sísmico [ton]	7470.6		
	Periodo eje x, eje y, [s]	0.63	1.03	
	Orientación c/r norte	80°N		
				

Tabla 3.21 Tabla resumen edificio S19

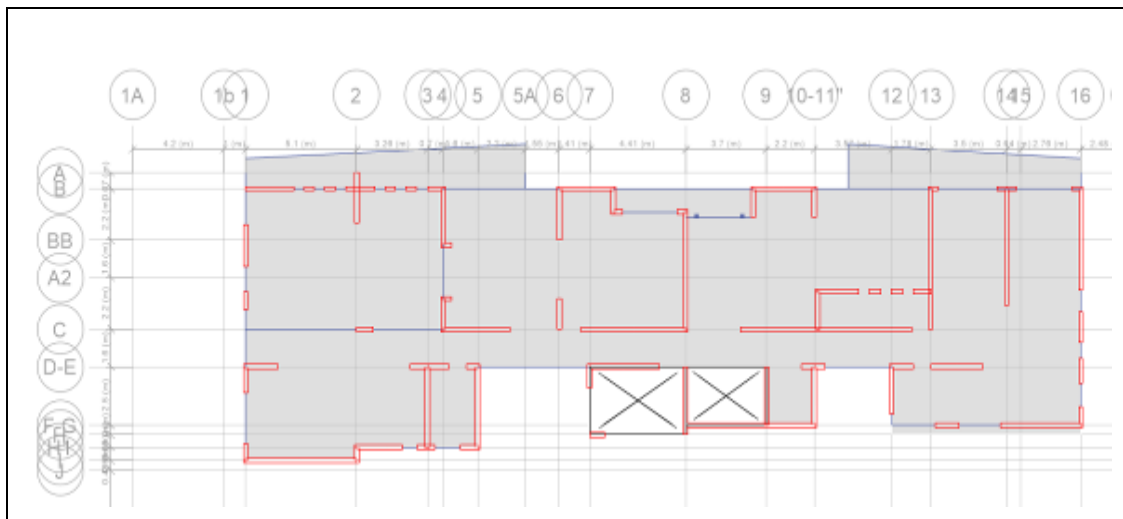


Figura 3.123 Planta piso 1 edificio S19

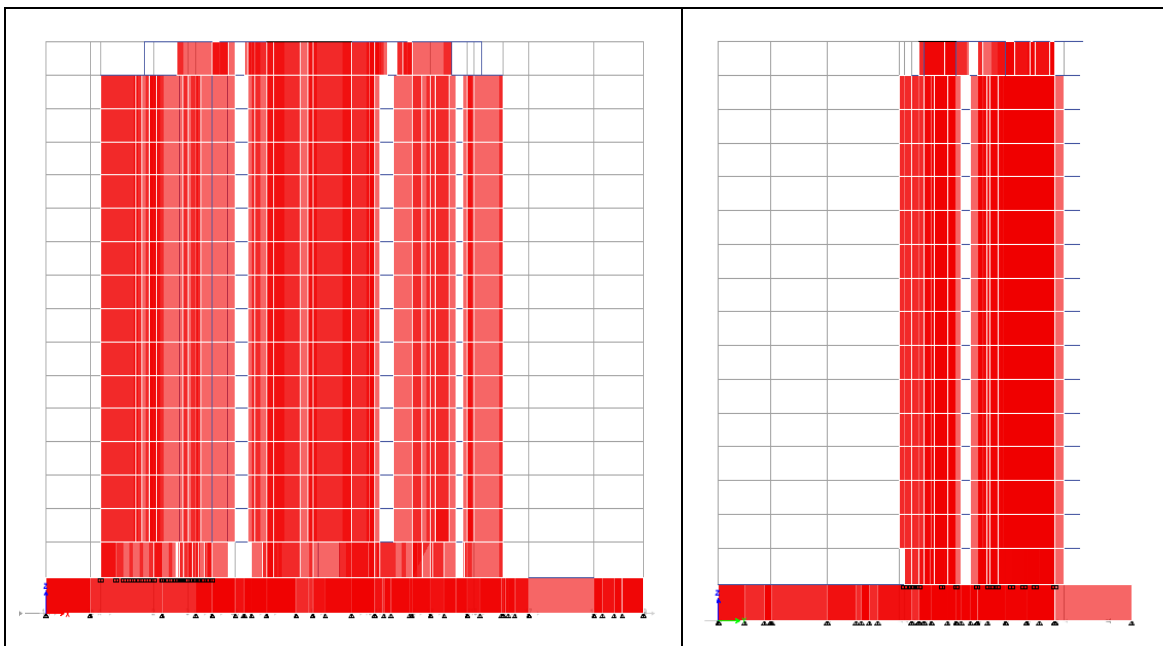


Figura 3.124 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio S19

- **Daño observado**

No se registran daños estructurales.

- **Clasificación general**

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Operacional.

### 3.5.2.20 Edificio V20 (Vía Oriente)

- Descripción general

<b>Edificio V20</b>				
	Descripción general del edificio			
	Año de construcción estimado	2009		
	Número de pisos + subterráneos	16+1		
	Altura total del edificio [m]	43.74		
	Área de piso promedio (sin subterráneos) [m <sup>2</sup> ]	318.90		
	Densidad promedio de muros, ejes x, y, total (sin subterráneos) [%]	2.62	3.07	5.69
	Peso sísmico [ton]	6530.4		
	Periodo eje x, eje y, [s]	1.41	1.41	
	Orientación c/r norte	-11°N		
				

Tabla 3.22 Tabla resumen edificio V20

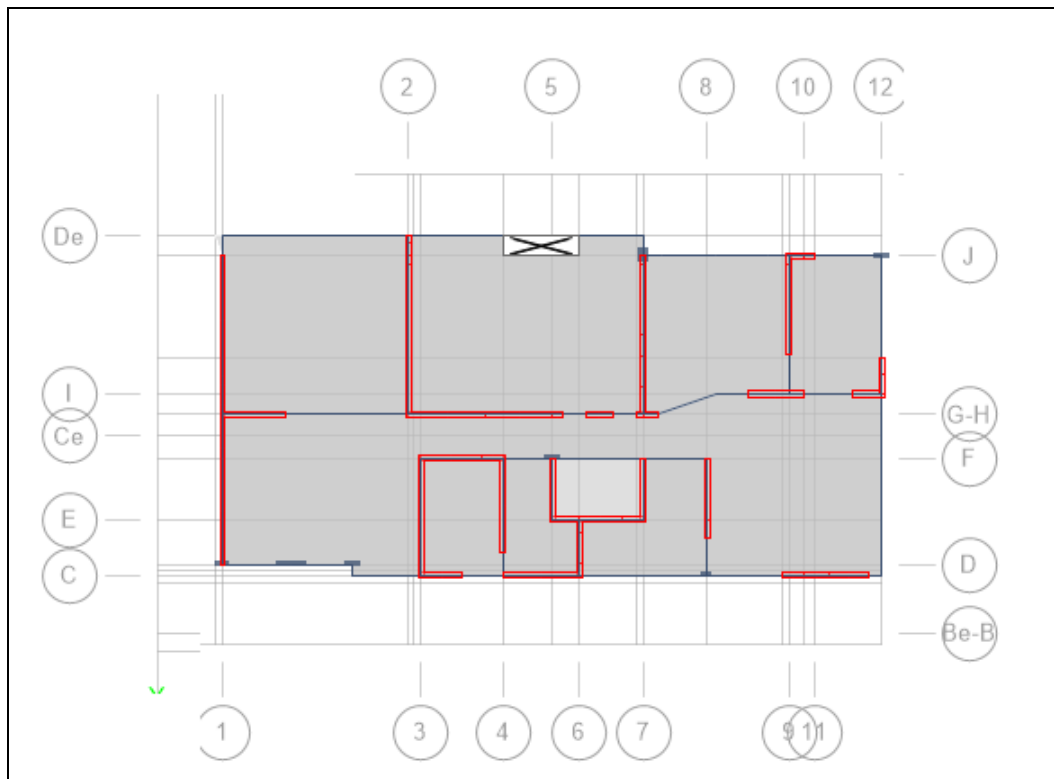


Figura 3.125 Planta piso 1 edificio V20

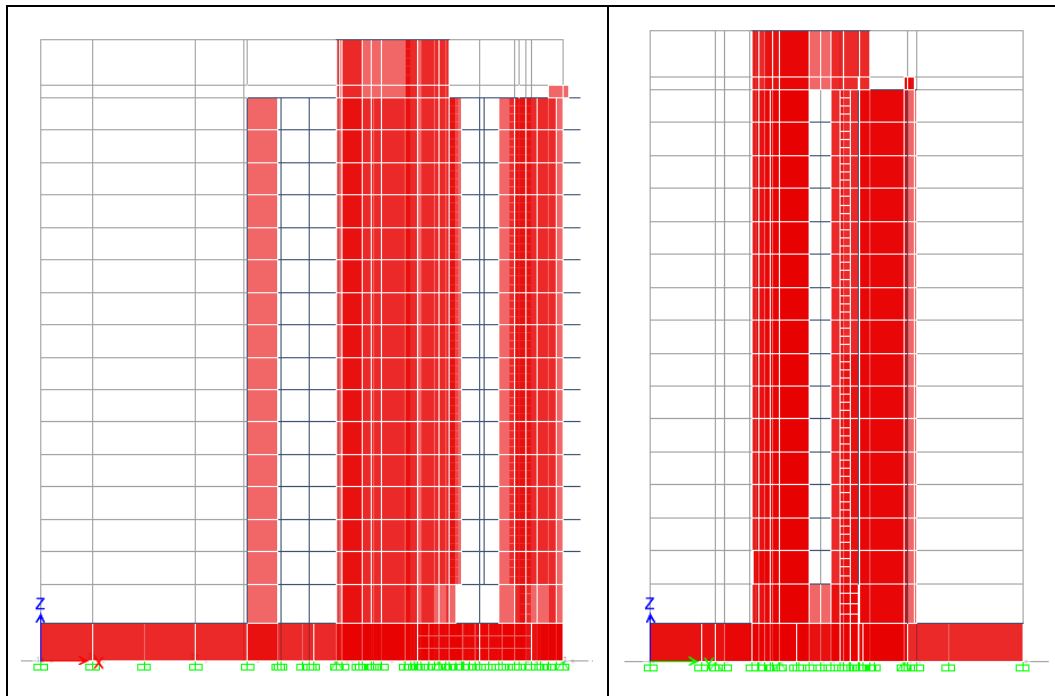


Figura 3.126 Elevaciones X-Z e Y-Z, respectivamente, en vista 3D, edificio V20

- **Daño observado**

No se registran daños estructurales.

- **Clasificación general**

El edificio se clasifica con nivel de desempeño Operacional.

## **4 REVISIÓN DEL DISEÑO SÍSMICO DE LOS EDIFICIOS**

### **4.1 General**

En la primera parte de este capítulo se presenta los resultados del análisis de los edificios según la normativa vigente de diseño sísmico en el país. Este análisis se realiza con el objeto de determinar si los edificios estudiados cumplen los criterios de diseño de la normativa. En la segunda parte se verifica el diseño de algunos de los elementos dañados de los edificios.

Se ha contado con casi la totalidad de la información requerida para realizar los análisis. Aquella información que no estuvo disponible ha sido estimada según los supuestos adecuados que se indican en cada caso.

Cabe señalar que no se espera que la información obtenida en estos análisis permita determinar en forma inequívoca la causa de los daños en los edificios. Sin embargo, se espera obtener una primera información que permita buscar las causas del daño.

### **4.2 Análisis sísmico global**

En esta primera sección se presenta los resultados del análisis de los edificios según las disposiciones de la normativa chilena vigente de diseño sísmico, NCh433 Of.96 Mod.2009 complementada con el Decreto Supremo N°61 del 2011. Otra norma empleada en este capítulo es la NCh1537 Of.2009 de cargas permanentes y sobrecargas de uso.

Para cada edificio se realiza un análisis dinámico modal espectral con el espectro reducido de la norma. El objetivo de este análisis es determinar los parámetros de la respuesta global del edificio, como los periodos fundamentales de vibración, cortes basales, desplazamientos de techo y desplazamientos relativos entre pisos.

Se debe tener presente que, a efectos de análisis para este capítulo y los posteriores, la dirección de mayor longitud en el edificio corresponde a la dirección x, y la perpendicular a ésta se define como la dirección y.

#### **4.2.1 Suelo de fundación**

El suelo se clasifica en Tipos A, B, C, D y E según la medición de la velocidad de las ondas de corte a una profundidad de treinta metros, de acuerdo a las disposiciones del Decreto 61 que se reproducen en la tabla 4.1. Se considera además un suelo tipo F correspondiente a casos especiales.

Como información se dispone de registros previos de seis ensayos Down-Hole, de los cuales cinco están en la zona estudiada. De estos cinco, tres ensayos determinaron que dicho suelo era tipo D y dos tipos C (Carrasco Nuñez 2013). Se cuenta además con otros tres estudios de suelo realizados directamente en los emplazamientos de algunos de los edificios, teniéndose dos casos con suelo tipo C y uno tipo D. En la figura 4.1 se muestra la ubicación de los tipos de suelo.

Para estimar el tipo de suelo, en el caso de edificios con ubicaciones cercanas a los lugares donde se realizaron las exploraciones, se consideró directamente el tipo de suelo resultante del ensayo. Para el edificio A3 se consideró suelo D a pesar de que su mecánica de suelo arrojaba un suelo tipo C, ya que dicha mecánica de suelos no está basada en la normativa vigente y por

ende su precisión no es tan alta como la de los ensayos Down-Hole. Se consideró suelo tipo D para aquellos edificios que no tenían ensayos cercanos por ser lo más probable.

Así, los edificios N1, A2, A3, B4, F5, M8, M9, R10, T13, T14, T15, P16, R17, S18, S19 y V20 para este estudio fueron considerados con suelo de fundación tipo D, mientras que los edificios, M6, M7, R11 y T12 fueron considerados con suelo tipo C.

Suelo Tipo		$V_{s30}$ (m/s)	RQD	$q_u$ (MPa)	( $N_1$ ) (golpes/pie)	$S_u$ (MPa)
A	Roca, suelo cementado	$\geq 900$	$\geq 50\%$	$\geq 10$ ( $\epsilon_{qu} \leq 2\%$ )		
B	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o muy firme	$\geq 500$		$\geq 0,40$ ( $\epsilon_{qu} \leq 2\%$ )	$\geq 50$	
C	Suelo denso o firme	$\geq 350$		$\geq 0,30$ ( $\epsilon_{qu} \leq 2\%$ )	$\geq 40$	
D	Suelo medianamente denso, o firme	$\geq 180$			$\geq 30$	$\geq 0,05$
E	Suelo de compactidad, o consistencia mediana	$< 180$			$\geq 20$	$< 0,05$
F	Suelos Especiales	*	*	*	*	*

Tabla 4.1 Clasificación del tipo de suelo según Decreto 61

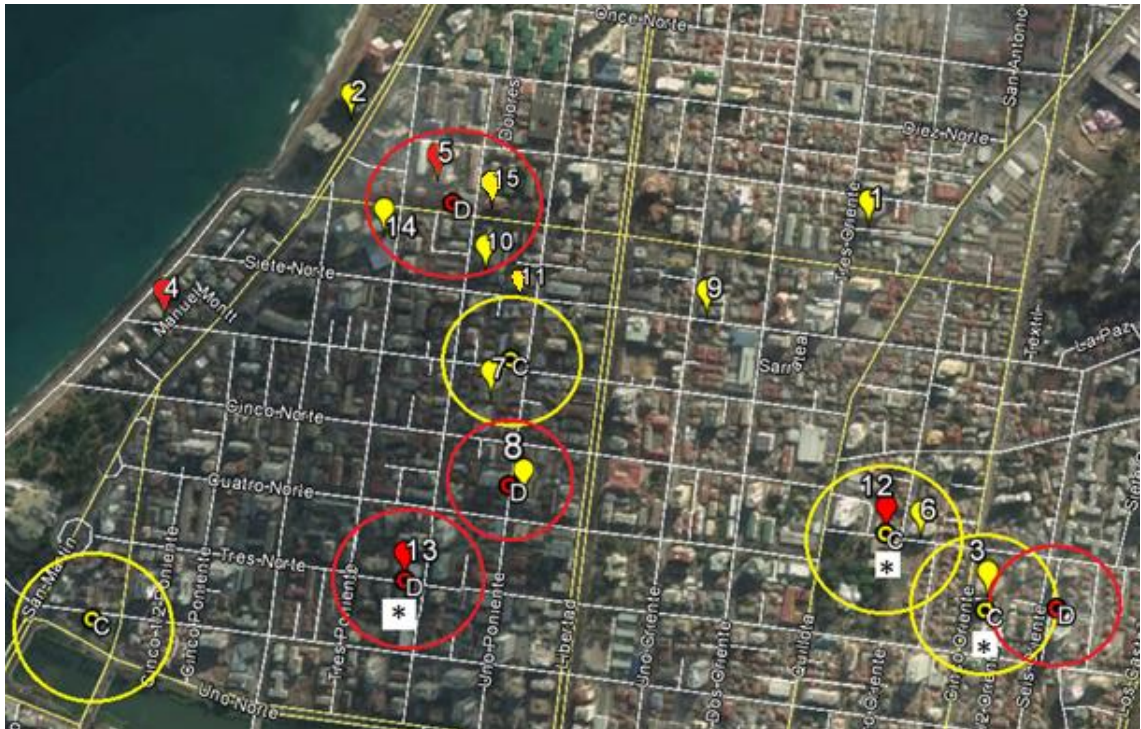


Figura 4.1 Antecedentes de ensayos Down-Hole, obtenidos de Carrasco Nuñez 2013. (\*) Dato obtenido del estudio de mecánica de suelos del edificio

## 4.2.2 Antecedentes para el análisis sísmico

### 4.2.2.1 Datos generales de los edificios

Los veinte edificios están ubicados en el sector Plan de Viña del Mar.

Los suelos son tipo C y tipo D.

Todos fueron diseñados con fines habitacionales.

Todos son de Hormigón armado.

Su estructuración consiste en muros que soportan prácticamente la totalidad de las cargas verticales y acciones laterales, complementados con columnas, vigas, losas y zapatas. Los elementos no estructurales consisten en tabiquería y sobrelosas.

### 4.2.2.2 Propiedades de los materiales.

Se considera acero de calidad A630-420H con  $f_y = 4200$  [Kgf/cm<sup>2</sup>] y hormigones H30 ( $f_c = 250$  [Kgf/cm<sup>2</sup>]) y H25 ( $f_c = 200$  [Kgf/cm<sup>2</sup>])

### 4.2.2.1 Solicitaciones

Las cargas permanentes y sobrecargas de uso se determinaron según la NCh1537.

Existen cargas de peso propio y sobrecargas de uso.

Para calcular las cargas de peso propio se consideró la densidad del hormigón como 2500 [Kg/m<sup>3</sup>], valor empleado para calcular el peso de los elementos estructurales de hormigón, muros, columnas, vigas y losas.

Se consideró una carga de peso propio adicional de 100 [Kgf/m<sup>2</sup>] en las losas.

Para las sobrecargas de uso se empleó 100 [Kgf/m<sup>2</sup>] en azoteas, 500 [Kgf/m<sup>2</sup>] en estacionamientos y 200 [Kgf/m<sup>2</sup>] en los demás casos.

El peso para el análisis sísmico ( $P$ ) equivale al 100% del peso propio más el 25% de las sobrecargas de uso.

### 4.2.2.2 Parámetros de diseño sísmico

Zona	3
Suelo	C o D
Categoría	II
R <sub>o</sub>	11
A <sub>o</sub>	0.4g

## 4.2.3 Disposiciones de diseño

### 4.2.3.1 Espectros elásticos de diseño

El espectro de diseño se obtiene del artículo 12 del decreto 61.

$$S_a = \frac{SA_0\alpha}{(R^*/I)}$$

Donde  $S_a$  es el espectro de diseño,  $S$  parámetro asociado al tipo de suelo,  $A_0$  es la aceleración efectiva máxima,  $\alpha$  es el factor de amplificación,  $R^*$  es el factor de reducción e  $I$  el coeficiente relativo al edificio.

El factor de amplificación según Decreto 61 se determina como sigue:

$$\alpha = \frac{1 + 4.5 \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^p}{1 + \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^3}$$

Donde  $T_n$  es el periodo de vibración del modo  $n$ ,  $T_0$  y  $p$  son parámetros asociados al tipo de suelo ( $T_0$  es una aproximación del periodo natural esperable del suelo).

El factor de reducción según NCh433 se calcula como sigue:

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0.1T_0 + \frac{T^*}{R_0}}$$

Donde  $T^*$  es el periodo del modo con mayor masa traslacional equivalente con la dirección del análisis ( $R_0 = 11$ ).

El espectro elástico de diseño  $S_a * R^*$ , según los parámetros, queda definido en la figura 4.2, para suelos C y D. En el eje x del gráfico aparece el periodo y en el eje y la aceleración basal.

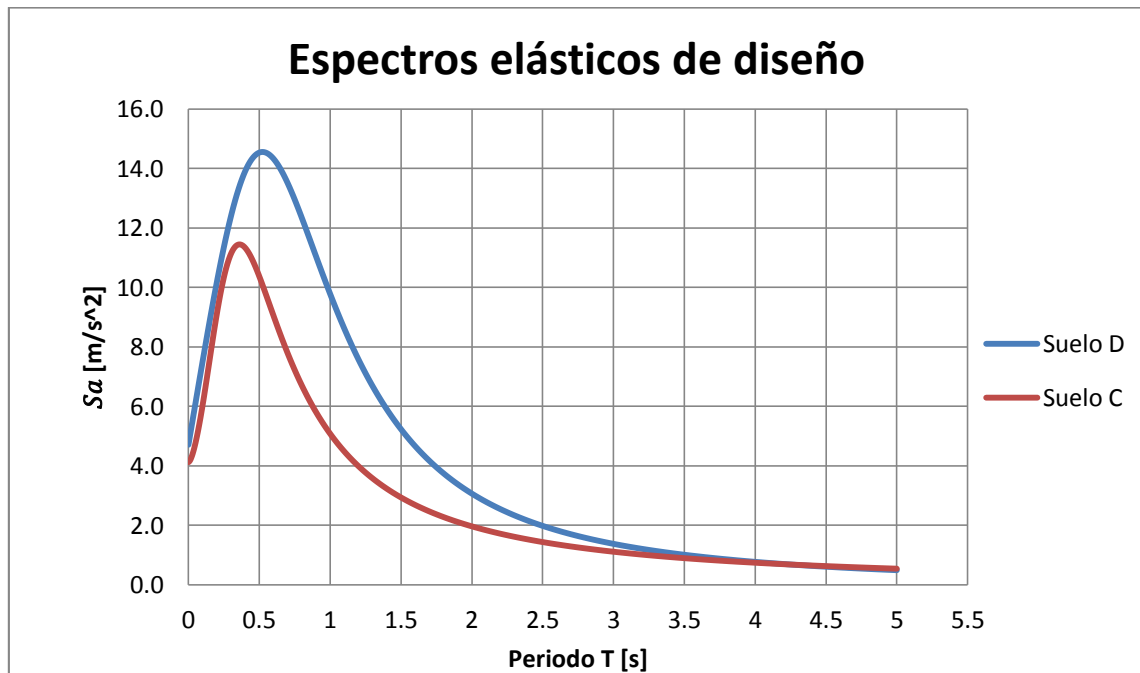


Figura 4.2 Espectros elásticos de diseño para suelos C y D

### 4.2.3.2 Desplazamiento de diseño

Para el diseño se considera que el sismo demandará al edificio un desplazamiento lateral mínimo de techo igual a  $d_u$ , el cual está en función del periodo traslacional del edificio (NCh433), los elementos de un edificio deben estar diseñados para que el edificio sea capaz de alcanzar dicha demanda sin daños significativos. El valor de  $d_u$  se determina según el Decreto 61 como:

$$d_u = 1.3S_{de}(T_{ag})$$

Donde  $S_{de}$  es la ordenada del espectro elástico de desplazamiento,  $T_{ag}$  es el periodo de mayor masa equivalente considerando para el análisis un agrietamiento en los elementos de hormigón. Una aproximación sencilla corresponde a que el periodo agrietado es 1.5 veces el periodo calculado sin elementos agrietados  $T_{ag} = 1.5T_n$ .

$$S_{de}(T_n) = \frac{T_n^2}{4\pi} \alpha A_0 C_d^*$$

$C_d^*$  se obtiene de la tabla 4.2,  $\alpha$ ,  $A_0$  y  $T_n$  están previamente definidos.

Tipo de Suelo	$C_d^*$	Rango Periodos
A	1.0	$T_n \leq 0.23 \text{ seg}$
	$-0.055T_n^2 + 0.36T_n + 0.92$	$0.23 \text{ seg} < T_n \leq 2.52 \text{ seg}$
	$0.08T_n^2 - 0.9T_n + 3.24$	$2.52 \text{ seg} < T_n \leq 5.00 \text{ seg}$
B	1.0	$T_n \leq 0.47 \text{ seg}$
	$0.95T_n + 0.55$	$0.47 \text{ seg} < T_n \leq 2.02 \text{ seg}$
	$0.065T_n^2 - 0.75T_n + 3.72$	$2.02 \text{ seg} < T_n \leq 5.00 \text{ seg}$
C	1.0	$T_n \leq 0.65 \text{ seg}$
	$0.57T_n + 0.63$	$0.65 \text{ seg} < T_n \leq 2.02 \text{ seg}$
	$0.055T_n^2 - 0.63T_n + 2.83$	$2.02 \text{ seg} < T_n \leq 5.00 \text{ seg}$
D	1.0	$T_n \leq 0.90 \text{ seg}$
	$1.1T_n$	$0.90 \text{ seg} < T_n \leq 1.75 \text{ seg}$
	1.93	$1.75 \text{ seg} < T_n \leq 5.00 \text{ seg}$

Tabla 4.2 cálculo de  $C_d^*$  según Decreto 61

### 4.2.3.3 Limitaciones de desplazamiento

Los desplazamientos relativos entre piso, calculados a nivel de los centros de masa con el espectro reducido no deben exceder al 2‰ de la altura de piso. La diferencia entre los desplazamientos relativo en el centro de masa y el máximo no debe ser mayor a 1‰.

### 4.2.3.4 Superposición modal

Los desplazamientos y rotaciones de los diafragmas horizontales y las solicitaciones de cada elemento estructural se deben calcular para cada una de las direcciones de acción sísmica, superponiendo cada uno de los modos de vibrar.

#### 4.2.3.5 Limitaciones del esfuerzo de corte basal

El corte basal no debe ser menor que  $ISA_0P/6g$ . Si fuese menor, se deben amplificar las solicitaciones por un factor a modo que dicho corte se iguale al mínimo.

El corte basal en la dirección sísmica no necesita ser mayor que  $IC_{m\acute{a}x}P$ , si fuese mayor, se acepta reducir el corte multiplicando las solicitaciones por un factor que iguale dicho corte al corte máximo. Esto no aplica para los desplazamientos. Para los casos en análisis dado que  $R = 7$ , el coeficiente sísmico máximo corresponde a 0.35 en todos los casos como se observa en la tabla 4.3.

$R$	$C_{m\acute{a}x.}$
2	$0,90 SA_o / g$
3	$0,60 SA_o / g$
4	$0,55 SA_o / g$
5.5	$0,40 SA_o / g$
6	$0,35 SA_o / g$
7	$0,35 SA_o / g$

Tabla 4.3 Valores máximos del coeficiente sísmico

#### 4.2.4 Resultados del análisis sísmico

Los datos de entrada para el análisis sísmico se muestran en la tabla 4.4 donde se incluye los parámetros requeridos para definir el espectro elástico: zona sísmica, tipo de suelo, categoría de ocupación que define al coeficiente relativo al edificio, los factores de reducción de la respuesta y la aceleración efectiva; los parámetros relativos al suelo:  $S$ ,  $T_0$ ,  $T'$ ,  $n$  y  $p$ ; y los factores de corte mínimo y máximo, respectivamente para cada uno de los edificios.

N°	Edificio	zona sísmica	Tipo de suelo	Categoría de ocupación	Coefficiente relativo al edificio	R <sub>0</sub>	Aceleración efectiva A <sub>0</sub> /g	S	T <sub>0</sub>	T'	n	p	Factor C <sub>min</sub>	Factor C <sub>máx</sub>
1	N1	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
2	A2	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
3	A3	3	C	I	1.0	11	0.4	1.05	0.4	0.45	1.4	1.6	0.17	0.35
4	B4	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
5	F5	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
6	M6	3	C	I	1.0	11	0.4	1.05	0.4	0.45	1.4	1.6	0.17	0.35
7	M7	3	C	I	1.0	11	0.4	1.05	0.4	0.45	1.4	1.6	0.17	0.35
8	M8	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
9	M9	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
10	R10	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
11	R11	3	C	I	1.0	11	0.4	1.05	0.4	0.45	1.4	1.6	0.17	0.35
12	T12	3	C	I	1.0	11	0.4	1.05	0.4	0.45	1.4	1.6	0.17	0.35
13	T13	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
14	T14	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
15	T15	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
16	P16	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
17	R17	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
18	S18	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
19	S19	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35
20	V20	3	D	I	1.0	11	0.4	1.20	0.75	0.85	1.8	1.0	0.17	0.35

**Tabla 4.4 Parámetros de entrada para el análisis sísmico**

Los resultados del análisis modal espectral fueron obtenidos desde el análisis de modelos ETABS 2015, en los cuales se consideraron los datos de ingreso previamente descritos, esto es, el tipo de material, los pesos propios, las sobrecargas de uso, el espectro sísmico reducido, etc.

El análisis se realiza en las dos direcciones principales de los edificios.

Las direcciones principales para todos los edificios corresponden a los eje x e y, donde la dirección x es la dirección de mayor longitud en planta y la dirección y es la dirección perpendicular de menor longitud en planta.

#### 4.2.4.1 Periodos fundamentales de vibración

No existe un consenso claro con respecto al cálculo de los periodos fundamentales, sin embargo, se suele usar los elementos no agrietados, esto es, con el 100% de la rigidez efectiva en los elementos. La normativa no limita este parámetro de manera clara, sin embargo, se recomienda en la literatura (incluyendo el ACI 318S-08) emplear una reducción de la rigidez dependiendo el tipo de elemento. Para considerar dichos efectos en el cálculo de los periodos fundamentales, se considera el 50% de reducción en todos los elementos del edificio, con ello se obtiene un valor más conservador de este parámetro.

Los periodos fundamentales y el porcentaje de masa modal se presentan en la tabla 4.5. En la tercera columna se indica el periodo fundamental en el eje x del edificio (eje mayor), seguido de su porcentaje de masa modal. En la quinta columna indica el periodo en el eje y, seguido de su porcentaje de participación modal.

N°	Edificio	Tx	Participación	Ty	Participación
		[s]	% masa	[s]	% masa
1	N1	0.72	30%	0.94	40%
2	A2	1.33	51%	1.80	30%
3	A3	0.68	46%	1.02	35%
4	B4	0.73	29%	0.75	25%
5	F5	0.74	63%	0.87	45%
6	M6	0.42	60%	0.73	39%
7	M7	0.78	57%	1.29	41%
8	M8	0.77	42%	0.82	38%
9	M9	0.24	66%	0.50	42%
10	R10	0.86	48%	1.24	37%
11	R11	0.88	59%	1.17	55%
12	T12	1.31	59%	1.00	68%
13	T13	0.54	63%	0.88	61%
14	T14	1.04	28%	1.15	45%
15	T15	0.66	23%	0.66	30%
16	P16	1.59	49%	2.37	34%
17	R17	0.54	56%	0.48	56%
18	S18	0.57	52%	0.84	46%
19	S19	0.63	54%	1.04	53%
20	V20	1.41	32%	1.41	24%

Tabla 4.5 Periodos fundamentales y porcentaje de participación modal

#### 4.2.4.2 Cortes basales y factores de reducción de la respuesta

Los factores de reducción de la respuesta calculados con los periodos del punto anterior y los cortes basales obtenidos del análisis sísmico, se presentan en la tabla 4.6. Cabe destacar, que si bien el cálculo de los factores de reducción depende del periodo, el hecho de considerar un periodo agrietado o no, no varía significativamente el valor de R. En la segunda y tercera columnas están los valores del factor de reducción de la respuesta R en ambas direcciones. La cuarta columna contiene el peso sísmico. En la quinta y sexta se indica el corte mínimo y máximo según normativa. Desde la columna siete a la diez, se muestran los cortes y su porcentaje del peso sísmico para cada dirección de análisis.

En la tabla 4.7 se presenta los factores de reducción de la respuesta y cortes basales empleados para el diseño, modificados según las disposiciones de cortes máximos y mínimos de la norma.

Edificio	$R_x^*$	$R_y^*$	$P_{sis}$ [Tf]	$Q_{mín}$ [Tf]	$Q_{máx}$ [Tf]	$Q_x$ [Tf]	% peso x	$Q_y$ [Tf]	% peso y
N1	6.1	6.9	8886	710.9	1492.8	884.6	10.0%	917.9	10.3%
A2	7.8	8.5	12215	977.2	2052.1	932.3	7.6%	638.4	5.2%
A3	7.7	8.7	10984	768.9	1614.7	807.9	7.4%	464.6	4.2%
B4	6.1	6.2	5551	444.1	932.6	580.2	10.5%	551.5	9.9%
F5	6.2	6.6	14558	1164.7	2445.8	2221.5	15.3%	1630.2	11.2%
M6	6.4	7.9	4604	322.3	676.8	495.0	10.8%	339.2	7.4%
M7	8.0	9.2	9909	693.7	1456.7	534.2	5.4%	318.6	3.2%
M8	6.3	6.5	5621	449.7	944.3	707.7	12.6%	770.0	13.7%
M9	3.4	5.1	2110	168.8	354.5	392.2	18.6%	293.8	13.9%
R10	6.6	7.6	10144	811.5	1704.1	1281.7	12.6%	717.1	7.1%
R11	8.3	9.0	8324	582.7	1223.7	531.0	6.4%	360.6	4.3%
T12	9.2	8.6	6864	480.4	1008.9	437.0	6.4%	651.0	9.5%
T13	5.3	6.7	5715	457.2	960.0	910.9	15.9%	766.3	13.4%
T14	7.1	7.4	11500	920.0	1932.0	882.6	7.7%	917.5	8.0%
T15	5.9	5.9	4334	346.7	728.0	383.2	8.8%	464.2	10.7%
P16	8.2	9.2	15618	1249.4	2623.8	883.3	5.7%	480.2	3.1%
R17	5.3	5.0	4344	347.6	729.9	639.9	14.7%	655.0	15.1%
S18	5.5	6.5	2805	224.4	471.2	406.4	14.5%	316.1	11.3%
S19	5.7	7.1	7471	597.6	1255.1	1550.3	23.4%	985.9	5.6%
V20	7.9	7.9	6530	522.4	1097.1	319.1	4.9%	269.9	4.1%

Tabla 4.6 Cortes basales del análisis sísmico

Edificio	$P_{sis}$ [Tf]	$R_x^{**}$	$R_y^{**}$	$Q_{xdis}$ [Tf]	% Peso	$Q_{ydis}$ [Tf]	% Peso
N1	8885.9	6.1	6.9	884.6	10.0%	917.9	10.3%
A2	12215.0	7.4	5.6	977.2	8.0%	977.2	8.0%
A3	10984.2	7.7	5.2	807.9	7.4%	768.9	7.0%
B4	5551.0	6.1	6.2	580.2	10.5%	551.5	9.9%
F5	14558.3	6.2	6.6	2221.5	15.3%	1630.2	11.2%
M6	4604.3	6.4	7.9	495.0	10.8%	339.2	7.4%
M7	9909.3	6.2	4.2	693.7	7.0%	693.7	7.0%
M8	5621.1	6.3	6.5	707.7	12.6%	770.0	13.7%
M9	2110.0	3.4	5.1	392.2	18.6%	293.8	13.9%
R10	10143.7	6.6	6.7	1281.7	12.6%	811.5	8.0%
R11	8324.3	7.6	5.6	582.7	7.0%	582.7	7.0%
T12	6863.5	8.4	8.6	480.4	7.0%	651.0	9.5%
T13	5714.5	5.3	6.7	910.9	15.9%	766.3	13.4%
T14	11500.1	6.8	7.4	920.0	8.0%	920.0	8.0%
T15	4333.6	5.9	5.9	383.2	8.8%	464.2	10.7%
P16	15617.8	5.8	3.5	1249.4	8.0%	1249.4	8.0%
R17	4344.4	5.3	5.0	639.9	14.7%	655.0	15.1%
S18	2804.5	5.5	6.5	406.4	14.5%	316.1	11.3%
S19	7470.6	7.6	7.1	1255.2	16.8%	985.9	13.2%
V20	6530.4	4.8	4.1	522.4	8.0%	522.4	8.0%

Tabla 4.7 Cortes basales de diseño

#### 4.2.4.3 Desplazamientos elásticos de techo y desplazamientos relativos de entrepisos

Los valores obtenidos corresponden a desplazamientos elásticos, y dado que este análisis consiste en verificar una condición de servicio en la estructura, se hicieron los cálculos con el 100% de la rigidez efectiva de los elementos. Las acciones sísmicas, en cada edificio, son las obtenidas del espectro reducido por el factor  $R^{**}$  (excepto cuando se supera el corte máximo, en tal caso se reduce solo por  $R^*$ ).

En la tabla 4.8 se presenta la altura de cada edificio, los desplazamientos de techo y el desplazamiento relativo global en ambas direcciones de análisis, respectivamente.

En la tabla 4.9 se presenta los desplazamientos relativos máximos entre pisos (drifts máximos) obtenidos del análisis, usando las mismas consideraciones anteriores. En la segunda y tercera columnas se presenta el drift máximo de piso en dirección x e y. En la cuarta y quinta columna el drift máximo calculado en el centro de masa del piso en dirección x e y. En la sexta y séptima columna la mayor diferencia entre el drift de un punto cualquiera del piso y el drift del centro de masa del respectivo piso. Los desplazamientos relativos entre piso considerados corresponden a los máximos en la altura del edificio. La diferencia máxima entre los drifts del centro de masa y el máximo del piso no necesariamente ocurre en el mismo piso que los máximos drifts globales.

Edificio	Altura H [m]	Desplazamiento de techo d eje x cm	Desplazamiento de techo d eje y cm	1000d/H eje x	1000d/H eje y
N1	46.5	2.09	3.10	0.45	0.67
A2	44.0	4.46	6.07	1.01	1.38
A3	46.9	1.13	3.35	0.24	0.71
B4	35.5	2.47	2.40	0.70	0.68
F5	44.2	2.26	2.73	0.51	0.62
M6	31.0	0.55	1.61	0.18	0.52
M7	52.4	2.19	5.78	0.42	1.10
M8	36.3	1.84	2.49	0.51	0.69
M9	21.0	0.19	0.64	0.09	0.30
R10	43.8	3.03	2.95	0.69	0.67
R11	48.9	2.26	4.59	0.46	0.94
T12	34.4	3.57	2.33	1.04	0.68
T13	30.7	1.26	2.91	0.41	0.95
T14	47.3	3.38	4.05	0.72	0.86
T15	32.3	1.43	2.07	0.44	0.64
P16	61.0	6.20	9.31	1.02	1.53
R17	23.5	1.36	1.05	0.58	0.45
S18	31.2	1.67	2.82	0.54	0.90
S19	43.2	1.30	4.32	0.30	1.00
V20	43.7	5.32	6.34	1.22	1.45

**Tabla 4.8 Desplazamientos elásticos de techo del análisis sísmico**

Edificio	Máx drift eje x ‰	Máx drift eje y ‰	Máx drift CM eje x ‰	Máx drift CM eje y ‰	$\Delta$ máx drift y drift CM eje x ‰	$\Delta$ máx drift y drift CM eje y ‰
N1	1.09	1.33	0.73	1.00	0.50	0.33
A2	1.56	3.01	1.43	1.87	0.16	1.14
A3	1.31	1.64	0.60	1.06	0.19	0.59
B4	1.60	1.53	1.10	1.09	0.50	0.46
F5	0.90	1.65	0.77	0.95	0.13	0.71
M6	0.80	1.34	0.36	0.99	0.46	0.36
M7	0.99	1.47	0.61	0.78	0.95	0.71
M8	1.20	1.42	0.85	0.90	0.35	0.53
M9	0.35	1.23	0.14	0.50	0.21	0.73
R10	1.06	2.05	1.01	1.05	0.23	1.02
R11	0.78	1.18	0.57	0.80	0.33	0.38
T12	1.51	1.00	1.20	0.97	0.35	0.06
T13	0.96	1.72	0.57	1.38	0.44	0.34
T14	1.38	1.65	1.06	1.33	0.57	0.32
T15	1.25	1.54	0.80	0.87	0.93	0.93
P16	1.32	3.44	1.14	1.82	0.19	1.64
R17	0.86	0.83	0.86	0.61	0.43	0.40
S18	0.94	1.94	0.89	1.37	0.10	0.72
S19	2.51	2.32	2.18	1.28	0.97	1.05
V20	1.89	3.42	1.43	1.89	0.46	1.53

**Tabla 4.9 Desplazamientos relativos de entresijos del análisis sísmico (‰)**

#### 4.2.4.4 Desplazamientos de diseño

En la tabla 4.9 se presenta los valores de la demanda de desplazamiento de techo de los edificios, calculada según las disposiciones del Decreto 61 detallado anteriormente. Se indica, para cada edificio, en las columnas dos y tres, el periodo de la estructura agrietada en ambas direcciones. En las columnas tres y cinco se indican los factores de amplificación. En la sexta, la aceleración efectiva máxima. En las columnas siete y ocho se presentan los parámetros  $C_d$  en cada dirección. En la nueve y diez, la demanda de desplazamiento  $S_{de}$ . En las columnas once y doce se presenta el desplazamiento de diseño  $d_u$  para cada dirección de análisis.

Edificio	$T_x(Ag)$ seg	$T_y(Ag)$ seg	$\alpha_x$	$\alpha_y$	$A_o/g$ cm	$C_d^* x$	$C_d^* y$	$S_{de}x$ cm	$S_{de}y$ cm	$d_{ux}$ cm	$d_{uy}$ cm
N1	0.72	0.94	2.82	2.23	0.4	1.00	1.04	14.54	20.37	18.91	26.48
A2	1.33	1.80	1.36	0.80	0.4	1.46	1.93	35.12	49.42	45.66	64.24
A3	0.68	1.02	1.96	1.20	0.4	1.00	1.12	8.88	13.88	11.55	18.04
B4	0.72	0.75	2.81	2.76	0.4	1.00	1.00	14.66	15.25	19.06	19.82
F5	0.73	0.86	2.79	2.44	0.4	1.00	1.00	14.94	18.13	19.42	23.57
M6	0.42	0.73	2.71	1.81	0.4	1.00	1.00	4.82	9.54	6.27	12.41
M7	0.78	1.28	1.68	0.88	0.4	1.00	1.41	10.12	20.39	13.16	26.50
M8	0.77	0.81	2.71	2.58	0.4	1.00	1.00	15.81	16.98	20.56	22.07
M9	0.24	0.50	2.34	3.08	0.4	1.00	1.00	1.29	7.59	1.68	9.86
R10	0.85	1.24	2.48	1.54	0.4	1.00	1.36	17.89	31.72	23.25	41.23
R11	0.88	1.17	1.45	1.00	0.4	1.00	1.29	11.15	17.53	14.49	22.78
T12	1.30	1.00	0.86	1.23	0.4	1.43	1.10	20.94	13.49	27.22	17.54
T13	0.54	0.88	3.09	2.41	0.4	1.00	1.00	8.80	18.43	11.45	23.96
T14	1.03	1.14	1.99	1.73	0.4	1.14	1.26	23.95	28.20	31.14	36.66
T15	0.66	0.66	2.95	2.95	0.4	1.00	1.00	12.76	12.76	16.58	16.58
P16	1.58	2.36	1.01	0.47	0.4	1.74	1.93	43.78	50.32	56.92	65.42
R17	0.54	0.48	3.09	3.07	0.4	1.00	1.00	8.90	6.97	11.56	9.06
S18	0.57	0.83	3.07	2.53	0.4	1.00	1.00	9.85	17.48	12.81	22.72
S19	0.63	1.03	3.01	1.99	0.4	1.00	1.14	11.70	24.06	15.21	31.28
V20	1.41	1.41	1.24	1.24	0.4	1.55	1.55	37.79	37.79	49.13	49.13

Tabla 4.10 Desplazamientos laterales de diseño (Decreto 61)

## **4.2.5 Análisis de resultados con respecto a las disposiciones de la normativa**

En esta sección se presenta los resultados obtenidos del análisis sísmico con el espectro reducido. Primeramente se verifican los aspectos limitados por la norma, esto es, cortes basales y desplazamientos relativos de entrepiso. Luego, se presentan gráficamente los valores de los parámetros característicos del análisis sísmico, tanto por rango de pisos como por nivel de desempeño. Entre estos parámetros se encuentra los pesos sísmicos, los periodos fundamentales, los cortes basales, los desplazamientos elásticos de techo del análisis y la demanda de desplazamiento (desplazamiento de diseño).

### **4.2.5.1 Cortes basales como porcentaje de los pesos sísmicos**

En las figuras 4.3 y 4.4 se presenta en gráficos de barras, los cortes basales como porcentaje del peso sísmico de los edificios. En color rojo se presenta los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso. En color azul se presenta los edificios con nivel de desempeño Poca Seguridad para los ocupantes. En color verde se presenta los edificios con nivel de desempeño Operacional. Se muestra los valores de cortes máximos y mínimos de la norma como porcentaje del mismo peso sísmico. Notar que estos últimos valores dependen del tipo de suelo.

Se puede observar que para el porcentaje de corte basal con respecto al peso sísmico, en el eje x, del total de edificios, siete están bajo el corte mínimo. De estos siete edificios, hay uno con nivel de desempeño Peligro de Colapso, cuatro con nivel Poca Seguridad para los Ocupantes y dos edificios con nivel de desempeño Operacional. Con respecto a los porcentajes de cortes máximos, dos edificios lo sobrepasan, uno con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes y el otro Operacional.

Para el eje y también hay ocho edificios bajo el porcentaje de corte mínimo. De estos ocho, hay cinco edificios con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes y tres con nivel de desempeño Operacional. Ningún edificio en este eje sobrepasa el porcentaje de corte máximo.

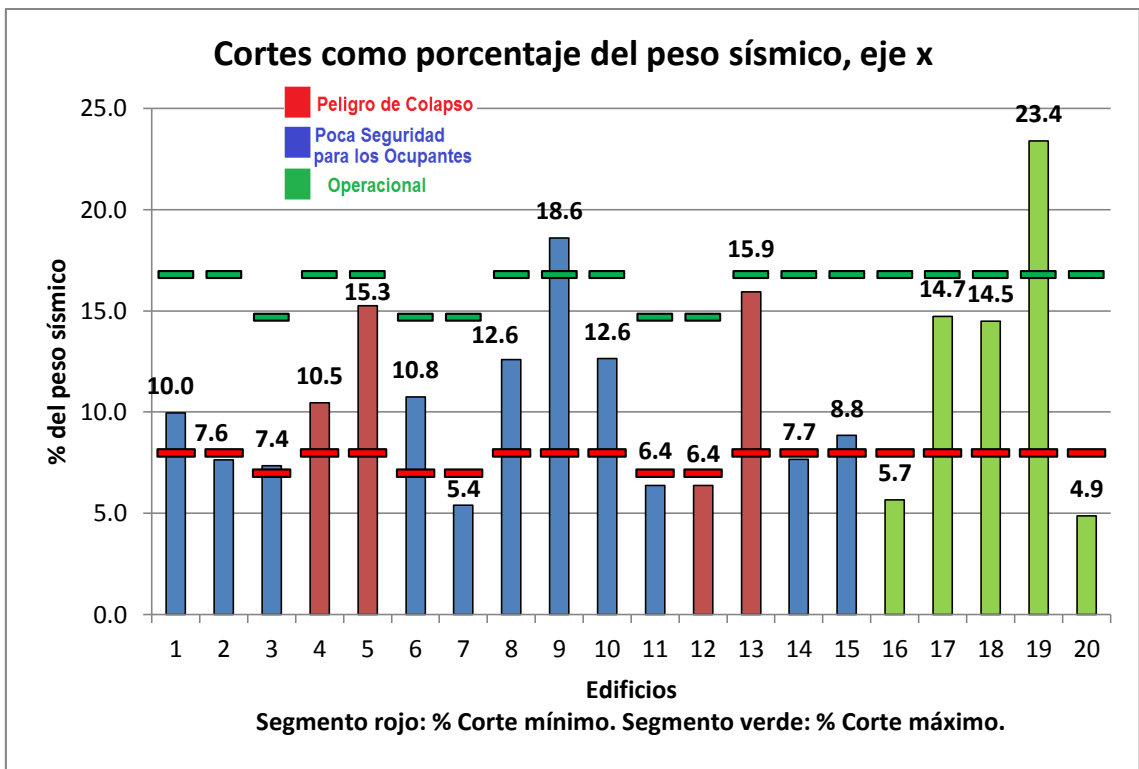


Figura 4.3 Cortes como porcentaje del peso sísmico, eje x

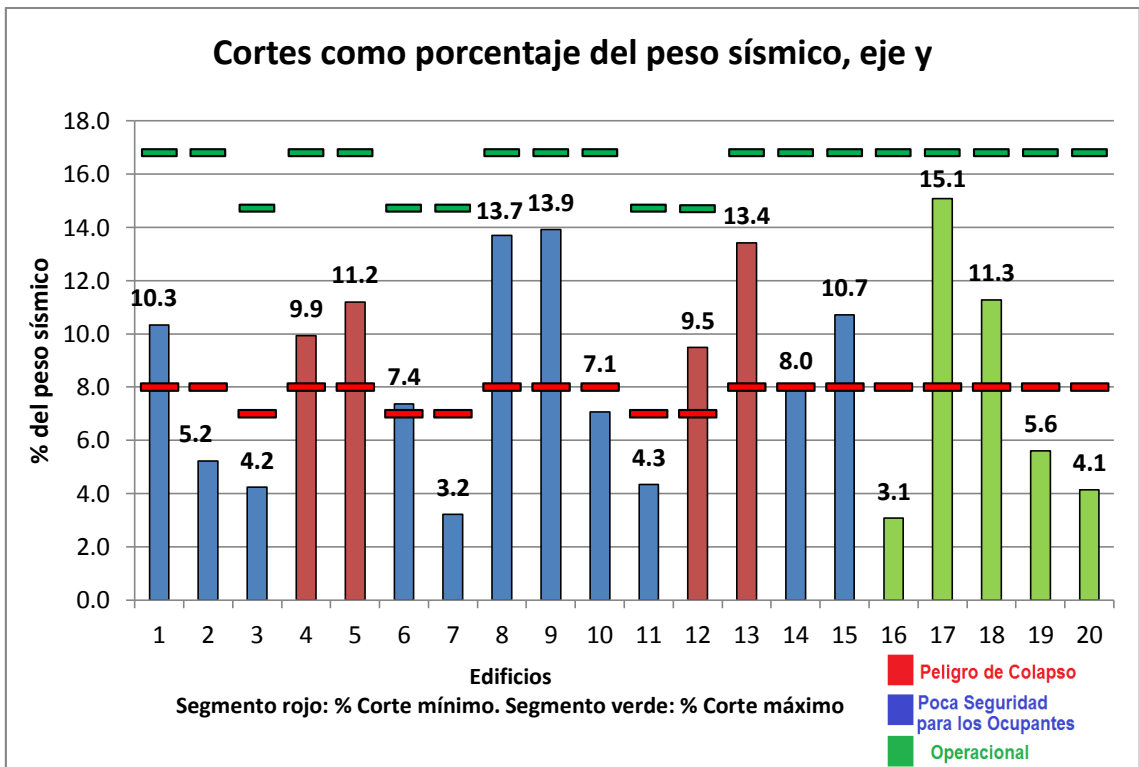


Figura 4.4 Cortes como porcentaje del peso sísmico, eje y

#### 4.2.5.2 Desplazamientos relativos de entrepisos

Las figuras 4.5 y 4.6 muestran los desplazamientos relativos de entrepiso de los centros de masas de los edificios. Se observa que ningún edificio sobrepasa el límite normativo de dos por mil en ambas direcciones.

En cuanto a la diferencia máxima entre el drift del centro de masas y un punto cualquiera del mismo piso, según figuras 4.7 y 4.8, se tiene que en la dirección x, ningún edificio sobrepasa el límite. En la dirección y, cinco edificios sobrepasan el límite, dos de ellos con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes y los otros tres con nivel de desempeño Operacional.

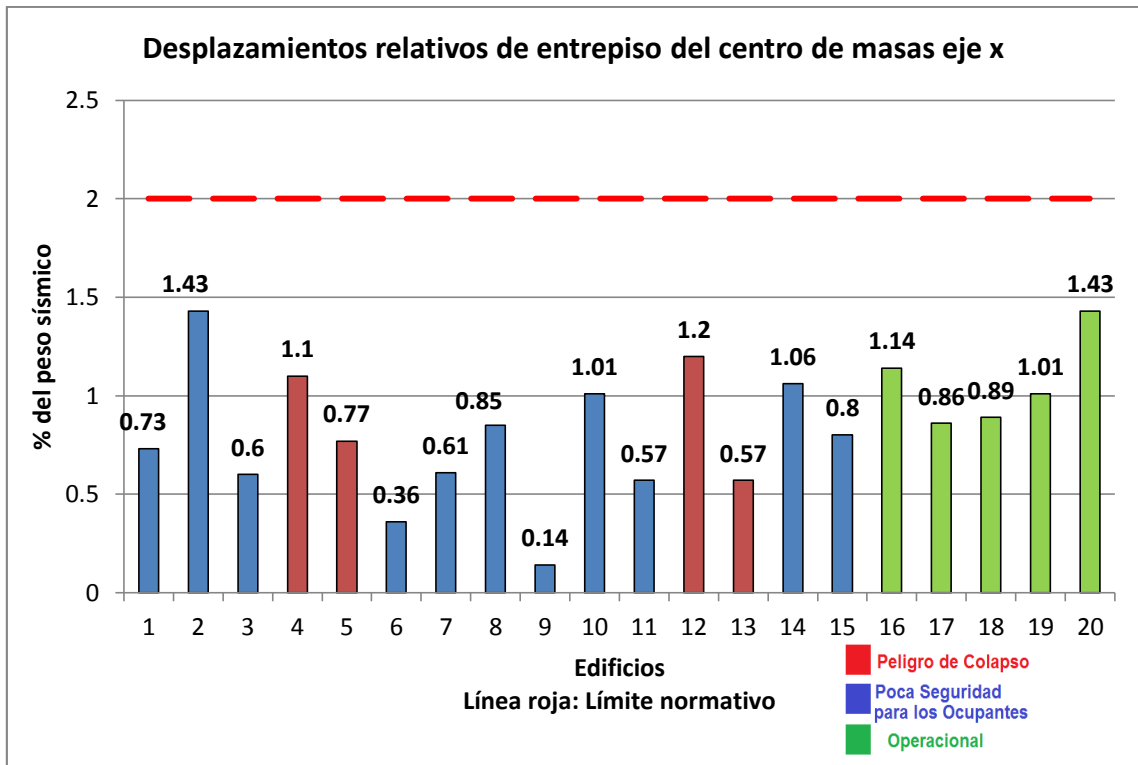


Figura 4.5 Desplazamientos relativos de entrepisos de los centros de masas, eje x (‰)

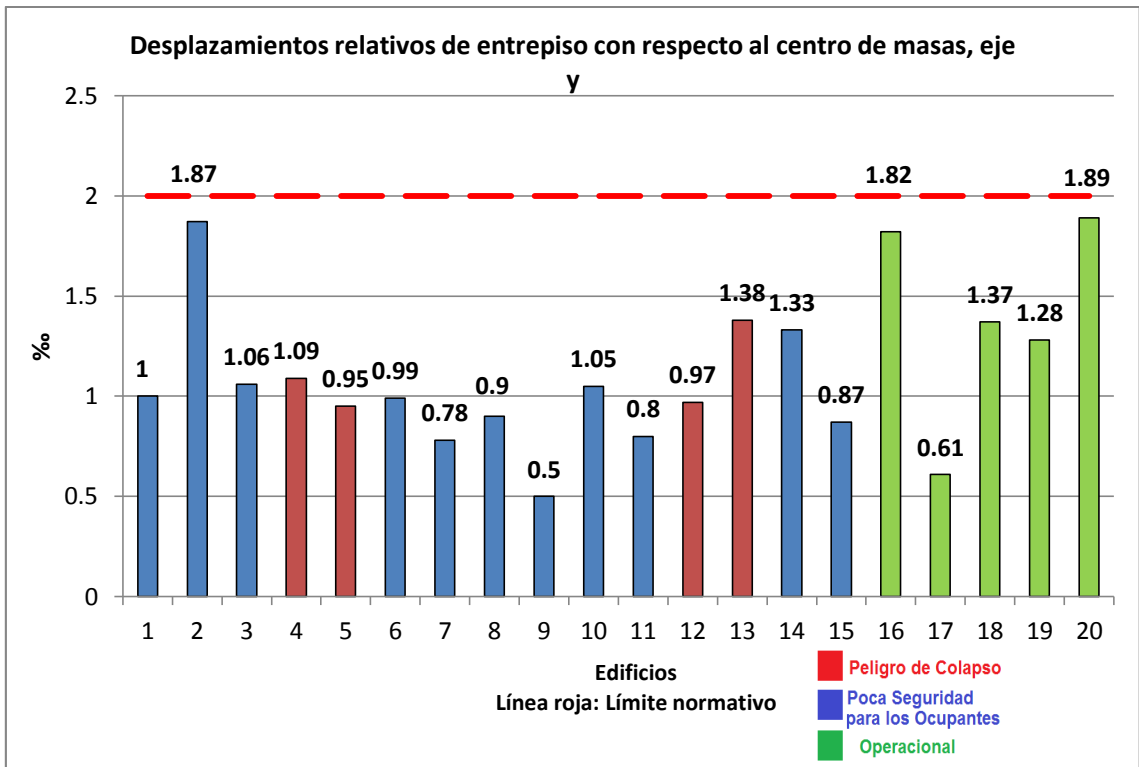


Figura 4.6 Desplazamientos relativos de entrepisos de los centros de masas, eje y (‰)

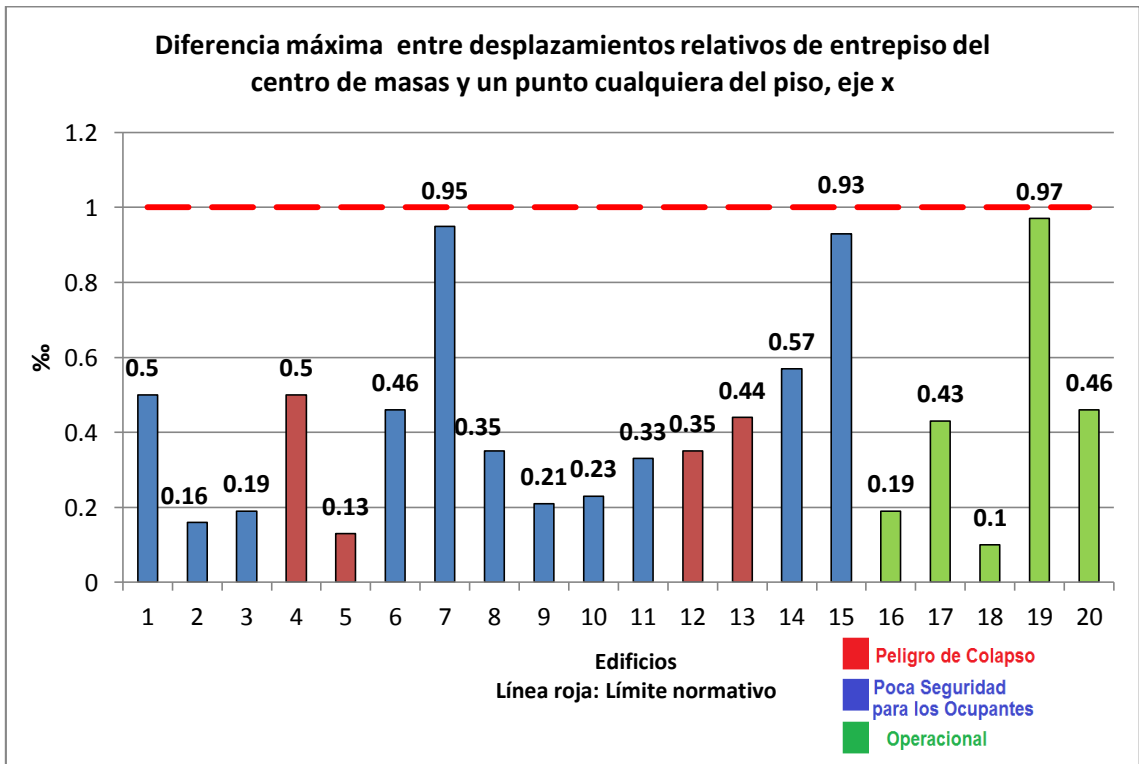


Figura 4.7 Diferencia máxima entre el desplazamiento relativo de entrepiso del centro de masas y un punto cualquiera del piso, eje x (‰)

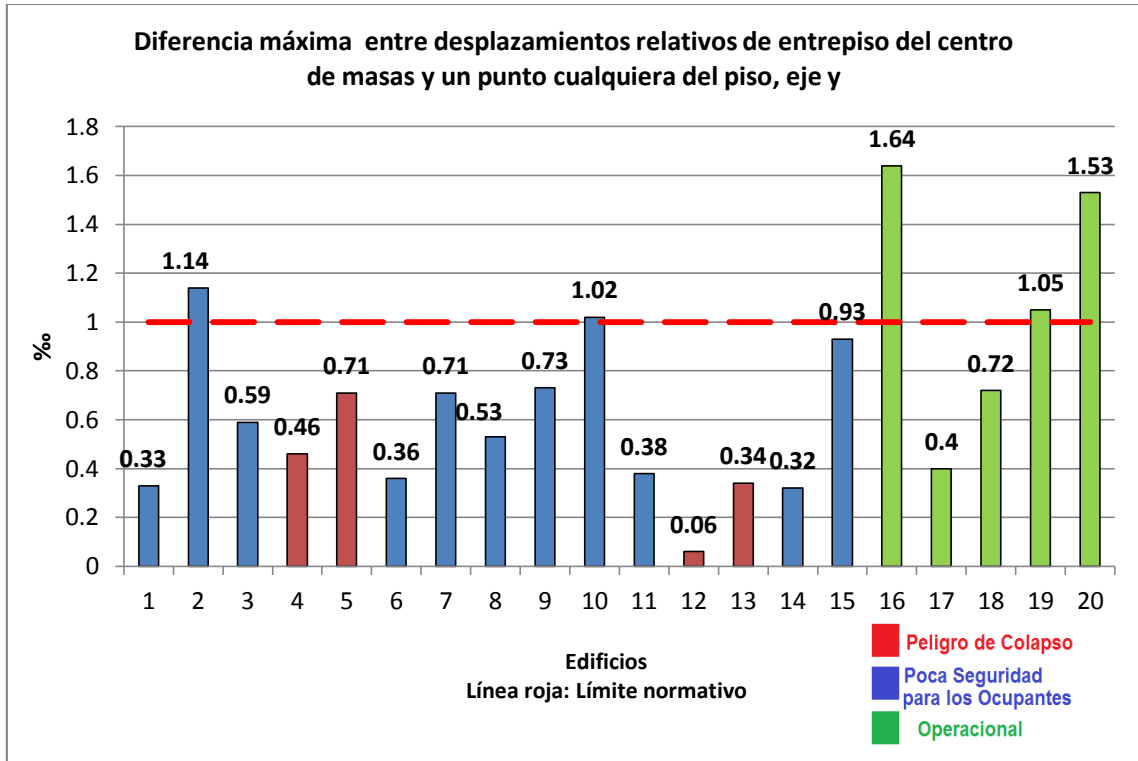


Figura 4.8 Diferencia máxima entre el desplazamiento relativo de entrepiso del centro de masas y un punto cualquiera del piso, eje y (%)

#### 4.2.6 Análisis preliminar de los parámetros obtenidos del análisis sísmico

En esta sección se presenta los resultados del análisis de los parámetros obtenidos de la respuesta sísmica global según la norma, a efectos de detectar posible correlaciones con las características observadas de la respuesta durante el sismo de 2010.

A objeto de análisis, los resultados se presentan en gráficos de barras para dimensionar de mejor manera la magnitud de los valores de los parámetros analizados. En color rojo se muestran las barras correspondientes de los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso. En azul se muestran aquellos con Poca Seguridad para los Ocupantes. En verde los edificios con nivel de desempeño Operacional. Los datos graficados corresponden a los pesos sísmicos, periodos fundamentales, cortes basales, desplazamientos elásticos de techo y desplazamientos de diseño. En el Capítulo 6, se presentan y calculan algunos indicadores asociados a estos parámetros. Cada gráfico tiene una tabla resumen de los promedios de los datos. Se incluye otra tabla con los promedios de los parámetros separados por rangos de altura, indicándose entre paréntesis la cantidad de datos promediados en cada celda. Los rangos de pisos definidos para los edificios son cuatro. El primero corresponde a los edificios de menos de diez pisos, el segundo rango corresponde a los edificios de entre once y catorce pisos, el tercero a los edificios de entre quince y dieciocho pisos, y el cuarto a los edificios con más de diecinueve pisos. Se ahondará más en el tema de los pisos y alturas en el Capítulo 7.

Cabe destacar que un análisis sísmico de norma propiamente tal no es un buen referente para una posible detección de correlaciones asociadas a los daños en los edificios, debido a que los

resultados se obtienen desde un espectro de aceleraciones reducido, el cual podría distar considerablemente de la sollicitación real a que fue sometido el edificio durante el sismo.

#### 4.2.6.1 Pesos sísmicos

La figura 4.9 muestra la distribución de los valores de los pesos sísmicos. La tabla 4.11 presenta los promedios por rango de pisos y nivel de desempeño, también se presentan los promedios globales.

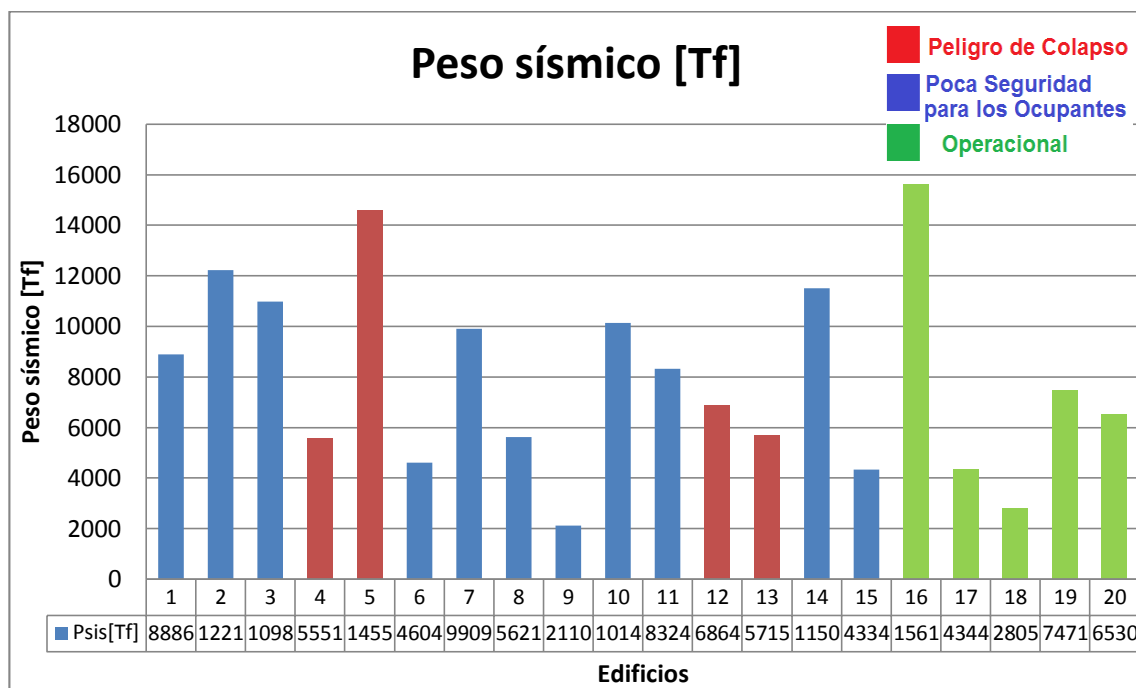


Figura 4.9 Pesos sísmicos de los edificios

Promedios por rango de altura del edificio: Peso sísmico [Tf]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	2110 (1)	4344.4 (1)	3227.2 (2)
11 a 14 pisos	6043 (3)	4853 (3)	2804.5 (1)	5070.4 (7)
15 a 18 pisos	14558.3 (1)	10342.2 (6)	7000.5 (2)	10068.0 (9)
más de 19 pisos	-	9909.3 (1)	15617.8 (1)	12763.5 (2)
Promedios generales: Peso sísmico [Tf]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	8171.8	8057.4	7353.5	7904.3
Desviación estándar	4297.5	3366.6	4968.4	3766.5

Tabla 4.11 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los pesos sísmicos en los edificios, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio

#### 4.2.6.2 Periodos fundamentales

La figura 4.10 y 4.11 muestran la distribución de los valores de los periodos fundamentales para cada dirección principal. En la tabla 4.12 y 4.13 se presenta los promedios por rango de pisos y nivel de desempeño, también se presentan los promedios globales.

Como comentario general, los periodos fundamentales de los edificios con buen desempeño, en promedio, son mayores en ambas direcciones que aquellos de los edificios con mal desempeño. Sin embargo, la comparación de estos valores es poco representativa dada la gran desviación estándar que presentan los datos. Los promedios son 0.82, 0.76 y 0.95 para los niveles de desempeño Peligro de Colapso, Poca Seguridad para los Ocupantes y Operacional respectivamente en el eje x, y 0.87, 1.03 y 1.22 para el eje y. Los periodos más altos se hayan en la dirección menor de cada edificio (predominantemente en eje y, excepto en cuatro casos). No se observan correlaciones asociadas a los niveles de desempeño.

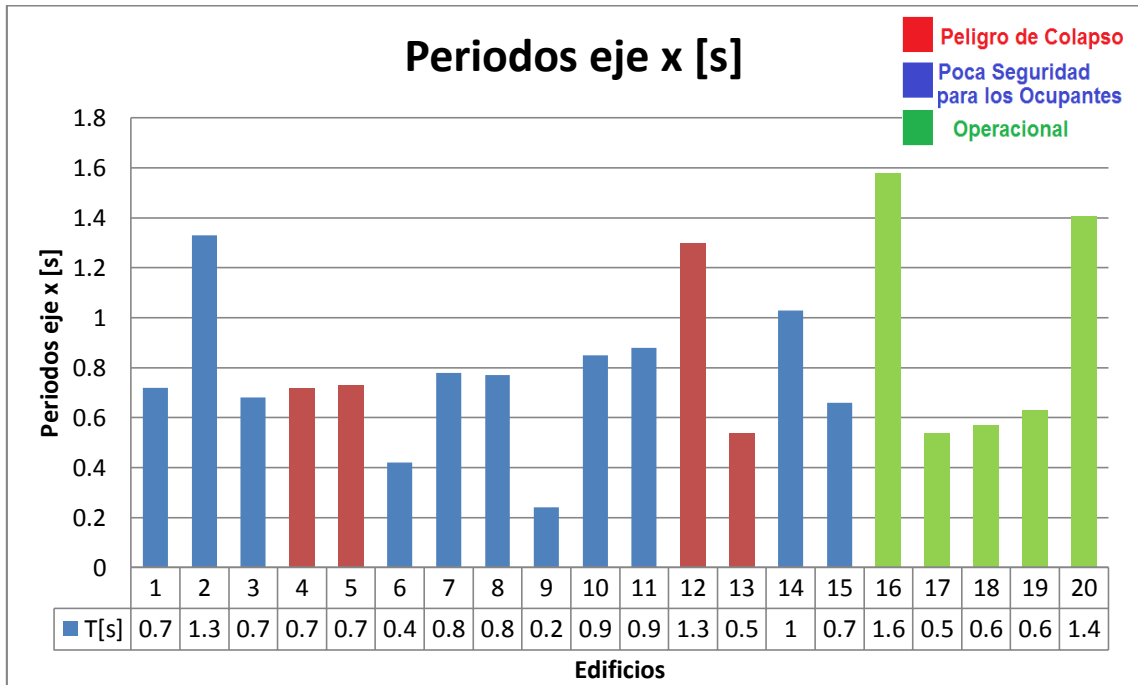
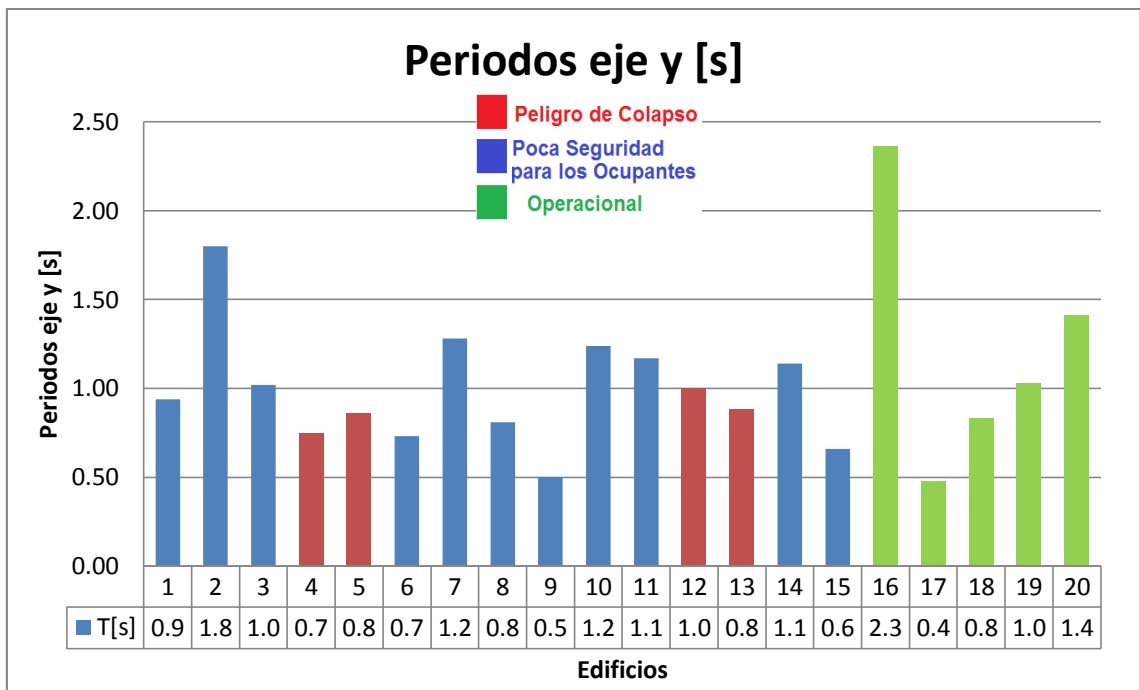


Figura 4.10 Periodos de los edificios en la dirección x

Promedios por rango de altura del edificio: Periodo eje x [s]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.24 (1)	0.5 (1)	0.4 (2)
11 a 14 pisos	0.85 (3)	0.62 (3)	0.57 (1)	0.71 (7)
15 a 18 pisos	0.73 (1)	0.92 (6)	1.02 (2)	0.92 (9)
más de 19 pisos	-	0.78 (1)	1.58 (1)	1.18 (2)
Promedios generales: Periodo eje x [s]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.82	0.76	0.95	0.82
Desviación estándar	0.33	0.29	0.51	0.35

Tabla 4.12 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los periodos fundamentales en la dirección x, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio



**Figura 4.11 Periodos de los edificios en la dirección y**

Promedios por rango de altura del edificio: Periodo eje y [s]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.5 (1)	0.5 (1)	0.5 (2)
11 a 14 pisos	0.88 (3)	0.73 (3)	0.83 (1)	0.81 (7)
15 a 18 pisos	0.86 (1)	1.22 (6)	1.22 (2)	1.18 (9)
más de 19 pisos	-	1.28 (1)	2.36 (1)	1.82 (2)
Promedios generales: Periodo eje y [s]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.87	1.03	1.22	1.04
Desviación estándar	0.10	0.36	0.72	0.44

**Tabla 4.13 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los periodos fundamentales en la dirección y, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio**

### 4.2.6.3 Cortes basales

La figura 4.12 y 4.13 muestra los valores de los cortes basales para cada dirección principal. La tabla 4.14 y 4.15 presenta los promedios por rango de pisos y nivel de desempeño, también se presentan los promedios globales.

Como orden de magnitud para los datos, se tiene que el promedio de los cortes basales en la muestra es de 820 y 720 [Tf] respectivamente en cada dirección de análisis x e y. No se observan correlaciones asociadas a los niveles de desempeño.

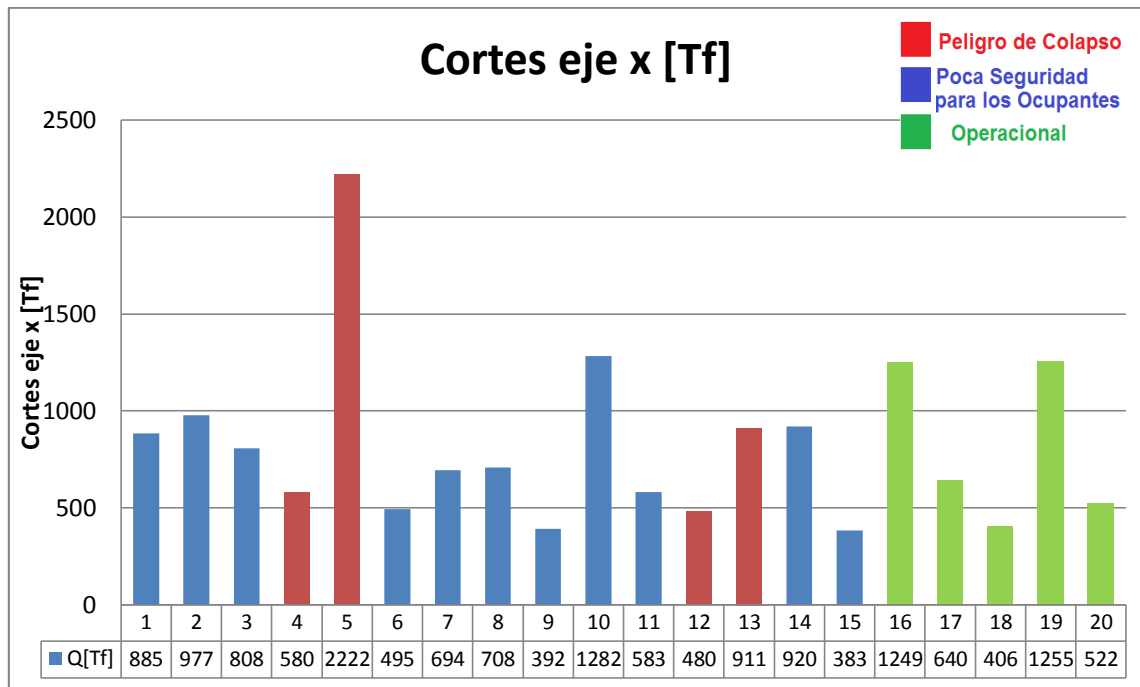


Figura 4.12 Cortes basales del análisis sísmico en la dirección x

Promedios por rango de altura del edificio: Corte eje x [Tf]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
menos de 10 pisos	-	392.2 (1)	639.9 (1)	516 (2)
11 a 14 pisos	657.17 (3)	528.63 (3)	406.4 (1)	566.26 (7)
15 a 18 pisos	2221.5 (1)	909.02 (6)	888.7 (2)	1050.33 (9)
más de 19 pisos	-	693.7 (1)	1249.4 (1)	971.55 (2)
Promedios generales: Corte eje x [Tf]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	1048.25	738.72	814.62	819.60
Desviación estándar	803.51	272.73	407.90	436.94

Tabla 4.14 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los cortes basales en dirección x, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio

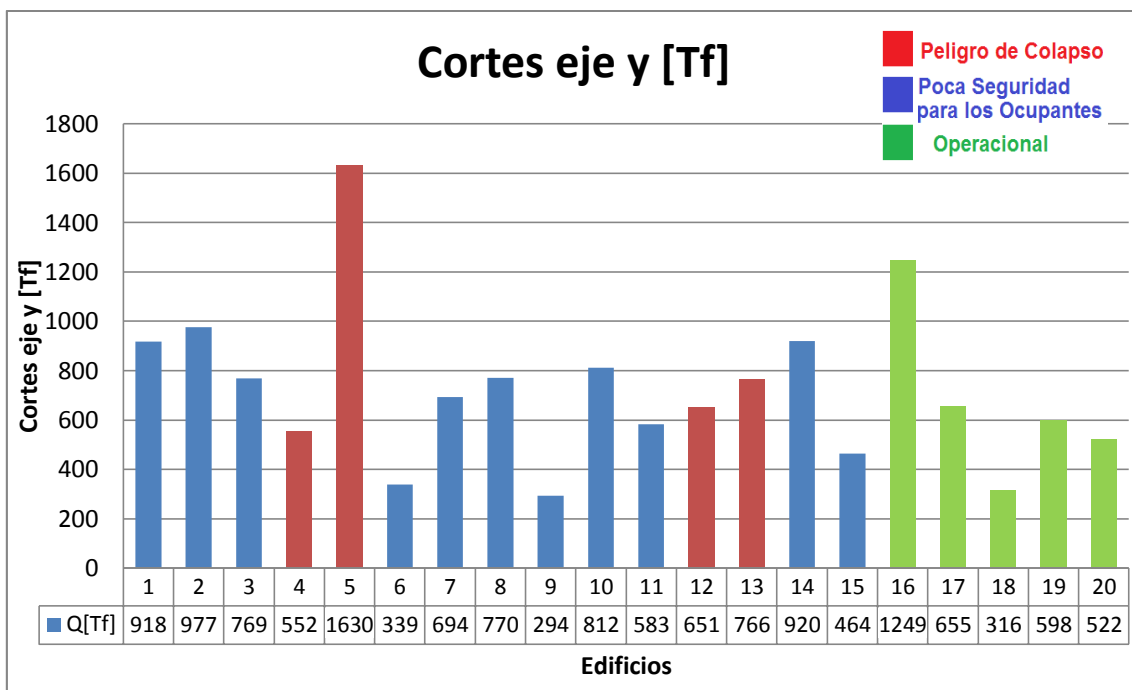


Figura 4.13 Cortes basales del análisis sísmico en la dirección y

Promedios por rango de altura del edificio: Corte eje y [Tf]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
menos de 10 pisos	-	293.8 (1)	655 (1)	474.4 (2)
11 a 14 pisos	656.27 (3)	524.47 (3)	316.1 (1)	551.19 (7)
15 a 18 pisos	1630.2 (1)	829.7 (6)	560 (2)	858.71 (9)
más de 19 pisos	-	693.7 (1)	1249.4 (1)	971.55 (2)
Promedios generales: Corte eje y [Tf]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	899.75	685.37	668.10	723.93
Desviación estándar	494.81	236.01	349.35	319.15

Tabla 4.15 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los cortes basales en dirección y, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio

#### 4.2.6.4 Desplazamientos elásticos de techo del análisis sísmico con el espectro reducido

La figura 4.14 y 4.15 muestra los valores de estos desplazamientos para cada dirección principal. La tabla 4.16 y 4.17 presenta los promedios por rango de pisos y nivel de desempeño, también se presentan los promedios globales, dichos promedios, dada la gran desviación estándar, son solo referenciales.

Los desplazamientos elásticos de techo obtenidos del análisis fueron determinados según se ha explicado anteriormente. Comparando los resultados se observa que los edificios con buen desempeño presentan en ambos sentidos un promedio mayor que los edificios con mal desempeño, los promedios de la muestra, a modo de referencia son 2.4 y 3.5 [cm] en dirección x e y respectivamente. No se aprecian correlaciones entre los diferentes niveles de desempeño.

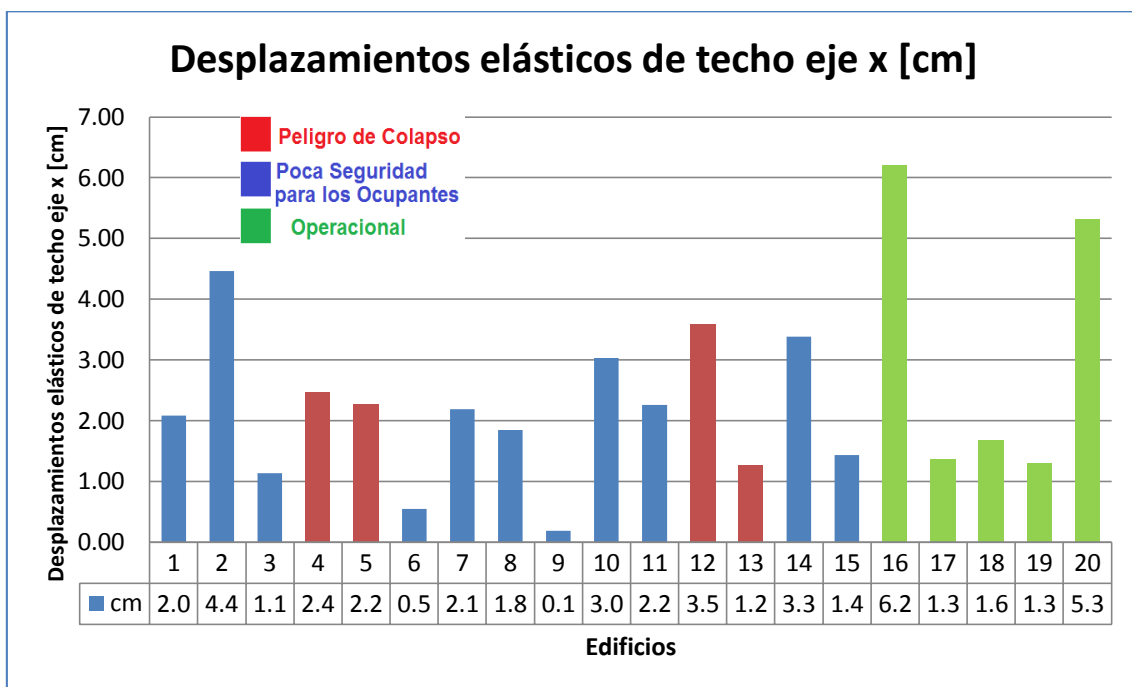


Figura 4.14 Desplazamientos elásticos de techo del análisis sísmico en la dirección x

Promedios por rango de altura del edificio: Desplazamiento techo eje x [cm]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
menos de 10 pisos	-	0.19 (1)	1.4 (1)	0.8 (2)
11 a 14 pisos	2.44 (3)	1.27 (3)	1.67 (1)	1.83 (7)
15 a 18 pisos	2.26 (1)	2.73 (6)	3.31 (2)	2.8 (9)
más de 19 pisos	-	2.19 (1)	6.2 (1)	4.19 (2)
Promedios generales: Desplazamiento techo eje x [cm]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	2.39	2.05	3.17	2.40
Desviación estándar	0.95	1.25	2.39	1.55

Tabla 4.16 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los desplazamientos de techo en dirección x, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio

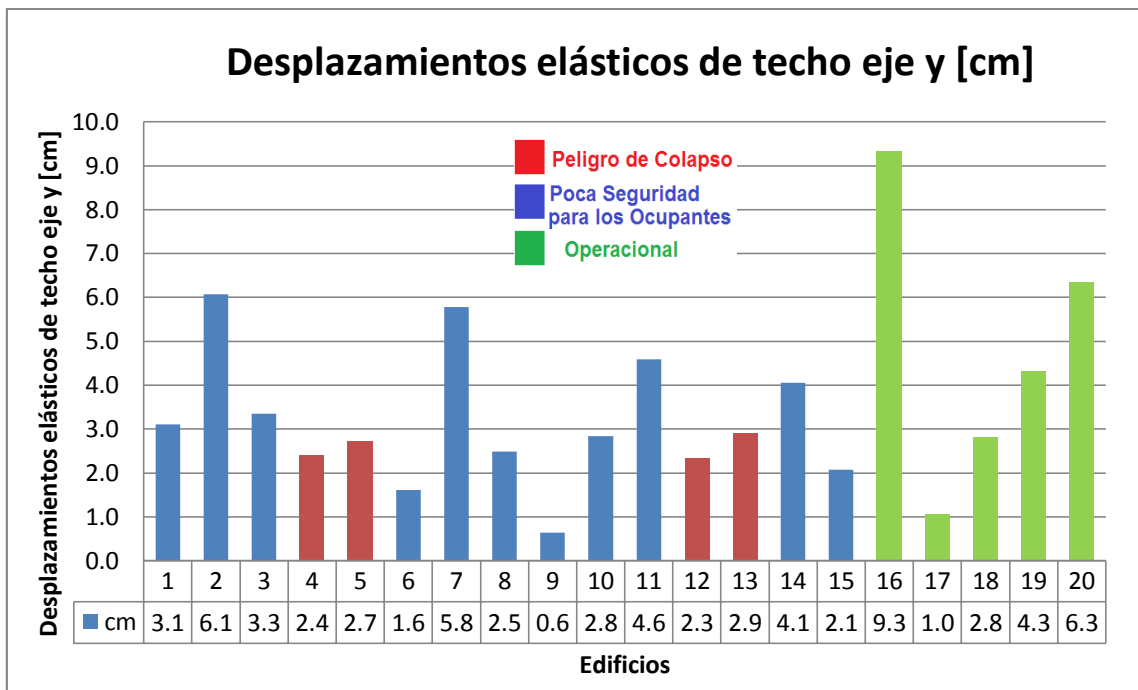


Figura 4.15 Desplazamientos elásticos de techo del análisis sísmico en la dirección y

Promedios por rango de altura del edificio: Desplazamiento techo eje y [cm]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
menos de 10 pisos	-	0.64 (1)	1 (1)	0.8 (2)
11 a 14 pisos	2.55 (3)	2.06 (3)	2.82 (1)	2.37 (7)
15 a 18 pisos	2.73 (1)	4 (6)	5.33 (2)	4.15 (9)
más de 19 pisos	-	5.78 (1)	9.31 (1)	7.55 (2)
Promedios generales: Desplazamiento techo eje y [cm]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	2.59	3.33	4.77	3.54
Desviación estándar	0.27	1.69	3.20	2.07

Tabla 4.17 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los desplazamientos de techo en dirección y, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio

#### 4.2.6.5 Desplazamientos de diseño según Decreto 61

La demanda de desplazamiento es un parámetro definido en el Decreto 61 del 2011 y depende del periodo fundamental de vibración del edificio, su valor será mayor en la medida que el periodo fundamental sea mayor. La demanda de desplazamiento corresponde al desplazamiento de techo al cual el edificio debiese ser capaz de llegar alcanzando un nivel de desempeño esperado para ese nivel de demanda.

La figura 4.16 y 4.17 muestra los valores de estos desplazamientos para cada dirección principal. La tabla 4.18 y 4.19 presenta los promedios por rango de pisos y nivel de desempeño, también se presentan los promedios globales.

Para los edificios estudiados, la demanda es mayor en casi todos los casos para la dirección menor (eje y), en dos casos es mayor en el eje x, y otros dos casos en ambas direcciones son iguales. La dirección y es predominantemente la más flexible. La demanda máxima bordea los 60 [cm].

Para dar un orden de magnitud de los valores, se tiene que el promedio de la muestra es de 21 y 28 [cm] respectivamente en ambas direcciones, x e y. No se observan correlaciones con los niveles de desempeño.

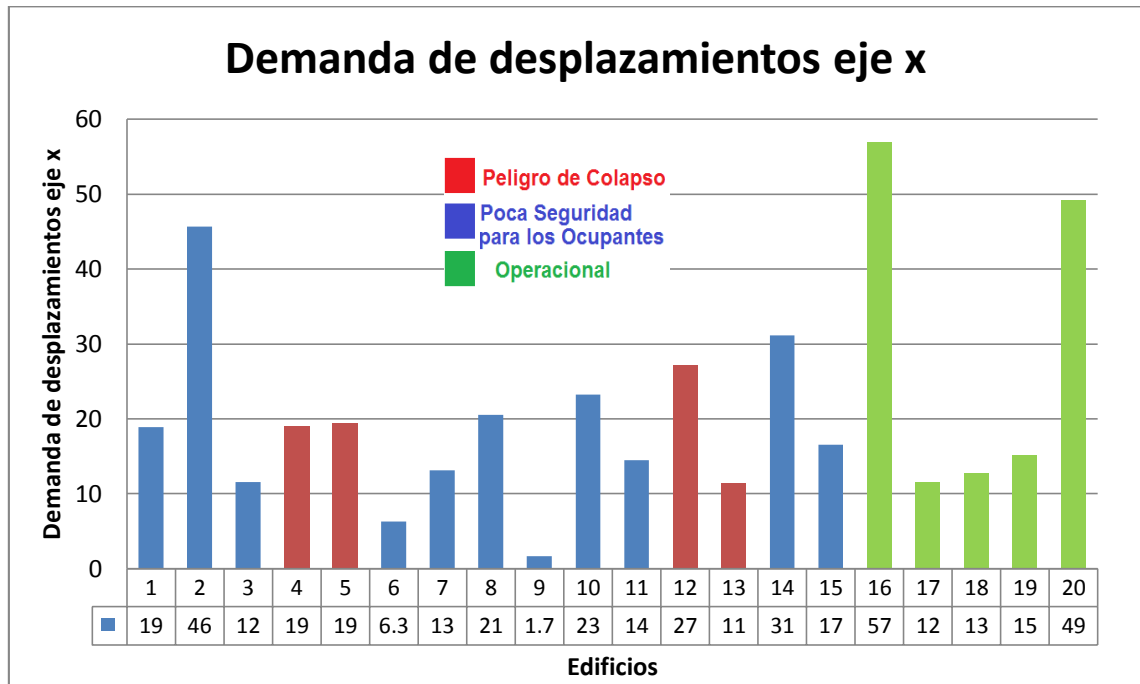


Figura 4.16 Desplazamientos de diseño en la dirección x

Promedios por rango de altura del edificio: Demanda de desplazamiento eje x				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
menos de 10 pisos	-	1.68 (1)	11.6 (1)	6.6 (2)
11 a 14 pisos	19.24 (3)	14.47 (3)	12.81 (1)	16.28 (7)
15 a 18 pisos	19.42 (1)	24.17 (6)	32.17 (2)	25.42 (9)
más de 19 pisos	-	13.16 (1)	56.92 (1)	35.04 (2)
Promedios generales: Demanda de desplazamiento eje x				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	19.29	18.48	29.13	21.30
Desviación estándar	6.44	12.06	22.03	14.38

Tabla 4.18 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los desplazamientos de diseño en la dirección x, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio

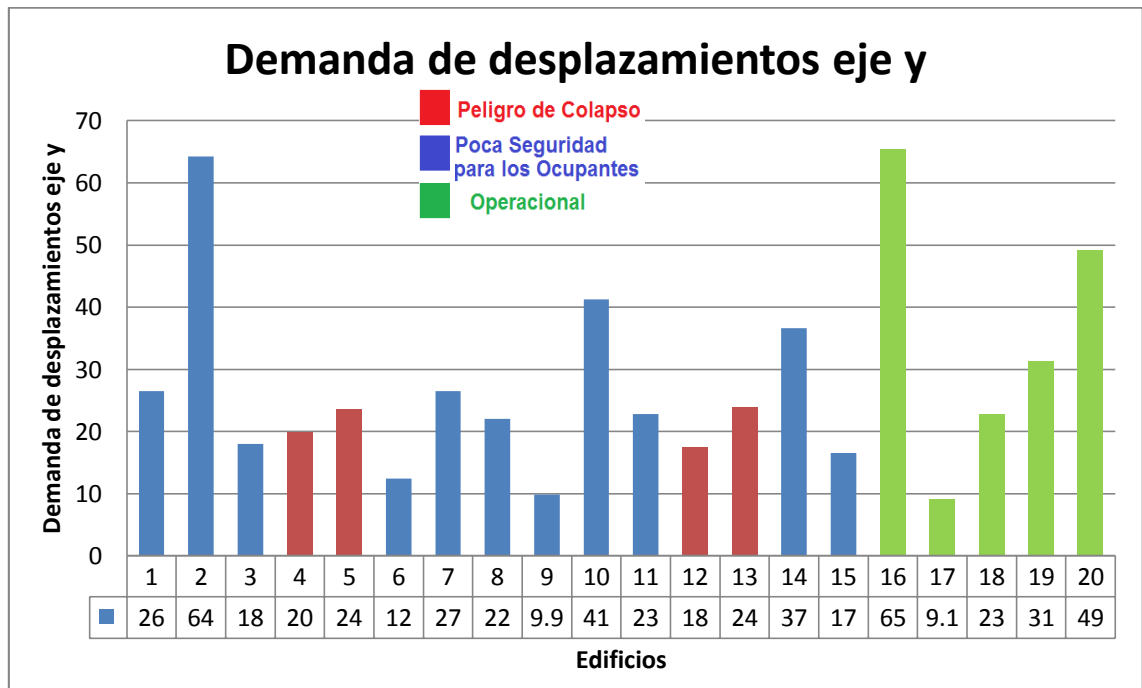


Figura 4.17 Desplazamientos de diseño en la dirección y

Promedios por rango de altura del edificio de la demanda de desplazamiento en el eje y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
menos de 10 pisos	-	9.86 (1)	9.1 (1)	9.5 (2)
11 a 14 pisos	20.44 (3)	17.02 (3)	22.72 (1)	19.3 (7)
15 a 18 pisos	23.57 (1)	34.91 (6)	40.21 (2)	34.82 (9)
más de 19 pisos	-	26.5 (1)	65.42 (1)	45.96 (2)
Promedios generales: Demanda de desplazamiento eje y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	21.22	26.99	35.52	27.97
Desviación estándar	3.08	15.56	22.14	16.04

**Tabla 4.19 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los desplazamientos de diseño en la dirección y, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio**

### **4.3 Análisis del diseño de los elementos dañados en los edificios según la normativa vigente**

#### **4.3.1 General**

En este apartado se presenta el análisis de la capacidad resistente y de desplazamiento de algunos de los elementos dañados en los edificios durante el sismo de Chile de 2010. Se verifica si los elementos cumplen con las demandas de resistencia de la normativa, tanto para el caso de flexo-compresión como para el corte. Se verifica además la capacidad de desplazamiento con respecto a la demanda definida en la normativa.

En el análisis se han considerado las disposiciones de la normativa chilena vigente de diseño sísmico, NCh433 Of.96 Mod 2009 y Decreto 61 de 2011, y de aquella de diseño de edificaciones de hormigón armado, NCh430 Of.2008 Mod.2009 complementada con el Decreto Supremo N°60 del 2011, documentos basados en el ACI 318S. Otras normas empleadas en este capítulo son la NCh1537 Of.2009 de cargas permanentes y sobrecargas de uso y la NCh3171 Of.2010 sobre disposiciones generales y combinaciones de carga.

## 4.3.2 Aspectos normativos

### 4.3.2.1 Combinaciones de cargas según NCh3171

Se consideraron las combinaciones de carga presentes en la norma de disposiciones generales y combinaciones de carga NCh3171 Of.2010.

En la tabla 4.20 se presenta las combinaciones de carga consideradas, donde D corresponde a cargas permanentes, L cargas de uso según NCh1537 y E solicitaciones sísmicas según NCh433 en ambas direcciones de análisis.

Combinación	D	L	EX	EY
1	1.4			
2	1.2	1.6		
3	1.2	1.0	1.4	
4	1.2	1.0		1.4
5	1.2	1.0		
6	0.9			
7	0.9		1.4	
8	0.9			1.4

Tabla 4.20 Combinaciones de carga según NCh3171

### 4.3.2.2 Capacidad de deformación del hormigón

Para el diseño, el código ACI 318s señala que se puede considerar la deformación unitaria del hormigón sin confinar como 0.003, y la de un hormigón correctamente confinado no mayor a 0.008. Para la verificación tanto del diagrama de interacción como del diagrama de momento curvatura, se considera una deformación unitaria del hormigón de 0.003 dado que ningún elemento analizado tiene un confinamiento apropiado.

### 4.3.2.3 Capacidad de deformación del acero

Se considera, para todos los casos, un acero de refuerzo de calidad A630-420H con  $f_y = 4200$  [Kgf/cm<sup>2</sup>]. Para la verificación del diseño según la normativa, la deformación unitaria de fluencia considerada es de 0.002 y la de ruptura 0.08.

### 4.3.2.4 Verificación de la capacidad de flexo-compresión

La capacidad en flexo-compresión de los muros se verifica mediante el diagrama de interacción momento flector-carga axial de las secciones de los muros. El diagrama de interacción describe la relación entre la carga axial que soporta una sección dada de un muro y el momento flector que es capaz de resistir dicha sección bajo esa carga axial. Esta relación dependerá de las dimensiones y la forma de la sección del muro, así como de la distribución del refuerzo y de la calidad de los materiales.

Para el análisis se consideraron los hormigones H30 con  $f'_c = 250$  [Kgf/cm<sup>2</sup>] y H25 con  $f'_c = 200$  [Kgf/cm<sup>2</sup>] según corresponde a los antecedentes de cada edificio.

Además de verificar que la resistencia sea adecuada para los pares M-N de las solicitaciones, se verifica el nivel de carga axial con respecto al límite normativo de 35% de la carga axial máxima (Decreto 60).

#### 4.3.2.5 Verificación de curvatura y requerimiento de confinamiento (Decreto 60)

Esta verificación se realiza para todos los muros con esbeltez  $H_t/l_w$  mayor o igual a 3, es decir, para todos los elementos considerados para el análisis. Esta verificación se debe hacer considerando la mayor carga axial  $P_u$  consistente con el desplazamiento de diseño. La expresión para determinar la curvatura última se extrae del Decreto 60 del 2011, en donde se presentan dos ecuaciones, la 21-7a y la 21-7b respectivamente. Para la verificación de la capacidad de curvatura se emplea la ecuación 21-7a mostrada más abajo.

$$\phi_u = \frac{2d_u}{H_t l_w} = \frac{\varepsilon_c}{c} \leq \frac{0.008}{c} \quad 21-7a$$

$$\phi_u = \frac{d_u - d_e}{l_p (H_t - \frac{l_p}{2})} + \phi_e = \frac{\varepsilon_c}{c} \leq \frac{0.008}{c} \quad 21-7b$$

Donde  $d_u$  es el desplazamiento de diseño,  $d_u = 1.3S_{de}(Tag)$ , valores obtenidos en la sección anterior de diseño sísmico.  $H_t$  es la distancia entre el último nivel significativo del edificio y la sección crítica.  $l_w$  es el largo del muro en la sección crítica.  $\varepsilon_c$  es la deformación unitaria última del hormigón, considerada como 0.003 en todos los casos.  $c$  es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro. El parámetro  $d_e$  corresponde al desplazamiento elástico lateral del elemento antes de la fluencia y  $\phi_e$  corresponde a la curvatura donde el elemento empieza a incursionar en el rango no lineal.  $l_p$  es el largo de la rótula plástica considerado como  $l_w/2$ .

Para determinar la capacidad de curvatura es necesario elaborar curvas de momento-curvatura con las consideraciones previamente descritas. Los elementos deben ser capaces de alcanzar la curvatura requerida por la normativa.

Si la sección sin confinamiento no es capaz de alcanzar la curvatura requerida con un  $\varepsilon_c = 0.003$ , entonces se debe confinar. Los requerimientos de detallamiento de confinamiento se describen en la NCh430 Of.2008 Mod.2009 y el DS N°60 del 2010.

#### 4.3.2.6 Verificación de la capacidad de corte (ACI 318S-08)

La capacidad de corte se determinó mediante la ecuación extraída del ACI 318S-08,

$$V_n = V_c + V_s = A_{cv}(\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \geq \frac{V_u}{\phi}$$

Donde  $V_c$  es la contribución del hormigón a la resistencia de corte y  $V_s$  es la contribución del refuerzo de acero a la resistencia de corte,  $V_s$  no debe ser mayor que  $2.2\sqrt{f'_c}b_w d$  ( $b_w$  es el ancho del muro y  $d = 0.8l_w$ , largo del muro)

La variable  $A_{cv}$  es el área bruta de la sección de hormigón limitada por el espesor del alma y la longitud de la sección en la dirección de la fuerza considerada (longitud considerada como  $0.8l_w$ ),  $\alpha_c$  es el cociente que depende de  $h_w/l_w$  (alto del muro dividido por el largo del mismo) y su valor en todos los casos es de 0.53,  $f'_c$  es la resistencia especificada del hormigón a la compresión,  $\rho_t$  es la cuantía de refuerzo transversal y  $f_y$  es la resistencia especificada a la fluencia del refuerzo.

La variable  $V_u$  corresponde al corte obtenido del análisis elástico con el espectro reducido y  $\phi = 0.6$  (factor de reducción de resistencia para el corte).

La capacidad de corte reducida debe ser mayor que la demanda obtenida del análisis. También se compara la capacidad de corte que aporta solo el acero  $V_s$  con la demanda de corte sin mayorar del análisis denominada para este caso como  $V_u'$ .

#### 4.3.2.7 Disposiciones mínimas del refuerzo (ACI 318S-08)

De acuerdo al ACI 318S-08 (21.9.2), las cuantías de refuerzo distribuido en el alma,  $\rho_l$  y  $\rho_t$ , para muros estructurales no deben ser menores que 0.0025, excepto que si  $V_u$  no excede de  $0.25A_{cv}\sqrt{f'_c}$ , donde es posible reducirlo, dependiendo del tipo de refuerzo, entre 0.0012 y 0.0015 para el refuerzo longitudinal y entre 0.002 y 0.0025 para el refuerzo transversal. El espaciamiento del refuerzo en cada dirección en los muros no debe exceder de 45 [cm]. El refuerzo que contribuye a  $V_n$  debe ser continuo y estar distribuido a través del plano cortante.

Deben emplearse al menos dos capas de refuerzo cuando  $V_u$  exceda  $0.53A_{cv}\sqrt{f'_c}$ .

Para el caso de las columnas, la cuantía para el refuerzo longitudinal no debe ser menor que el 1% ni mayor al 6% del área de la sección bruta, y el refuerzo transversal debe separarse a no más de la cuarta parte de la dimensión mínima del elemento, seis veces el diámetro de la barra de refuerzo longitudinal menor, y según la ecuación 21-2 del ACI 318s donde no debiese ser mayor a 15 [cm].

#### 4.3.3 Elementos analizados

Para el análisis, se consideraron aquellos elementos que evidenciaron mayor cantidad de daños y de los que además se contaba con la información necesaria para los cálculos, esto es, la geometría y detalle de las armaduras.

La verificación del diseño de norma no pretende explicar las fallas sino sólo tener un indicador que ayude a entender lo que ocurrió.

Se analiza la sección crítica de trece elementos de diez edificios diferentes. Los elementos analizados son el N1-1, A3-1, A3-2, B4-3, B4-4, F5-1, M6-1, R10-2, R11-2, T12-2, T13-1, T13-4.2 y T15-1, mencionados en el Capítulo 3, donde la primera parte de la denominación, la que está antes del guión, corresponde al nombre del edificio, y el número luego del guión, es la numeración del elemento dañado en el edificio.

Se presenta el análisis de los elementos solamente en la dirección en donde se observa el daño.

Para el análisis se considera las disposiciones normativas descritas previamente de refuerzo mínimo, de capacidad a flexo-compresión, de capacidad de curvatura, de requerimiento de elemento de borde y de capacidad de corte.

### 4.3.3.1 Elemento N1-1

El edificio N1 se consideró con suelo D en zona 3.

El elemento N1- corresponde a una columna dañada en la parte superior del piso 1. El elemento soporta un muro de la fachada del piso 2.

- **Daño observado**

El elemento dañado y la ubicación de este en la planta del edificio se presentan en la figura 4.18.

La dimensión mayor de este elemento se encuentra en la dirección y del edificio.

El daño observado corresponde a desprendimiento de hormigón, el cual está concentrado predominantemente en una cara del elemento. El refuerzo longitudinal quedó expuesto y levemente curvado.

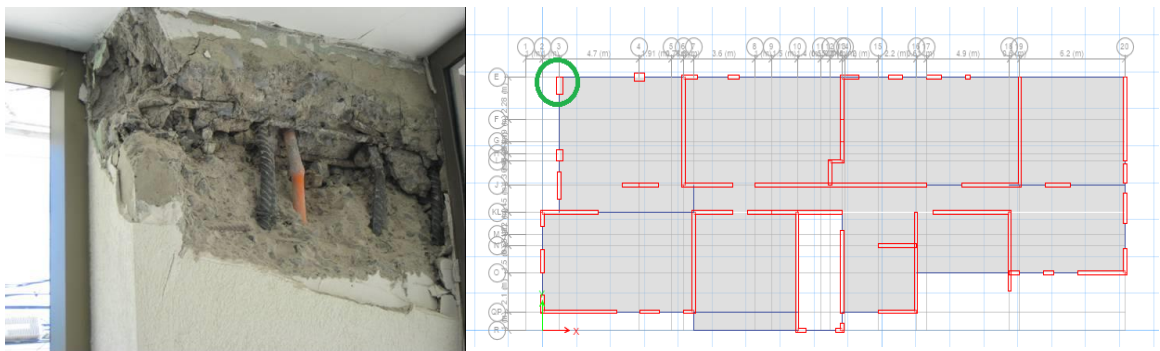


Figura 4.18 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento N1-1

- **Parámetros del elemento para el análisis**

Los parámetros del elemento, necesario para los cálculos, se presentan en la tabla 4.21.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Orientación principal c/r al edificio	-	Dirección y	-
Largo en la dirección del análisis	lw	95	[cm]
Espesor	bw	40	[cm]
Altura, sección crítica-último piso	H'w	41	[m]
Demanda de desplazamiento eje y	d'u	26	[cm]
Resistencia del hormigón	f'c (H30)	250	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia del acero a la fluencia	f'y	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

Tabla 4.21 Parámetros para el elemento N1-1

- **Disposiciones mínimas del refuerzo**

La distribución del refuerzo se puede observar en la figura 4.19. La verificación del cumplimiento de los requerimientos mínimos de armaduras se presenta en la tabla 4.22, donde se cumple la cuantía longitudinal y transversal mínimas, sin embargo, el refuerzo transversal para el confinamiento no está correctamente separado, por lo que no existe un confinamiento efectivo.

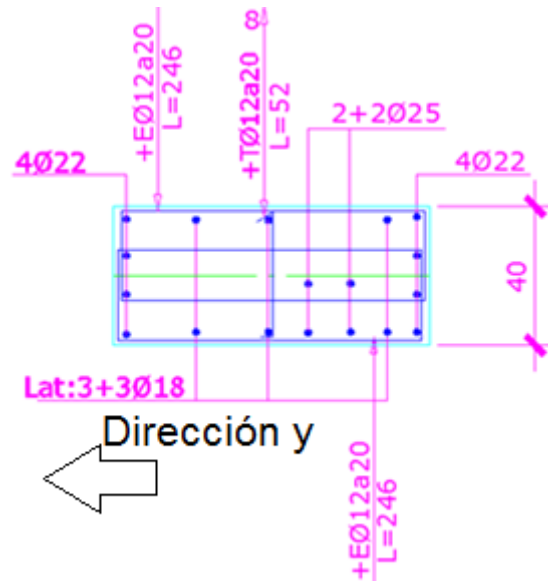


Figura 4.19 Detalle de armaduras del elemento N1-1

Cuantías					
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Usada	Mínima	Verificación
Cuantía longitudinal columna	$\rho_l$	%	1.72	1	Ok
Cuantía refuerzo transversal	$\rho_t$	%	0.28	0.25	Ok

Confinamiento según orientación de la figura 4.22					
Espaciamientos transversales					
Extremo	Nomenclatura	Usada	Máxima	Verificación	$\epsilon_c$ a usar
Derecho	So	20 [cm]	15	No conforme	0.003
Izquierdo	So	20 [cm]	15	No conforme	0.003

Tabla 4.22 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento N1-1

- **Verificación de flexo-compresión**

La figura 4.20 muestra el diagrama de interacción del elemento N1-1, se observa que existen puntos que se escapan fuera del diagrama, sobretodo en la parte inferior donde el elemento trabaja a tracción, además se sobrepasa la carga axial máxima  $P_{m\acute{a}x}$ .

Consideraciones:  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

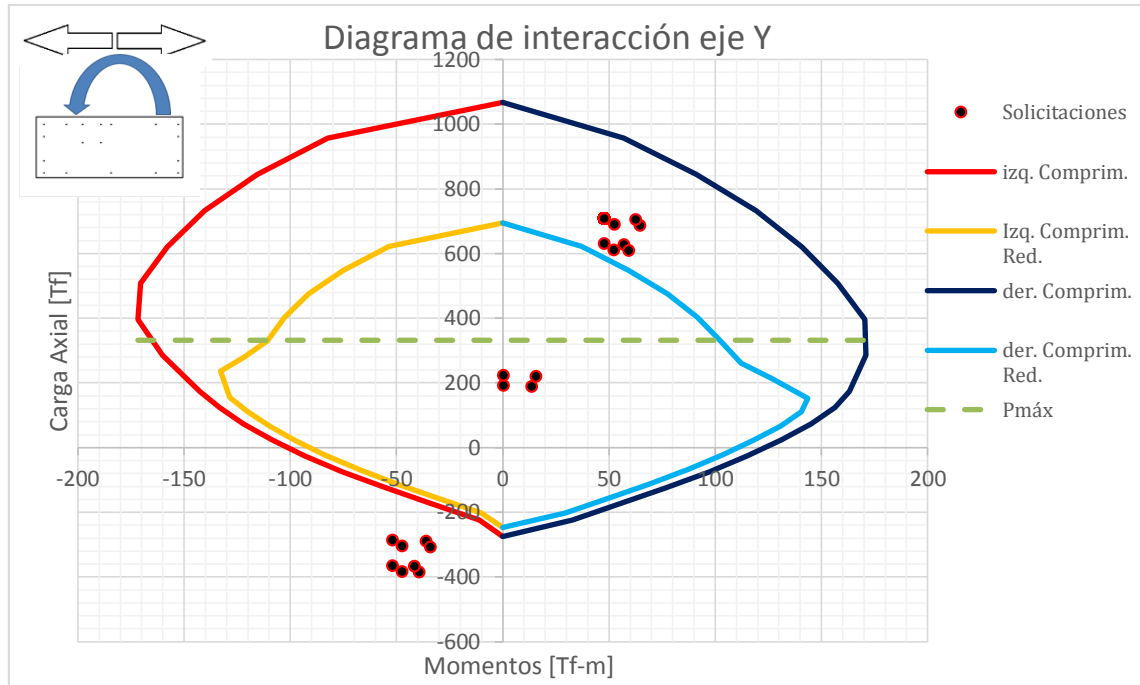


Figura 4.20 Diagrama de interacción del elemento N1-1

- **Verificación de Curvatura**

La figura 4.21 muestra el diagrama de momento curvatura del elemento N1-1 y la tabla 4.23 la verificación de la curvatura, donde se observa que la capacidad del elemento es insuficiente para alcanzar la demanda, hay que destacar que la demanda de curvatura no es tan válida para las columnas ya que la deformación de éstas es principalmente elástica, y la ecuación considerada para el cálculo de  $\phi_u$  es la 21-7a, la cual no considera el aporte de la elástica.

Consideraciones:  $P_u=708$  [Tf]  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

$\phi_u$	Según figura 4.21		Verificación $\phi_n > \phi_u$	
	$\phi_n$ -izquierda	$\phi_n$ -derecha	izquierda	derecha
1.34E-04	4.00E-05	3.80E-05	Insuficiente	Insuficiente

Tabla 4.23 Verificación de la curvatura en elemento A3-2

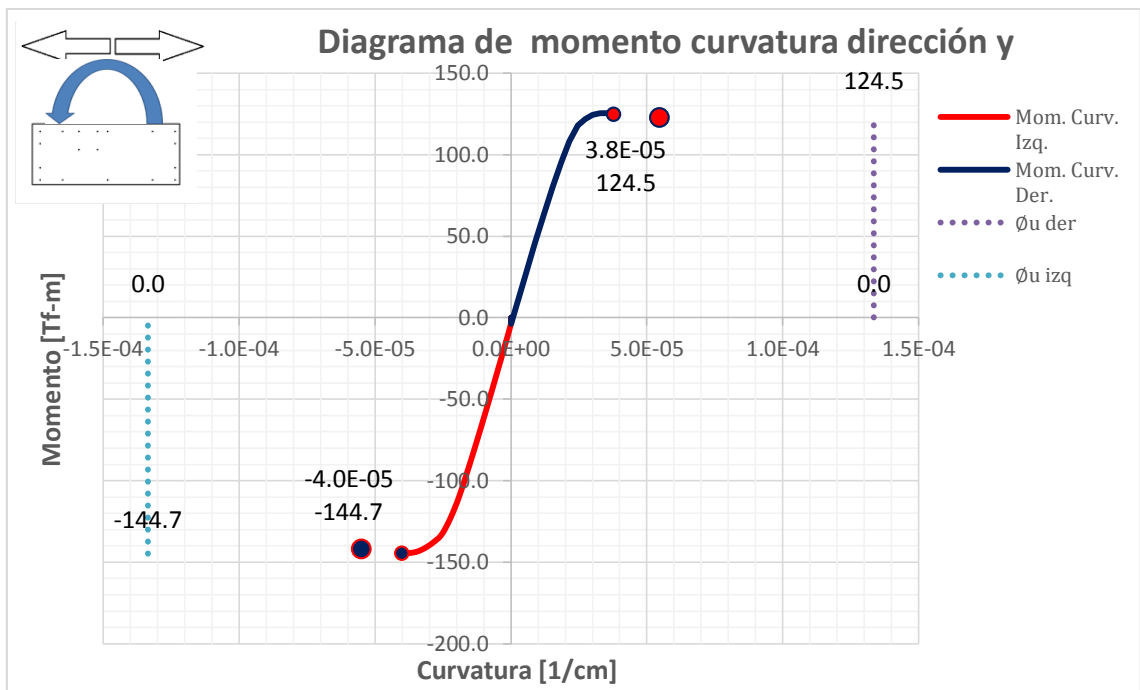


Figura 4.21 Diagrama de momento curvatura del elemento N1-1

- **Verificación de requerimiento de elemento de borde**

En la tabla 4.23 se presenta la verificación del requerimiento de elemento de borde, donde C es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro,  $C_{lim}$  es el límite definido por la norma y  $C_c$  la profundidad del confinamiento. El elemento necesita ser confinado 50 [cm] en un extremo y 54 [cm] en el otro. Las consideraciones para este análisis son las mismas que para el diagrama de momento curvatura.

Extremo según figura 4.20 y 4.21	C	$C_{lim}$	$C_c$	Unidades
Izquierdo	74.9	25.0	50.0	[cm]
Derecho	78.9	25.0	53.9	[cm]

Tabla 4.24 Verificación de requerimiento de elemento de borde elemento N1-1

- **Verificación de la capacidad de corte**

La tabla 4.25 contiene los datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento N1-1 y la tabla 4.26 contiene los resultados de la verificación. En la tabla 4.26,  $V_u'$  es el corte del análisis no mayorado por los factores, el cual se compara con  $V_s$  que es la contribución del refuerzo al corte, esta verificación no es de la norma. Se tiene que  $V_c$  es la contribución del hormigón,  $V_n$  es la resistencia nominal al corte y  $V_{S_{máx}}$  es el límite superior de  $V_s$ . Se observa que se cumplen todos los criterios evaluados.

Consideraciones:  $f'c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

Diámetro del Refuerzo	Separación	Ramas	Área acero/separación	Largo efectivo	Ancho efectivo	Área bruta	Factor de reducción
$\phi$ [mm]	s [cm]	N°	Ash/s	$d=0.8lw$ [cm]	bw [cm]	Acv [cm <sup>2</sup> ]	$\phi$
12	20	4	0.23	76.0	40	3040	0.6

Tabla 4.25 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento N1-1

$Vu'$ [Tf]	$Vs$ [Tf]	$Vs > Vu'$	$Vc$ [Tf]	$Vu$ [Tf]	$\phi Vn$	$\phi Vn > Vu$	$Vs_{m\acute{a}x}$ [Tf]	$Vs_{m\acute{a}x} > Vs$
36.2	72.16	Ok	25.5	43.1	58.6	Ok	105.7	Ok

Tabla 4.26 Resultados de la verificación del corte del elemento N1-1

### 4.3.3.2 Elemento A3-1

El edificio A3 se consideró con suelo C en zona 3.

El elemento A3-1 corresponde a un muro dañado en la parte inferior del primer piso.

- **Daño observado**

El elemento dañado y la ubicación de este en la planta del edificio se presentan en la figura 4.22.

La dirección principal de la sección de muro dañada es la dirección y del edificio.

El daño observado corresponde a un aplastamiento de hormigón en el borde del muro, esto acompañado de una desintegración del hormigón y pandeo del refuerzo longitudinal.

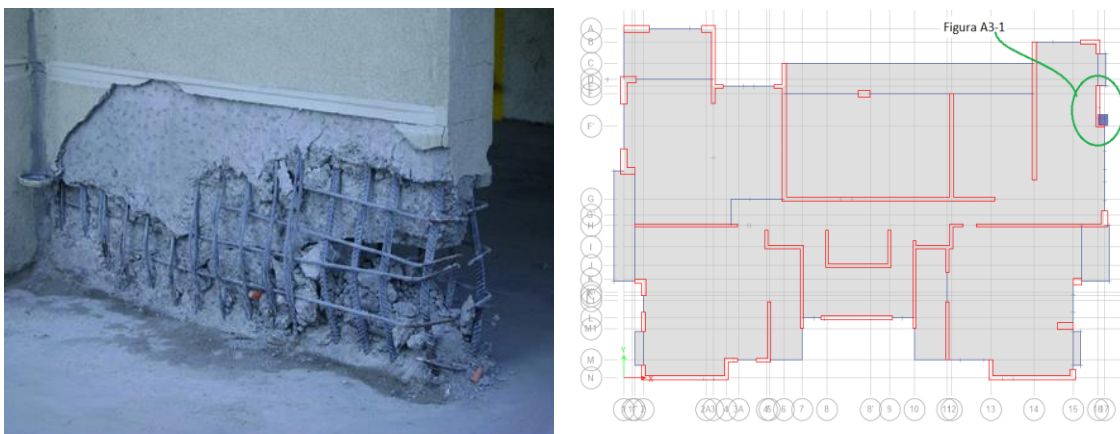


Figura 4.22 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento A3-1

- **Parámetros del elemento para el análisis**

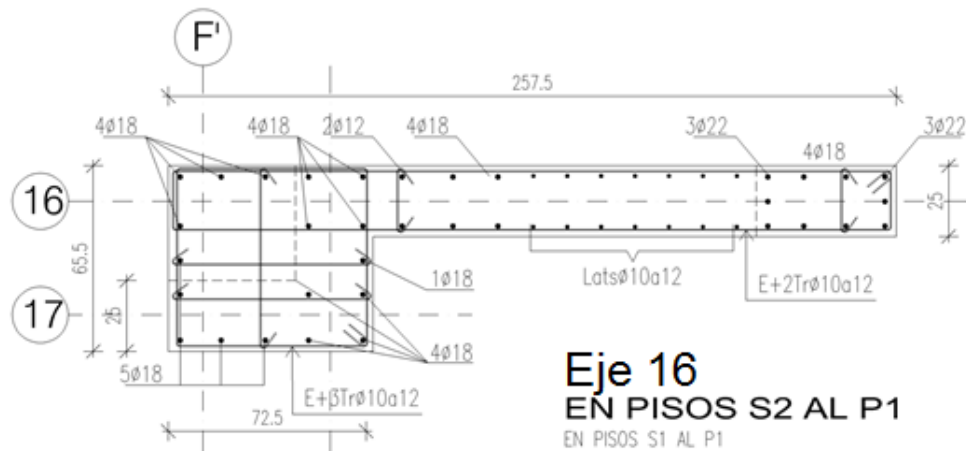
Los parámetros del elemento en el sentido del borde dañado, se presentan en la tabla 4.27.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Orientación principal c/r al edificio	-	Dirección y	-
Largo total en la dirección del análisis	lw	257.5	[cm]
Espesor, segmento dañado	bw	25	[cm]
Altura, sección crítica-último piso	H'w	41	[m]
Demanda de desplazamiento eje y	d'u	18	[cm]
Resistencia del hormigón	f'c (H30)	250	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia del acero a la fluencia	f'y	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

**Tabla 4.27 Parámetros para el elemento A3-1**

- **Disposiciones mínimas del refuerzo**

La distribución del refuerzo se puede observar en la figura 4.23. La verificación del cumplimiento de los requerimientos mínimos de armaduras se presenta en la tabla 4.28, donde se cumple la cuantía longitudinal y transversal mínima. El refuerzo transversal de confinamiento tiene una separación longitudinal apropiada, sin embargo, no parece estar extendido lo suficiente en profundidad. Se considera  $\epsilon_c=0.003$ .



**Figura 4.23 Detalle de armaduras del elemento A3-1**

Cuantías					
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Usada	Mínima	Verificación
Cuantía longitudinal muro	$\rho_l$	%	1.07	0.25	Ok
Cuantía refuerzo transversal	$\rho_t$	%	0.52	0.25	Ok

Confinamiento según orientación de la figura 4.23					
Espaciamientos transversales					
Extremo	Nomenclatura	Usada	Máxima	Verificación	$\epsilon_c$ a usar
Derecho	So [cm]	12	15	Ok	0.003
Izquierdo	So [cm]	12	15	Ok	0.003

Tabla 4.28 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento A3-1

- Verificación de flexo-compresión

La figura 4.24 muestra el diagrama de interacción del elemento A3-1, se observa que existe un punto que se escapa levemente del diagrama, los demás puntos quedan dentro y por bajo  $P_{m\acute{a}x}$ .

Consideraciones:  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

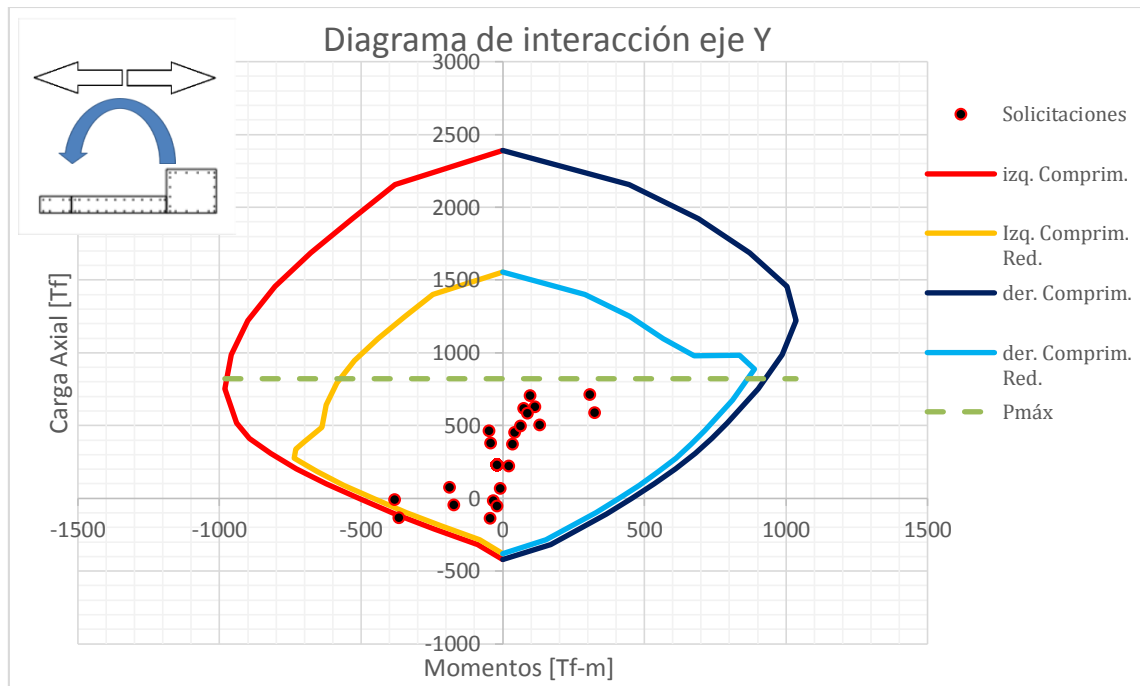


Figura 4.24 Diagrama de interacción del elemento A3-1

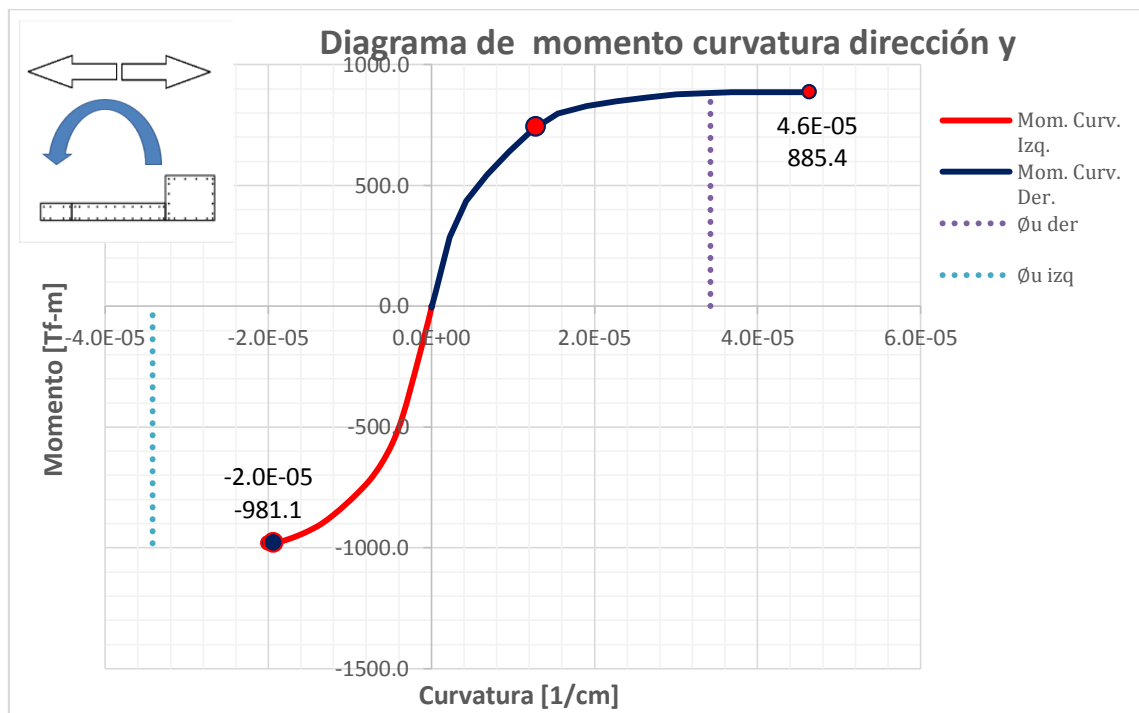
- **Verificación de Curvatura**

La figura 4.25 muestra el diagrama de momento curvatura del elemento A3-1 y la tabla 4.29 la verificación de la curvatura, donde se observa que la capacidad del elemento es insuficiente para alcanzar la demanda cuando este mismo se comprime hacia su lado de menor espesor.

Consideraciones:  $P_u=711$  [Tf]  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

	Según figura 4.29		Verificación $\phi_n > \phi_u$	
$\phi_u$	$\phi_n$ -izquierda	$\phi_n$ -derecha	izquierda	derecha
3.42E-05	2.00E-05	4.64E-05	Insuficiente	Ok

**Tabla 4.29 Verificación de la curvatura en elemento A3-2**



**Figura 4.25 Diagrama de momento curvatura del elemento A3-1**

- **Verificación de requerimiento de elemento de borde**

En la tabla 4.30 se presenta la verificación del requerimiento de elemento de borde, donde  $C$  es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro,  $C_{lim}$  es el límite definido por la norma y  $C_c$  la profundidad del confinamiento. El elemento necesita ser confinado una profundidad de 53 [cm] en el extremo de menor espesor y fue confinado solo 20 [cm], por tanto no es suficiente. Las consideraciones para este análisis son las mismas que para el diagrama de momento curvatura.

Extremo según Figuras 4.24 y 4.25	C	Clim	Cc	Unidades
Izquierdo	149.9	97.4	52.5	[cm]
Derecho	64.7	97.4	0.0	[cm]

**Tabla 4.30 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento A3-1**

- **Verificación de la capacidad de corte**

La tabla 4.31 contiene los datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento A3-1 y la tabla 4.32 contiene los resultados de la verificación. En la tabla 4.32,  $Vu'$  es el corte del análisis no mayorado por los factores, el cual se compara con  $Vs$  que es la contribución del refuerzo al corte, esta verificación no es de la norma. Se tiene que  $Vu$  es aquel corte que está mayorado,  $Vc$  es la contribución del hormigón a la resistencia de corte,  $Vn$  es la resistencia nominal de corte y  $V_{Smáx}$  es el límite superior de  $Vs$ .

Se observa que la capacidad de corte del elemento no supera la demanda, por lo tanto, es insuficiente, y el criterio de  $Vs > Vu'$  tampoco se cumple.

Consideraciones:  $f'c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $fy=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

Diámetro del Refuerzo	Separación	Ramas	Área acero/separación	Largo efectivo	Ancho efectivo	Área bruta	Factor de reducción
$\phi$ [mm]	s [cm]	N°	Ash/s	$d=0.8lw$ [cm]	bw [cm]	Acv [cm <sup>2</sup> ]	$\phi$
12	12	2	0.13	206.0	25	5150	0.6

**Tabla 4.31 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento A3-1**

$Vu'$ [Tf]	$Vs$ [Tf]	$Vs > Vu'$	$Vc$ [Tf]	$Vu$ [Tf]	$\phi Vn$	$\phi Vn > Vu$	$V_{Smáx}$ [Tf]	$V_{Smáx} > Vs$
148.4	113.20	No-Conforme	43.2	176.6	93.8	No-Conforme	179.1	Ok

**Tabla 4.32 Resultados de la verificación del corte del elemento A3-1**

### 4.3.3.3 Elemento A3-2

El edificio A3 se consideró con suelo C en zona 3.

El elemento A3-2 corresponde a un muro dañado en la parte superior del primer subterráneo.

- **Daño observado**

El elemento dañado y la ubicación de este en la planta del edificio se presentan en la figura 4.26.

La dirección principal de la sección de muro dañada es la dirección y del edificio.

El daño observado corresponde a un aplastamiento de hormigón en el borde del muro, justo en la unión de este con una viga, se observa una desintegración del hormigón y pandeo del refuerzo longitudinal.

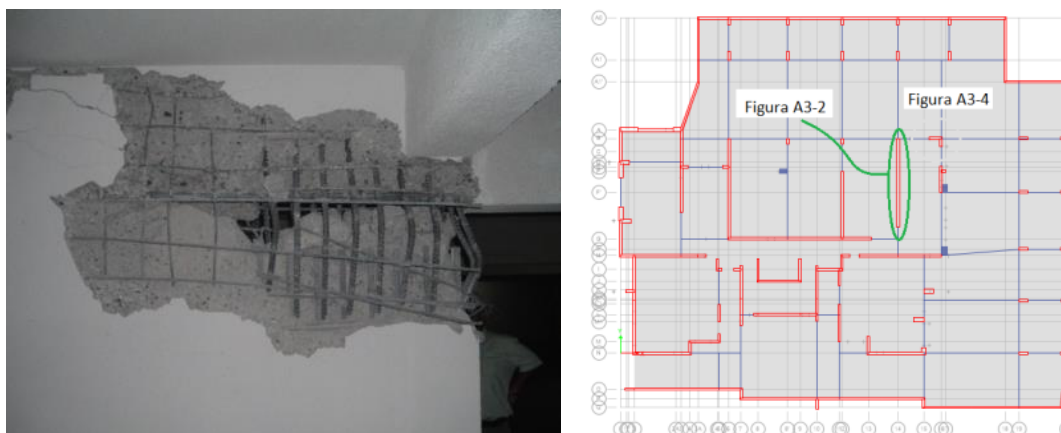


Figura 4.26 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento A3-2

- **Parámetros del elemento para el análisis**

Los parámetros del elemento en el sentido del borde dañado, se presentan en la tabla 4.33.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Orientación principal c/r al edificio	-	Dirección y	-
Largo total en la dirección del análisis	lw	800	[cm]
Espesor, segmento dañado	bw	30	[cm]
Altura, sección crítica-último piso	H'w	41	[m]
Demanda de desplazamiento eje y	d'u	18	[cm]
Resistencia del hormigón	f'c (H30)	250	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia del acero a la fluencia	f'y	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

Tabla 4.33 Parámetros para el elemento A3-2

- **Disposiciones mínimas del refuerzo**

La distribución del refuerzo se puede observar en la figura 4.27. La verificación del cumplimiento de los requerimientos mínimos de armaduras se presenta en la tabla 4.34, donde se cumple la cuantía longitudinal y transversal mínima, existe un confinamiento apropiado, sin embargo igualmente se considera  $\epsilon_c=0.003$ .

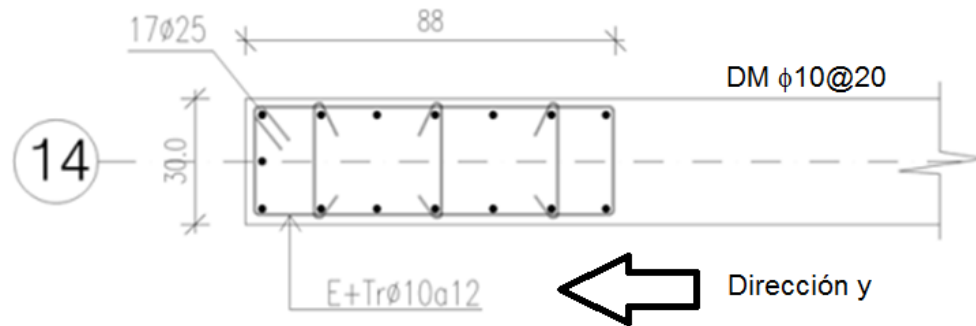


Figura 4.27 Detalle de armaduras del elemento A3-2

Cuantías					
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Usada	Mínima	Verificación
Cuantía longitudinal muro	$\rho_l$	%	1.07	0.25	Ok
Cuantía refuerzo transversal	$\rho_t$	%	0.52	0.25	Ok

Confinamiento según orientación de la figura 4.27					
Espaciamientos transversales					
Extremo	Nomenclatura	Usada	Máxima	Verificación	$\epsilon_c$ a usar
Derecho	So [cm]	12	15	Ok	0.003
Izquierdo	So [cm]	12	15	Ok	0.003

Tabla 4.34 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento A3-2

- **Verificación de flexo-compresión**

La figura 4.28 muestra el diagrama de interacción del elemento A3-1, se observa que existen dos puntos que están al borde del diagrama, los demás puntos quedan dentro y por bajo  $P_{máx}$ .

Consideraciones:  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

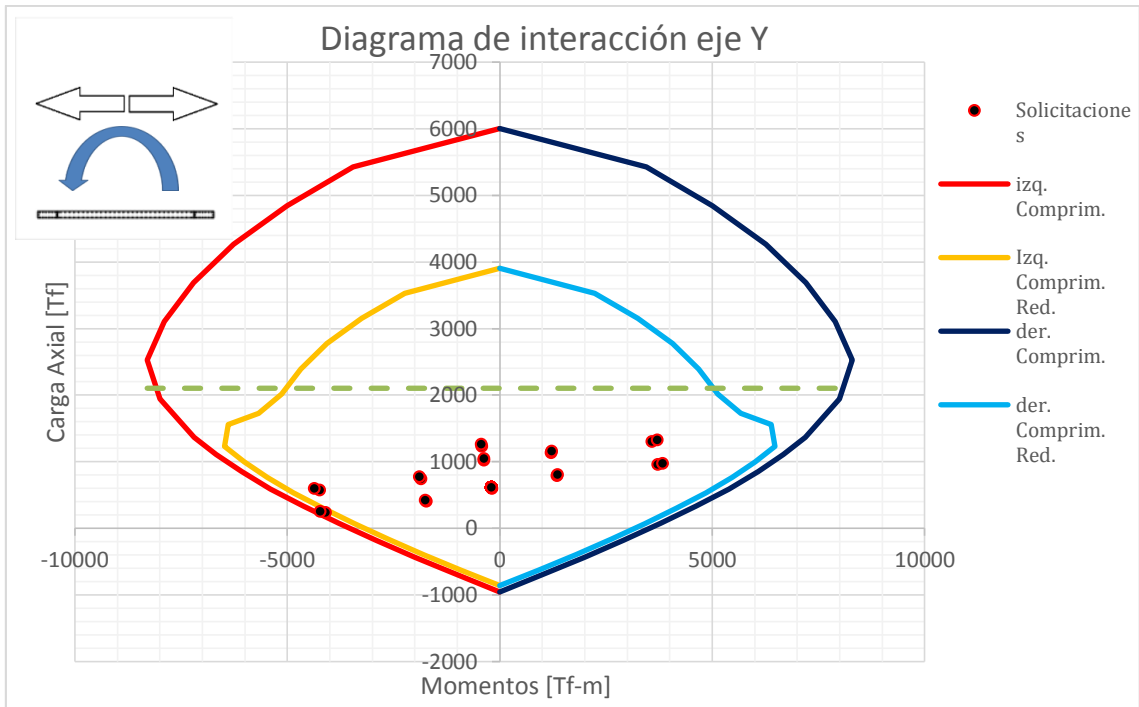


Figura 4.28 Diagrama de interacción del elemento A3-1

- **Verificación de Curvatura**

La figura 4.25 muestra el diagrama de momento curvatura y la tabla 4.35 contiene la verificación de la curvatura en el elemento A3-2, donde se observa que la capacidad del elemento es suficiente para la demanda en ambas direcciones.

Consideraciones:  $P_u=1325.7$  [Tf]  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

$\phi_u$	Según figura 4.29		Verificación $\phi n > \phi_u$	
	$\phi n$ -izquierda	$\phi n$ -derecha	izquierda	derecha
1.10E-05	1.19E-05	1.19E-05	Ok	Ok

Tabla 4.35 Verificación de la curvatura en elemento A3-2

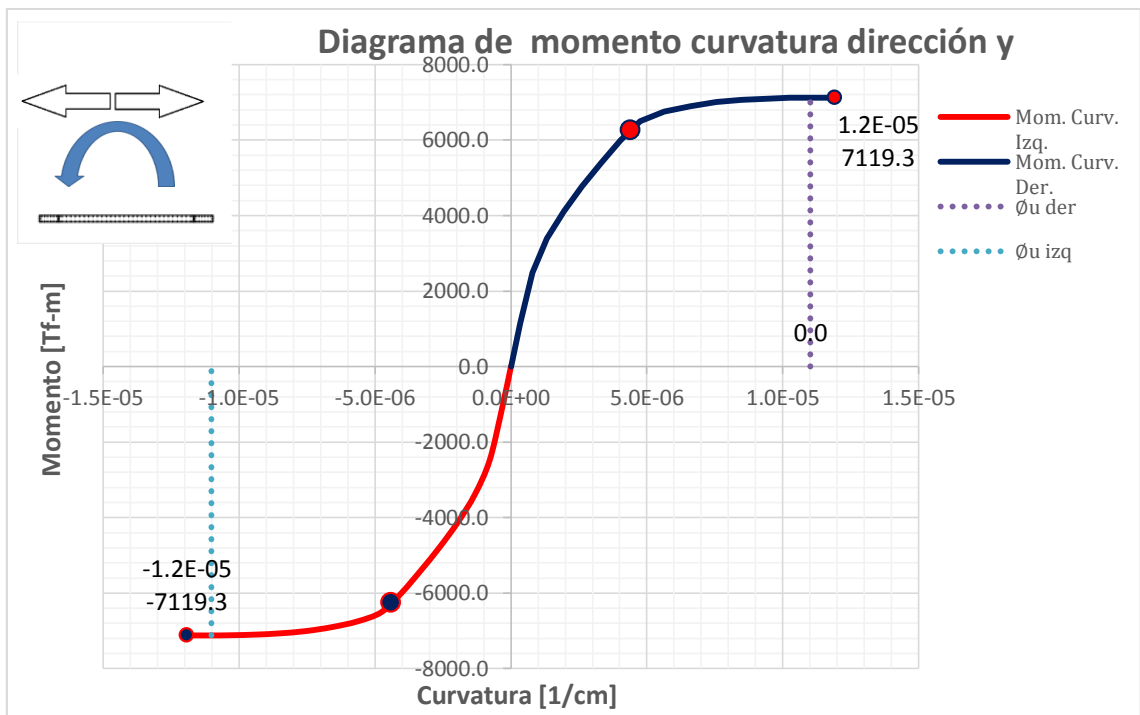


Figura 4.29 Diagrama de momento curvatura del elemento A3-2

- **Verificación de requerimiento de elemento de borde**

En la tabla 4.36 se presenta la verificación del requerimiento de elemento de borde, donde C es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro, Clim es el límite definido por la norma y Cc la profundidad del confinamiento. Se observa que el elemento no necesita confinamiento.

Extremo según figura 4.28 y 4.29	C	Clim	Cc	Unidades
Izquierdo	251.7	302.7	0.0	[cm]
Derecho	251.7	302.7	0.0	[cm]

Tabla 4.36 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento A3-2

- **Verificación de la capacidad de corte**

La tabla 4.37 contiene los datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento A3-2 y la tabla 4.38 contiene los resultados de la verificación. En la tabla 4.37, Vu' es el corte del análisis no mayorado por los factores, el cual se compara con Vs que es la contribución del refuerzo al corte, esta verificación no es de la norma. Se tiene que Vu es aquel corte que está mayorado, Vc es la contribución del hormigón a la resistencia de corte, Vn es la resistencia nominal de corte y Vs<sub>máx</sub> es el límite superior de Vs.

Se cumplen todos los criterios de la norma evaluados.

Consideraciones:  $f'c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

Diámetro del Refuerzo	Separación	Ramas	Área acero/separación	Largo efectivo	Ancho efectivo	Área bruta	Factor de reducción
$\phi$ [mm]	s [cm]	N°	Ash/s	$d=0.8lw$ [cm]	bw [cm]	Acv [cm <sup>2</sup> ]	$\phi$
10	20	2	0.08	640.0	30	19200	0.6

**Tabla 4.37 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento A3-2**

$Vu'$ [Tf]	$Vs$ [Tf]	$Vs>Vu'$	$Vc$ [Tf]	$Vu$ [Tf]	$\phi Vn$	$\phi Vn>Vu$	$V_{Sm\acute{a}x}$ [Tf]	$V_{Sm\acute{a}x}>Vs$
71.7	211.01	Ok	160.9	85.3	223.1	Ok	667.9	Ok

**Tabla 4.38 Resultados de la verificación del corte del elemento A3-2**

#### 4.3.3.4 Elemento B4-3

El edificio A3 se consideró con suelo D en zona 3.

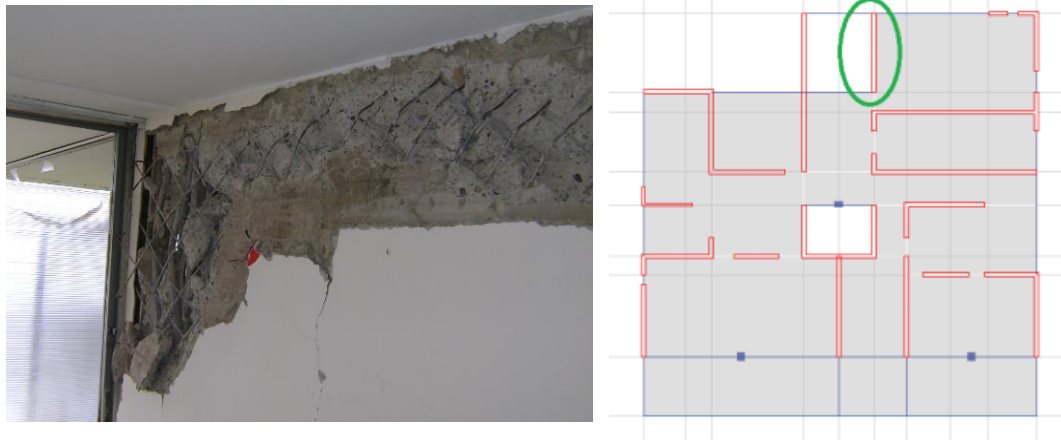
El elemento B4-3 corresponde a un muro dañado en la parte superior del primer piso.

- **Daño observado**

El elemento dañado y la ubicación de este en la planta del edificio se presentan en la figura 4.30.

La dirección principal de la sección de muro dañada es la dirección y del edificio.

El daño observado corresponde a un aplastamiento de hormigón en el borde del muro acompañado de una desintegración del hormigón y pandeo del refuerzo longitudinal. También se observa descascaramiento de hormigón en una franja horizontal en la parte superior del muro.



**Figura 4.30 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento B4-3**

- **Parámetros del elemento para el análisis**

Los parámetros del elemento en el sentido del borde dañado, se presentan en la tabla 4.39.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Orientación principal c/r al edificio	-	Dirección y	-
Largo total en la dirección del análisis	lw	380	[cm]
Espesor, segmento dañado	bw	20	[cm]
Altura, sección crítica-último piso	H'w	24.8	[m]
Demanda de desplazamiento eje y	d'u	19.8	[cm]
Resistencia del hormigón	f'c (H25)	200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia del acero a la fluencia	f'y	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

Tabla 4.39 Parámetros para el elemento B4-3

- **Disposiciones mínimas del refuerzo**

La distribución del refuerzo se puede observar en la figura 4.31. La verificación del cumplimiento de los requerimientos mínimos de armaduras se presenta en la tabla 4.40, donde se cumple la cuantía longitudinal y transversal mínima. No existe confinamiento. Se considera  $\epsilon_c=0.003$ .

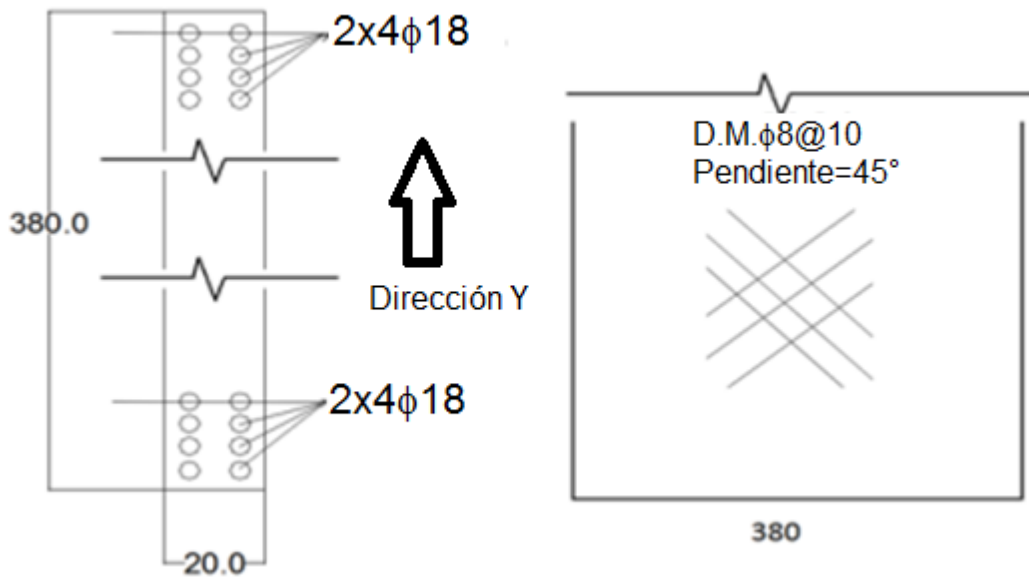


Figura 4.31 Detalle de armaduras del elemento B4-3, corte transversal y elevación

Cuantías					
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Usada	Mínima	Verificación
Cuantía longitudinal muro	$\rho_l$	%	0.91	0.25	Ok
Cuantía refuerzo transversal	$\rho_t$	%	0.50	0.25	Ok

Confinamiento según orientación de la figura 4.27					
Espaciamientos transversales					
Extremo	Nomenclatura	Usada	Máxima	Verificación	$\epsilon_c$ a usar
Superior	So [cm]	-	15	Insuficiente	0.003
Inferior	So [cm]	-	15	Insuficiente	0.003

Tabla 4.40 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento B4-3

- **Verificación de flexo-compresión**

La figura 4.32 muestra el diagrama de interacción del elemento B4-3, se observa que existen puntos que están por debajo del diagrama, en la zona de falla por tracción, los demás puntos quedan dentro y prácticamente por debajo de  $P_{m\acute{a}x}$ .

Consideraciones:  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'c=200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

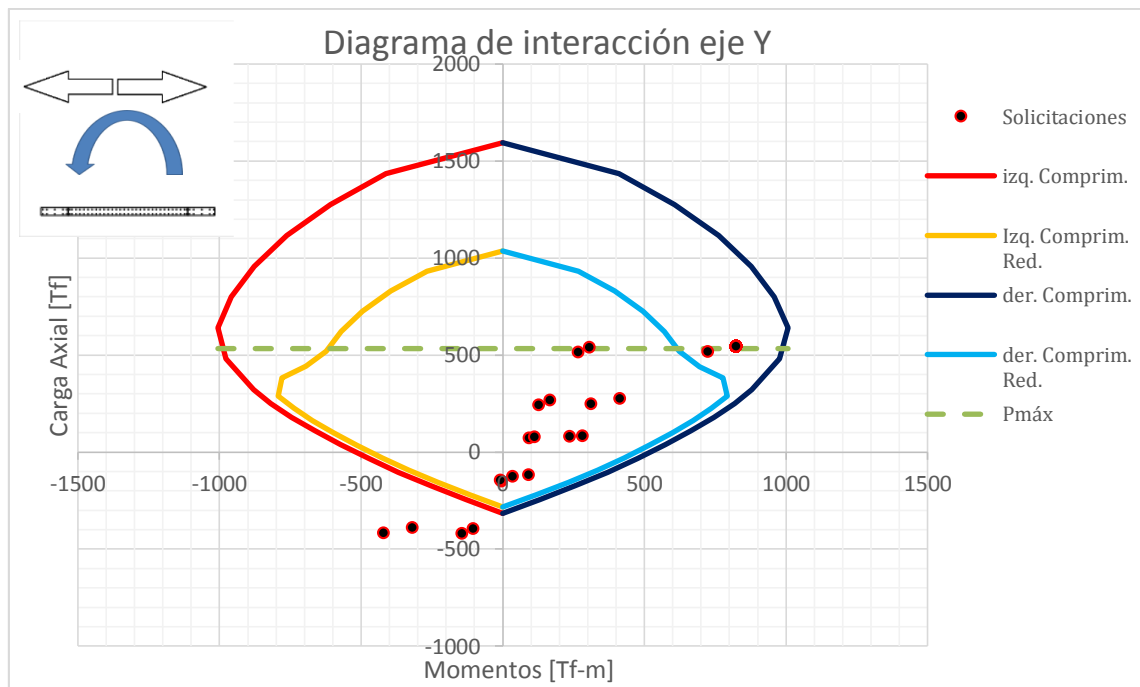


Figura 4.32 Diagrama de interacción del elemento B4-3

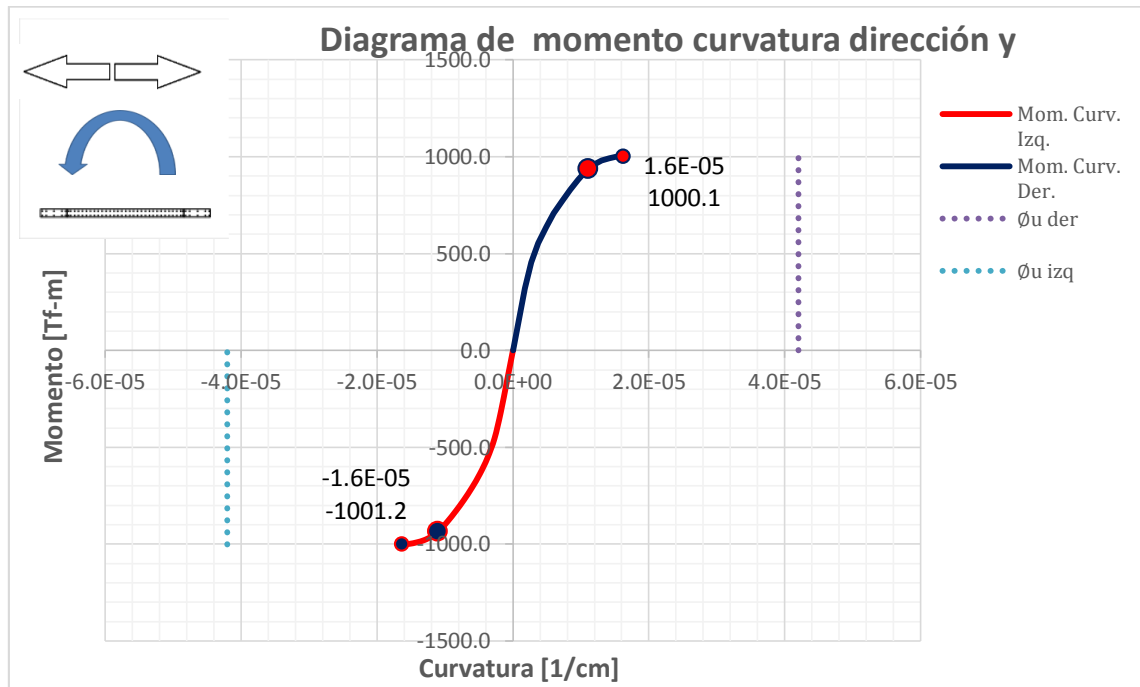
- **Verificación de Curvatura**

La figura 4.33 muestra el diagrama de momento curvatura y la tabla 4.41 contiene la verificación de la curvatura en el elemento B4-3, donde se observa que la capacidad del elemento es insuficiente para la demanda en ambas direcciones.

Consideraciones:  $P_u=547$  [Tf]  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

$\phi_u$	Según figura 4.33		Verificación $\phi n > \phi_u$	
	$\phi_n$ -izquierda	$\phi_n$ -derecha	izquierda	derecha
4.21E-05	1.63E-05	1.63E-05	Insuficiente	Insuficiente

**Tabla 4.41 Verificación de la curvatura en elemento B4-3**



**Figura 4.33 Diagrama de momento curvatura del elemento B4-3**

- **Verificación de requerimiento de elemento de borde**

En la tabla 4.42 se presenta la verificación del requerimiento de elemento de borde, donde  $C$  es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro,  $C_{lim}$  es el límite definido por la norma y  $C_c$  la profundidad del confinamiento. El elemento no posee confinamiento, y este requiere casi 100 [cm] de confinamiento a cada lado.

Extremo según figura 4.32 y 4.33	C	Clim	Cc	Unidades
Izquierdo	183.7	79.2	104.5	[cm]
Derecho	184.0	79.2	104.8	[cm]

**Tabla 4.42 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento B4-3**

- **Verificación de la capacidad de corte**

La tabla 4.43 contiene los datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento B4-3 y la tabla 4.44 contiene los resultados de la verificación. En la tabla 4.43,  $Vu'$  es el corte del análisis no mayorado por los factores, el cual se compara con  $Vs$  que es la contribución del refuerzo al corte, esta verificación no es de la norma. Se tiene que  $Vu$  es aquel corte que está mayorado,  $Vc$  es la contribución del hormigón a la resistencia de corte,  $Vn$  es la resistencia nominal de corte y  $V_{Smáx}$  es el límite superior de  $Vs$ .

Se observa que la capacidad de corte del elemento no supera la demanda, por lo tanto, es insuficiente. El criterio de  $Vs > Vu'$  tampoco se cumple.

Consideraciones:  $f'c=200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $fy=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

Diámetro del Refuerzo	Separación	Ramas	Área acero/separación	Largo efectivo	Ancho efectivo	Área bruta	Factor de reducción
$\phi$ [mm]	s [cm]	N°	Ash/s	$d=0.8lw$ [cm]	bw [cm]	Acv [cm <sup>2</sup> ]	$\phi$
8	10	2	0.10	304.0	20	6080	0.6

**Tabla 4.43 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento B4-3**

$Vu'$ [Tf]	$Vs$ [Tf]	$Vs > Vu'$	$Vc$ [Tf]	$Vu$ [Tf]	$\phi Vn$	$\phi Vn > Vu$	$V_{Smáx}$ [Tf]	$V_{Smáx} > Vs$
158.8	128.29	No-Conforme	45.6	189.0	104.3	No-Conforme	189.2	Ok

**Tabla 4.44 Resultados de la verificación del corte del elemento B4-3**

#### 4.3.3.5 Elemento B4-4

El edificio A3 se consideró con suelo D en zona 3.

El elemento B4-4 corresponde a un muro dañado en la parte superior del primer piso.

- **Daño observado**

El elemento dañado y la ubicación de este en la planta del edificio se presentan en la figura 4.34.

La dirección principal de la sección de muro dañada es la dirección y del edificio.

El daño observado corresponde a un aplastamiento de hormigón en el borde del muro acompañado de una desintegración del hormigón. También se observa una grieta horizontal y descascaramiento de hormigón en una franja en el alma del muro.

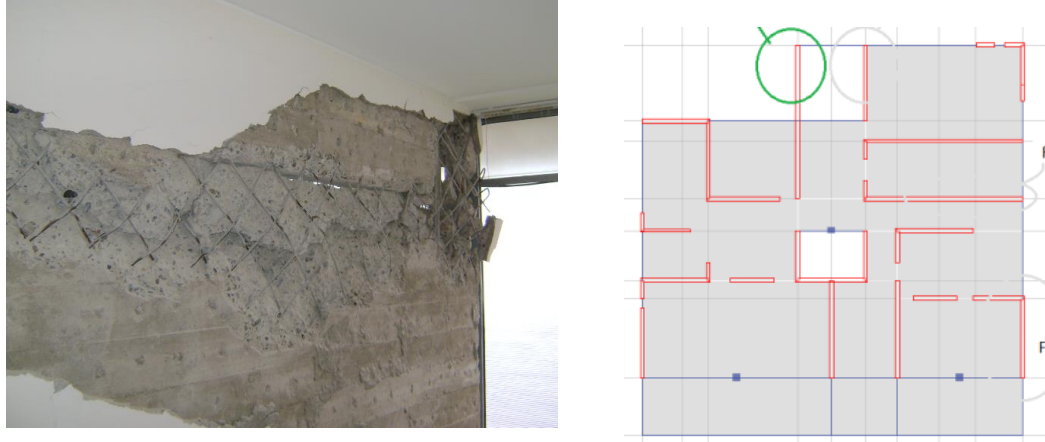


Figura 4.34 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento B4-4

- **Parámetros del elemento para el análisis**

Los parámetros del elemento en el sentido del borde dañado, se presentan en la tabla 4.45.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Orientación principal c/r al edificio	-	Dirección y	-
Largo total en la dirección del análisis	lw	770	[cm]
Espesor, segmento dañado	bw	20	[cm]
Altura, sección crítica-último piso	H'w	24.8	[m]
Demanda de desplazamiento eje y	d'u	19.8	[cm]
Resistencia del hormigón	f'c (H25)	200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia del acero a la fluencia	f'y	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

Tabla 4.45 Parámetros para el elemento B4-4

- **Disposiciones mínimas del refuerzo**

La distribución del refuerzo se puede observar en la figura 4.35. La verificación del cumplimiento de los requerimientos mínimos de armaduras se presenta en la tabla 4.46, donde se cumple la cuantía longitudinal y transversal mínima. No existe confinamiento. Se considera  $\epsilon_c=0.003$ .

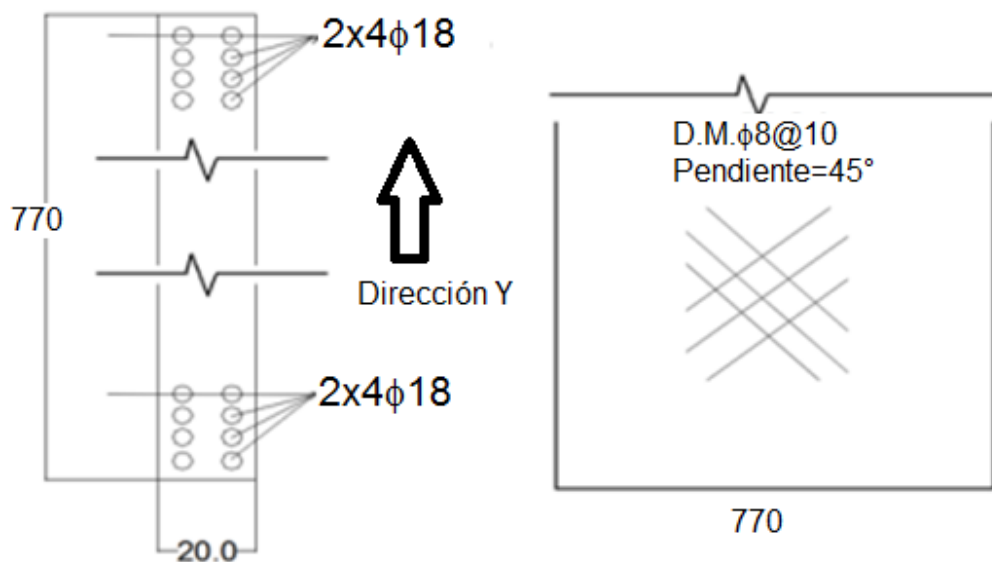


Figura 4.35 Detalle de armaduras del elemento B4-4, corte transversal y elevación

Cuantías					
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Usada	Mínima	Verificación
Cuantía longitudinal muro	$\rho_l$	%	0.74	0.25	Ok
Cuantía refuerzo transversal	$\rho_t$	%	0.50	0.25	Ok

Confinamiento según orientación de la figura 4.27					
Espaciamientos transversales					
Extremo	Nomenclatura	Usada	Máxima	Verificación	$\epsilon_c$ a usar
Superior	So [cm]	-	15	Insuficiente	0.003
Inferior	So [cm]	-	15	Insuficiente	0.003

Tabla 4.46 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento B4-4

- **Verificación de flexo-compresión**

La figura 4.36 muestra el diagrama de interacción del elemento B4-4, se observa que existen puntos que están por debajo del diagrama, en la zona de falla por tracción, también existen puntos que se escapan hacia la derecha del diagrama, estos puntos tienen momentos elevados, los demás puntos quedan dentro y por debajo de  $P_{máx}$ .

Consideraciones:  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

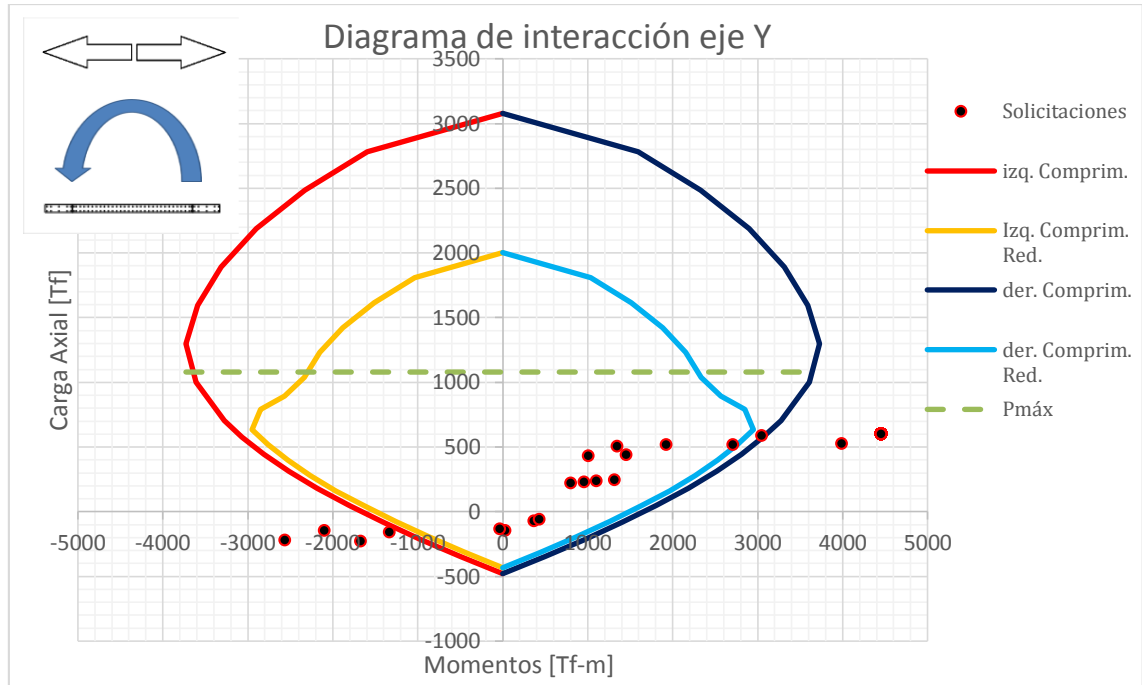


Figura 4.36 Diagrama de interacción del elemento B4-4

- **Verificación de Curvatura**

La figura 4.37 muestra el diagrama de momento curvatura y la tabla 4.47 contiene la verificación de la curvatura en el elemento B4-4, donde se observa que la capacidad del elemento es insuficiente para la demanda en ambas direcciones.

Consideraciones:  $P_u=603$  [Tf]  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

$\phi_u$	Según figura 4.33		Verificación $\phi_n > \phi_u$	
	$\phi_n$ -izquierda	$\phi_n$ -derecha	izquierda	derecha
2.08E-05	1.25E-05	1.25E-05	Insuficiente	Insuficiente

Tabla 4.47 Verificación de la curvatura en elemento B4-4

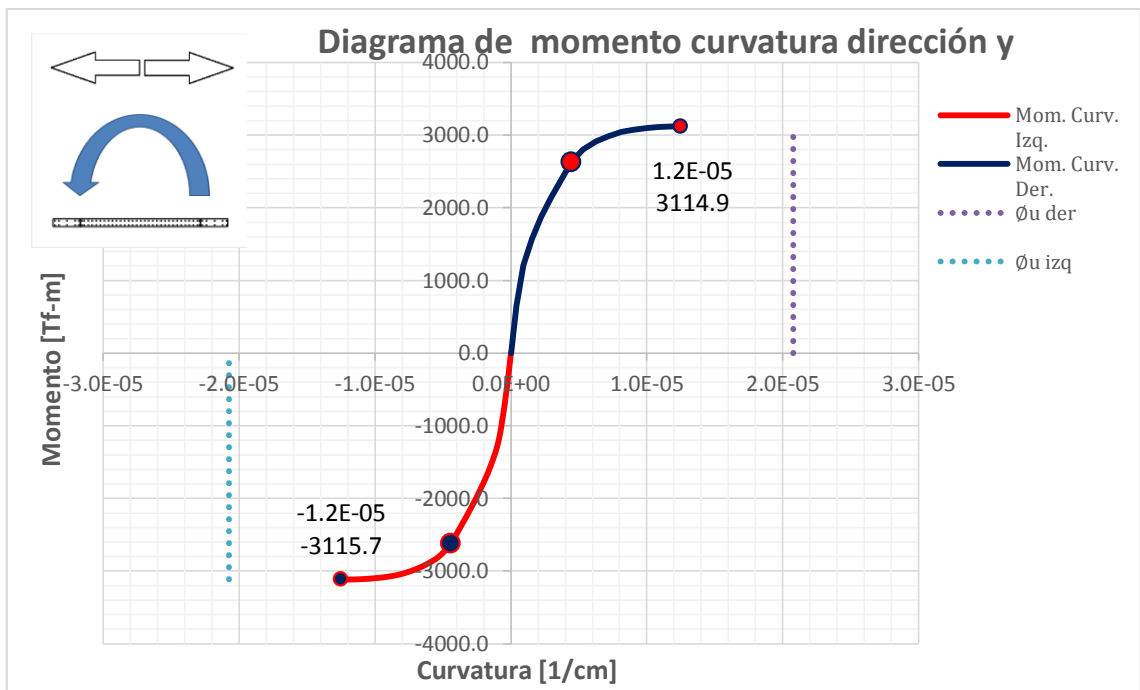


Figura 4.37 Diagrama de momento curvatura del elemento B4-4

- **Verificación de requerimiento de elemento de borde**

En la tabla 4.48 se presenta la verificación del requerimiento de elemento de borde, donde  $C$  es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro,  $C_{lim}$  es el límite definido por la norma y  $C_c$  la profundidad del confinamiento.

El elemento no posee confinamiento, y este requiere cerca de 80 [cm] de confinamiento a cada lado.

Extremo según figura 4.36 y 4.37	C	C <sub>lim</sub>	C <sub>c</sub>	Unidades
Izquierdo	240.2	160.6	79.6	[cm]
Derecho	240.1	160.6	79.5	[cm]

Tabla 4.48 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento B4-4

- **Verificación de la capacidad de corte**

La tabla 4.49 contiene los datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento B4-4 y la tabla 4.50 contiene los resultados de la verificación. En la tabla 4.49,  $V_u'$  es el corte del análisis no mayorado por los factores, el cual se compara con  $V_s$  que es la contribución del refuerzo al corte, esta verificación no es de la norma. Se tiene que  $V_u$  es aquel corte que está mayorado,  $V_c$  es la contribución del hormigón a la resistencia de corte,  $V_n$  es la resistencia nominal de corte y  $V_{s\max}$  es el límite superior de  $V_s$ .

Se observa que los criterios  $\phi V_n > V_u$  y  $V_s > V_u'$  no se cumplen, el elemento no tiene suficiente capacidad de corte para resistir las solicitaciones.

Consideraciones:  $f'c=200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

Diámetro del Refuerzo	Separación	Ramas	Área acero/separación	Largo efectivo	Ancho efectivo	Área bruta	Factor de reducción
$\phi$ [mm]	s [cm]	N°	Ash/s	$d=0.8lw$ [cm]	bw [cm]	Acv [cm <sup>2</sup> ]	$\phi$
8	10	2	0.10	616.0	20	12320	0.6

Tabla 4.49 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento B4-4

$Vu'$ [Tf]	$Vs$ [Tf]	$Vs > Vu'$	$Vc$ [Tf]	$Vu$ [Tf]	$\phi Vn$	$\phi Vn > Vu$	$V_{S_{m\acute{a}x}}$ [Tf]	$V_{S_{m\acute{a}x}} > Vs$
274.0	259.96	No-Conforme	92.3	326.0	211.4	No-Conforme	383.3	Ok

Tabla 4.50 Resultados de la verificación del corte del elemento B4-4

#### 4.3.3.6 Elemento F5-1

El edificio F5 se consideró con suelo D en zona 3.

El elemento F5-1 corresponde a un muro dañado en la parte superior del primer piso.

- **Daño observado**

El elemento dañado y la ubicación de este en la planta del edificio se presentan en la figura 4.38.

La dirección principal de la sección de muro dañada es la dirección y del edificio.

El daño observado corresponde a un aplastamiento de hormigón en el borde del muro acompañado de una desintegración del hormigón y pandeo del refuerzo. También se observa una gran congestión de acero longitudinal en el borde.

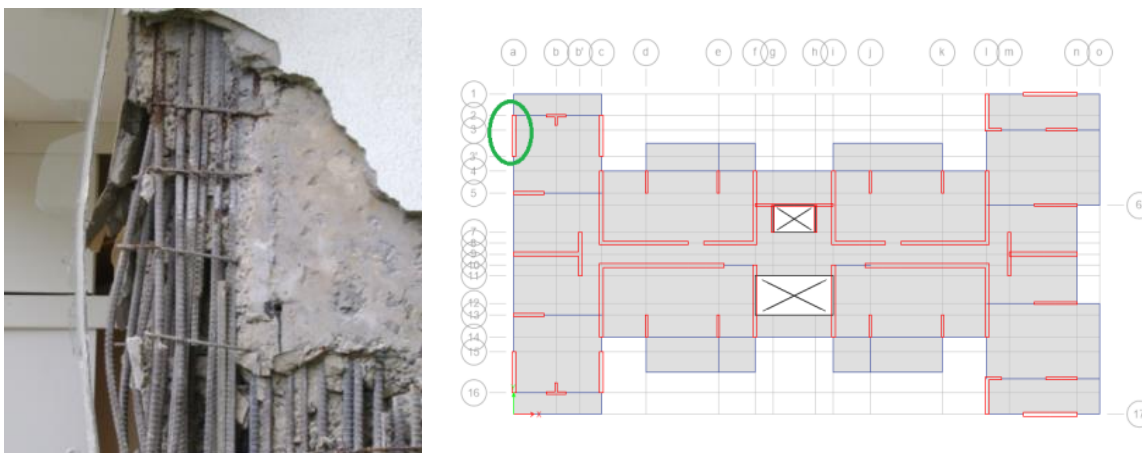


Figura 4.38 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento F5-1

- **Parámetros del elemento para el análisis**

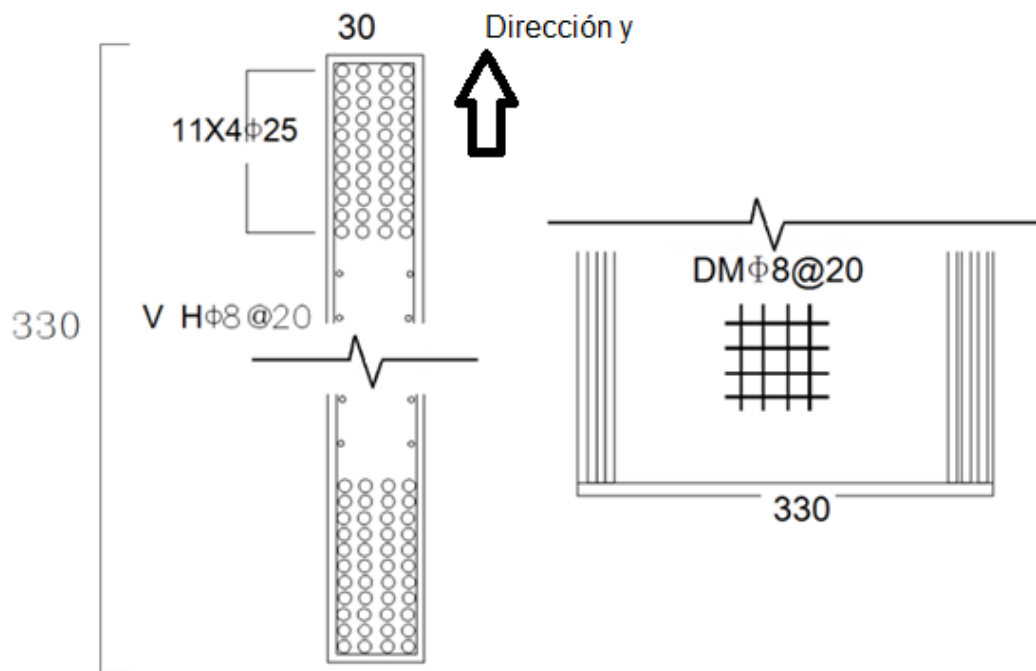
Los parámetros del elemento en el sentido del borde dañado, se presentan en la tabla 4.51.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Orientación principal c/r al edificio	-	Dirección y	-
Largo total en la dirección del análisis	lw	330	[cm]
Espesor, segmento dañado	bw	30	[cm]
Altura, sección crítica-último piso	H'w	37.2	[m]
Demanda de desplazamiento eje y	d'u	23.6	[cm]
Resistencia del hormigón	f'c (H30)	250	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia del acero a la fluencia	f'y	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

**Tabla 4.51 Parámetros para el elemento F5-1**

- **Disposiciones mínimas del refuerzo**

La distribución del refuerzo se puede observar en la figura 4.39. La verificación del cumplimiento de los requerimientos mínimos de armaduras se presenta en la tabla 4.52, donde se cumple la cuantía longitudinal mínima, pero no la cuantía transversal. No existe confinamiento apropiado, no hay trabas ni estribos. Se considera  $\epsilon_c=0.003$ .



**Figura 4.39 Detalle de armaduras del elemento F5-1, corte transversal y elevación**

Cuantías					
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Usada	Mínima	Verificación
Cuantía longitudinal muro	$\rho_l$	%	6.1	0.25	Ok
Cuantía refuerzo transversal	$\rho_t$	%	0.17	0.25	Insuficiente

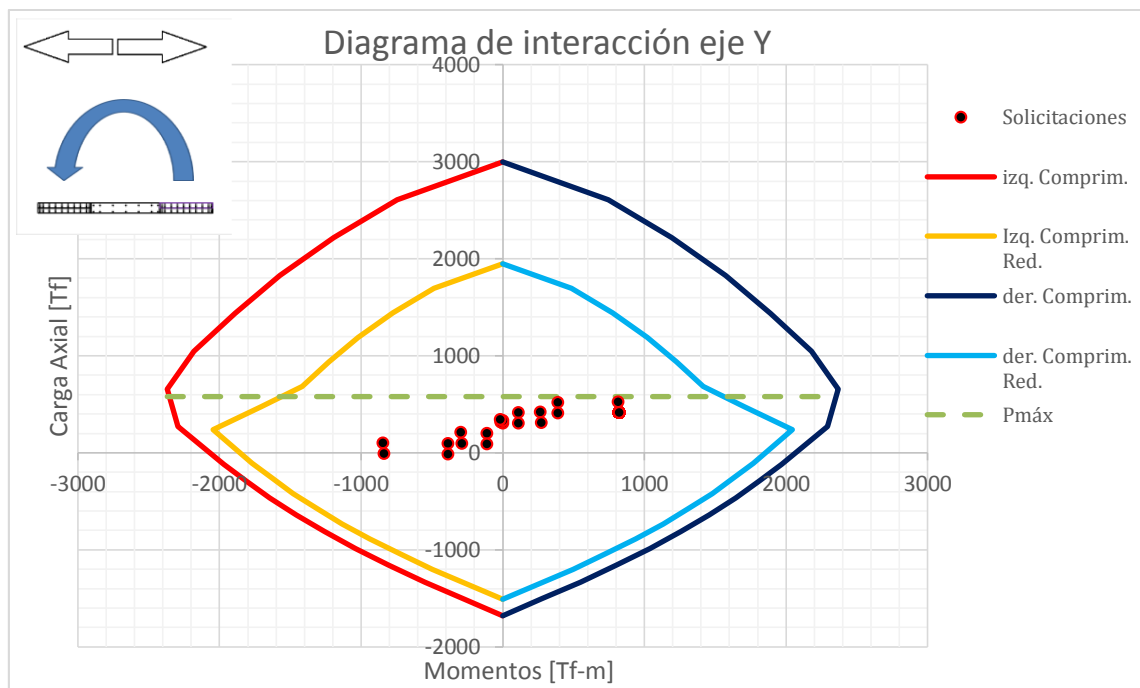
Confinamiento según orientación de la figura 4.39					
Espaciamientos transversales					
Extremo	Nomenclatura	Usada	Máxima	Verificación	$\epsilon_c$ a usar
Superior	So [cm]	-	15	Insuficiente	0.003
Inferior	So [cm]	-	15	Insuficiente	0.003

**Tabla 4.52 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento F5-1**

- **Verificación de flexo-compresión**

La figura 4.40 muestra el diagrama de interacción del elemento F5-1, se observa que todos los puntos están dentro del diagrama y por debajo de  $P_{m\acute{a}x}$ .

Consideraciones:  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]



**Figura 4.40 Diagrama de interacción del elemento F5-1**

- **Verificación de Curvatura**

La figura 4.41 muestra el diagrama de momento curvatura y la tabla 4.53 contiene la verificación de la curvatura en el elemento F5-1, donde se observa que la capacidad del elemento es insuficiente para la demanda en ambas direcciones.

Consideraciones:  $P_u=527.2$  [Tf]  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

	Según figura 4.41		Verificación $\phi n > \phi u$	
$\phi u$	$\phi n$ -izquierda	$\phi n$ -derecha	izquierda	derecha
5.76E-05	1.93E-05	1.93E-05	Insuficiente	Insuficiente

Tabla 4.53 Verificación de la curvatura en elemento F5-1

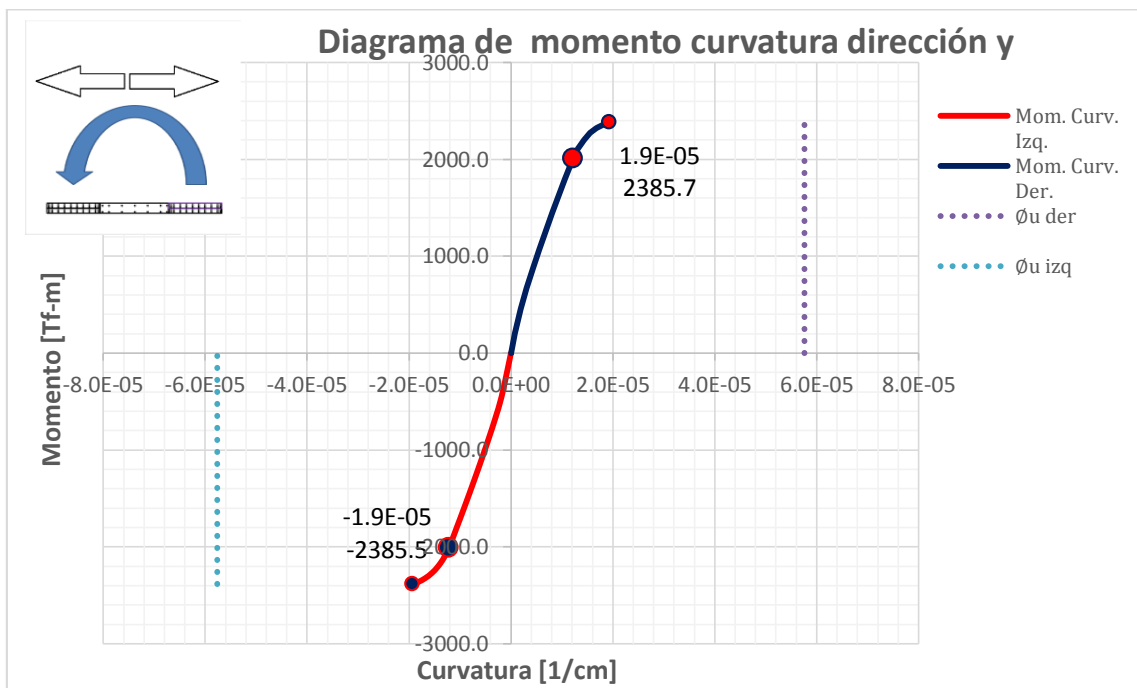


Figura 4.41 Diagrama de momento curvatura del elemento F5-1

- **Verificación de requerimiento de elemento de borde**

En la tabla 4.54 se presenta la verificación del requerimiento de elemento de borde, donde  $C$  es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro,  $C_{lim}$  es el límite definido por la norma y  $C_c$  la profundidad del confinamiento.

El elemento no posee confinamiento, y este requiere cerca de 100 [cm] de confinamiento a cada lado.

Extremo según figura 4.40 y 4.41	C	Clim	Cc	Unidades
Izquierdo	155.5	57.9	97.7	[cm]
Derecho	155.5	57.9	97.6	[cm]

**Tabla 4.54 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento F5-1**

- **Verificación de la capacidad de corte**

La tabla 4.55 contiene los datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento F5-1 y la tabla 4.56 contiene los resultados de la verificación. En la tabla 4.55,  $Vu'$  es el corte del análisis no mayorado por los factores, el cual se compara con  $Vs$  que es la contribución del refuerzo al corte, esta verificación no es de la norma. Se tiene que  $Vu$  es aquel corte que está mayorado,  $Vc$  es la contribución del hormigón a la resistencia de corte,  $Vn$  es la resistencia nominal de corte y  $V_{S_{máx}}$  es el límite superior de  $Vs$ .

Se observa que los criterios  $\phi Vn > Vu$  y  $Vs > Vu'$  no se cumplen, el elemento no tiene suficiente capacidad de corte para resistir las solicitaciones.

Consideraciones:  $f'c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $fy=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

Diámetro del Refuerzo	Separación	Ramas	Área acero/separación	Largo efectivo	Ancho efectivo	Área bruta	Factor de reducción
$\phi$ [mm]	s [cm]	N°	Ash/s	$d=0.8lw$ [cm]	bw [cm]	Acv [cm <sup>2</sup> ]	$\phi$
8	20	2	0.05	264.0	30	7920	0.6

**Tabla 4.55 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento F5-1**

$Vu'$ [Tf]	$Vs$ [Tf]	$Vs > Vu'$	$Vc$ [Tf]	$Vu$ [Tf]	$\phi Vn$	$\phi Vn > Vu$	$V_{S_{máx}}$ [Tf]	$V_{S_{máx}} > Vs$
137.6	55.71	No-Conforme	66.4	163.8	73.2	No-Conforme	275.5	Ok

**Tabla 4.56 Resultados de la verificación del corte del elemento F5-1**

#### 4.3.3.7 Elemento M6-1

El edificio M6-1 se consideró con suelo C en zona 3.

El elemento M6-1 corresponde a un muro dañado en la parte inferior del primer piso.

- **Daño observado**

El elemento dañado y la ubicación de este en la planta del edificio se presentan en la figura 4.42.

La dirección principal de la sección de muro dañada es la dirección y del edificio.

El daño observado corresponde a un aplastamiento de hormigón en el borde del muro acompañado de una desintegración del hormigón y pandeo del refuerzo.



Figura 4.42 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento M6-1

- **Parámetros del elemento para el análisis**

Los parámetros del elemento en el sentido del borde dañado, se presentan en la tabla 4.57.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Orientación principal c/r al edificio	-	Dirección y	-
Largo total en la dirección del análisis	lw	500	[cm]
Espesor, segmento dañado	bw	25	[cm]
Altura, sección crítica-último piso	H'w	25.0	[m]
Demanda de desplazamiento eje y	d'u	12.4	[cm]
Resistencia del hormigón	f'c (H25)	200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia del acero a la fluencia	f'y	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

Tabla 4.57 Parámetros para el elemento M6-1

- **Disposiciones mínimas del refuerzo**

La distribución del refuerzo se puede observar en la figura 4.43. La verificación del cumplimiento de los requerimientos mínimos de armaduras se presenta en la tabla 4.58, donde se cumple la cuantía longitudinal y transversal mínima. No existe confinamiento apropiado, no hay trabas ni estribos. Se considera  $\epsilon_c=0.003$ .

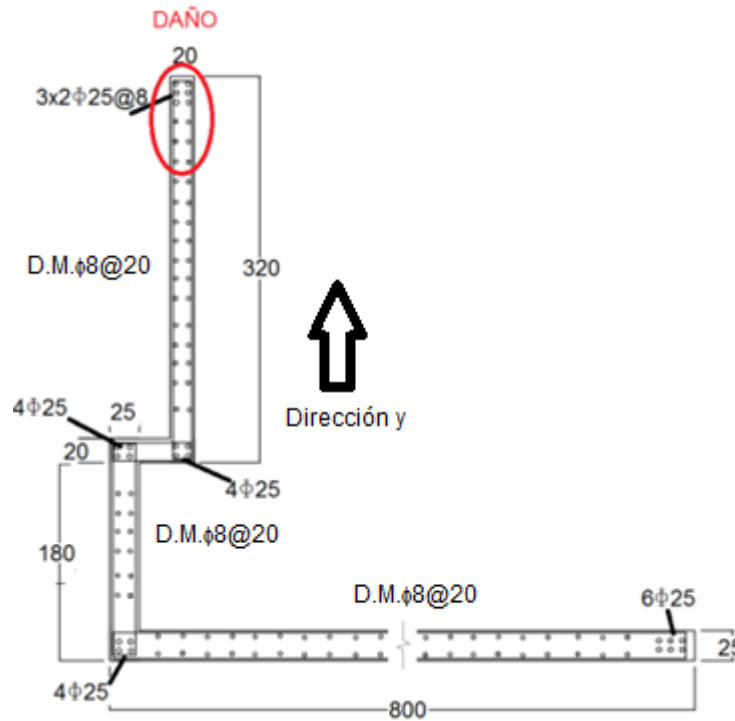


Figura 4.43 Detalle de armaduras del elemento M6-1

Cuantías					
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Usada	Mínima	Verificación
Cuantía longitudinal muro	$\rho_l$	%	0.55	0.25	Ok
Cuantía refuerzo transversal	$\rho_t$	%	0.25	0.25	Ok

Confinamiento según orientación de la figura 4.43					
Espaciamientos transversales					
Extremo	Nomenclatura	Usada	Máxima	Verificación	$\epsilon_c$ a usar
Superior	So [cm]	-	15	Insuficiente	0.003
Inferior	So [cm]	-	15	Insuficiente	0.003

Tabla 4.58 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento M6-1

- **Verificación de flexo-compresión**

La figura 4.44 muestra el diagrama de interacción del elemento M6-1, se observa que casi todos los puntos están dentro del diagrama, excepto uno que se escapa en el lado derecho. Todas las solicitaciones están por bajo  $P_{m\acute{a}x}$ .

Consideraciones:  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

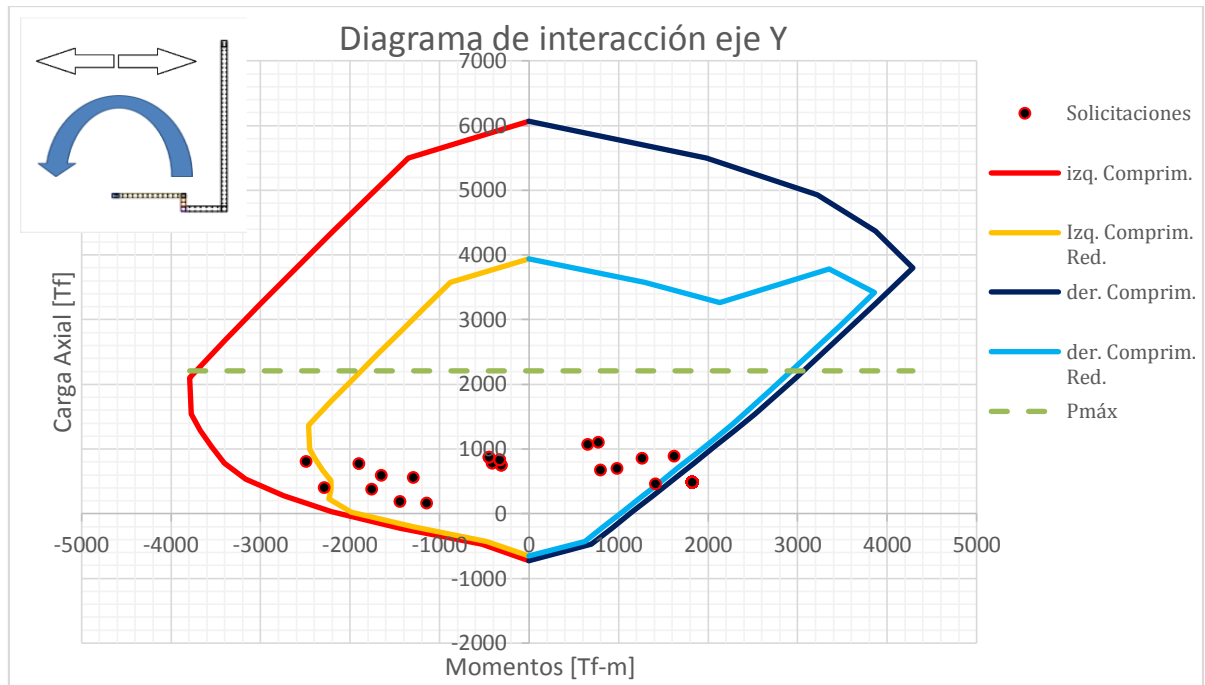


Figura 4.44 Diagrama de interacción del elemento M6-1

- **Verificación de Curvatura**

La figura 4.45 muestra el diagrama de momento curvatura y la tabla 4.59 contiene la verificación de la curvatura en el elemento M6-1, donde se observa que la capacidad del elemento es insuficiente para la demanda cuando se comprime el lado izquierdo, para el lado derecho se cumple con la demanda.

Consideraciones:  $P_u=1102$  [Tf]  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

$\phi_u$	Según figura 4.41		Verificación $\phi_n > \phi_u$	
	$\phi_n$ -izquierda	$\phi_n$ -derecha	izquierda	derecha
1.99E-05	9.30E-05	4.31E-05	Insuficiente	Ok

Tabla 4.59 Verificación de la curvatura en elemento M6-1

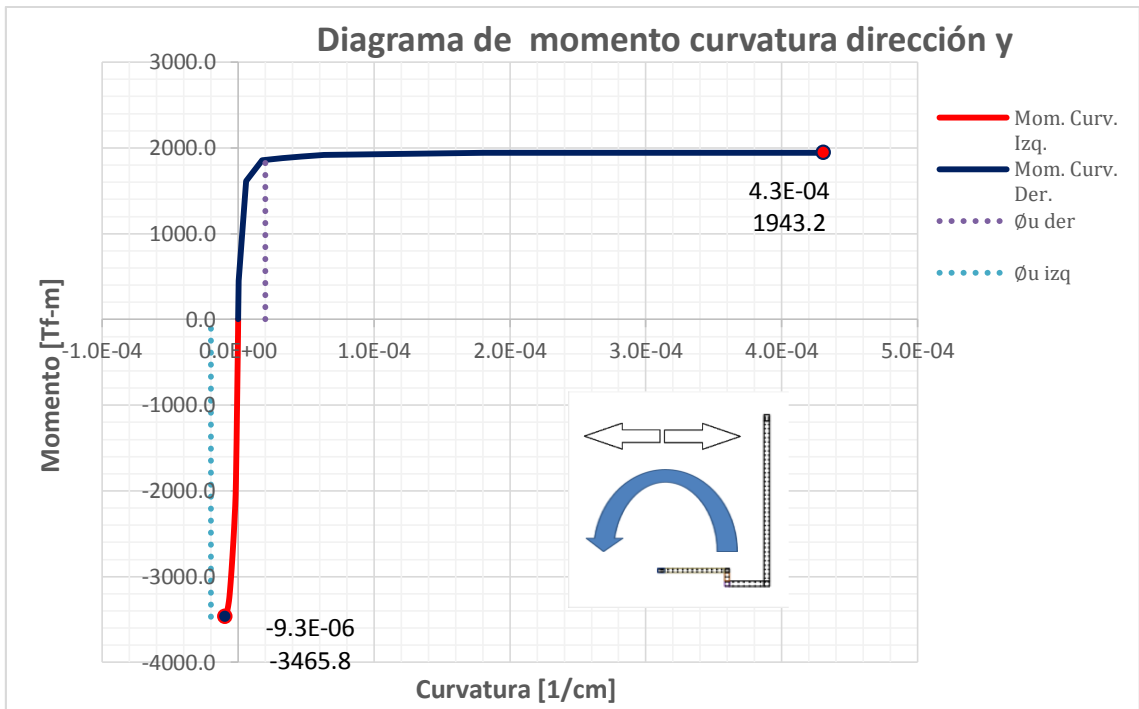


Figura 4.45 Diagrama de momento curvatura del elemento M6-1

- **Verificación de requerimiento de elemento de borde**

En la tabla 4.60 se presenta la verificación del requerimiento de elemento de borde, donde C es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro,  $C_{lim}$  es el límite definido por la norma y  $C_c$  la profundidad del confinamiento.

El elemento no posee confinamiento, y este requiere cerca de 170 [cm] de confinamiento al lado izquierdo según figuras 4.44 y 4.45. Al lado derecho no se requiere confinar.

Extremo según figura 4.44 y 4.45	C	$C_{lim}$	$C_c$	Unidades
Izquierdo	322.5	167.9	154.7	[cm]
Derecho	10.1	167.9	0.0	[cm]

Tabla 4.60 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento M6-1

- **Verificación de la capacidad de corte**

La tabla 4.61 contiene los datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento M6-1 y la tabla 4.62 contiene los resultados de la verificación. En la tabla 4.61,  $V_u$  es el corte del análisis no mayorado por los factores, el cual se compara con  $V_s$  que es la contribución del refuerzo al corte, esta verificación no es de la norma. Se tiene que  $V_u$  es aquel corte que está mayorado,  $V_c$  es la contribución del hormigón a la resistencia de corte,  $V_n$  es la resistencia nominal de corte y  $V_{s_{máx}}$  es el límite superior de  $V_s$ .

Se observa que los criterios  $\phi V_n > V_u$  y  $V_s > V_u'$  no se cumplen, el elemento no tiene suficiente capacidad de corte para resistir las solicitaciones.

Consideraciones:  $f'c=200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

Diámetro del Refuerzo	Separación	Ramas	Área acero/separación	Largo efectivo	Ancho efectivo	Área bruta	Factor de reducción
$\phi$ [mm]	s [cm]	N°	Ash/s	$d=0.8l_w$ [cm]	bw [cm]	Acv [cm <sup>2</sup> ]	$\phi$
8	20	2	0.05	400	20	8000	0.6

**Tabla 4.61 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento M6-1**

$V_u'$ [Tf]	$V_s$ [Tf]	$V_s > V_u'$	$V_c$ [Tf]	$V_u$ [Tf]	$\phi V_n$	$\phi V_n > V_u$	$V_{s_{m\acute{a}x}}$ [Tf]	$V_{s_{m\acute{a}x}} > V_s$
166.2	84.40	No-Conforme	60.0	197.8	86.6	No-Conforme	248.9	Ok

**Tabla 4.62 Resultados de la verificación del corte del elemento M6-1**

#### 4.3.3.8 Elemento R10-2

El edificio R10 se consideró con suelo D en zona 3.

El elemento R10-2 corresponde a un muro dañado en la parte inferior del primer piso.

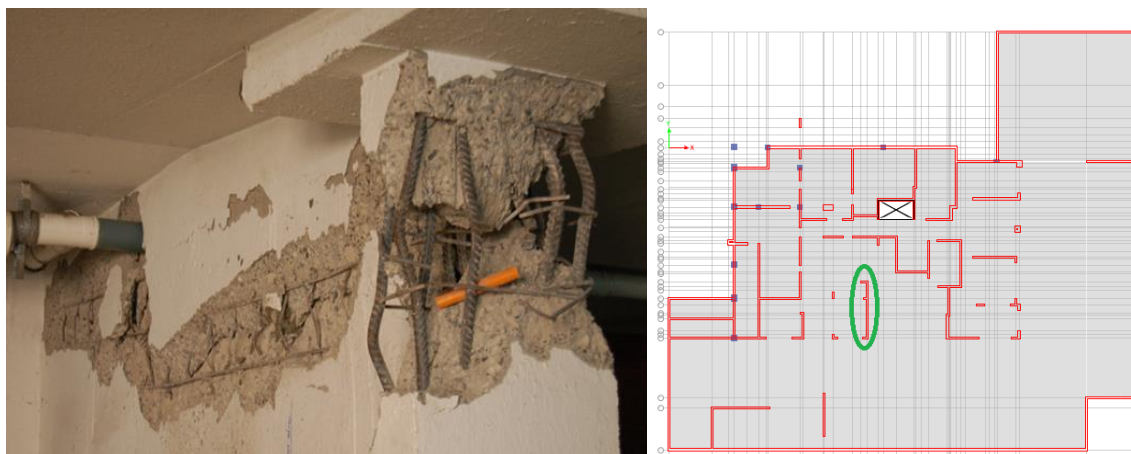
- **Daño observado**

El elemento dañado y la ubicación de este en la planta del edificio se presentan en la figura 4.46.

La dirección principal de la sección de muro dañada es la dirección y del edificio.

El daño observado corresponde a un aplastamiento y desintegración de hormigón en el borde del muro acompañado de pandeo en el refuerzo longitudinal.

**Figura 4.46 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento R10-2**



- **Parámetros del elemento para el análisis**

Los parámetros del elemento en el sentido del borde dañado, se presentan en la tabla 4.63.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Orientación principal c/r al edificio	-	Dirección y	-
Largo total en la dirección del análisis	lw	560	[cm]
Espesor, segmento dañado (alma)	bw	20	[cm]
Altura, sección crítica-último piso	H'w	41.3	[m]
Demanda de desplazamiento eje y	d'u	41.2	[cm]
Resistencia del hormigón	f'c (H30)	250	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia del acero a la fluencia	f'y	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

Tabla 4.63 Parámetros para el elemento R10-2

- **Disposiciones mínimas del refuerzo**

La distribución del refuerzo se puede observar en la figura 4.47. La verificación del cumplimiento de los requerimientos mínimos de armaduras se presenta en la tabla 4.64, donde se cumple la cuantía longitudinal y transversal mínima. No existe confinamiento apropiado, no hay trabas ni estribos apropiados. Se considera  $\epsilon_c=0.003$ .

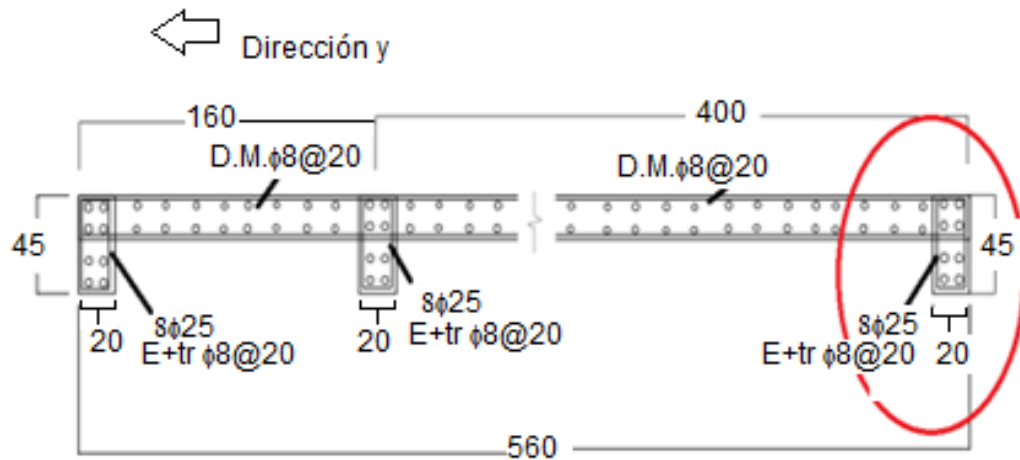


Figura 4.47 Detalle de armaduras del elemento R10-2

Cuantías					
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Usada	Mínima	Verificación
Cuantía longitudinal muro	$\rho_l$	%	0.91	0.25	Ok
Cuantía refuerzo transversal	$\rho_t$	%	0.25	0.25	Ok

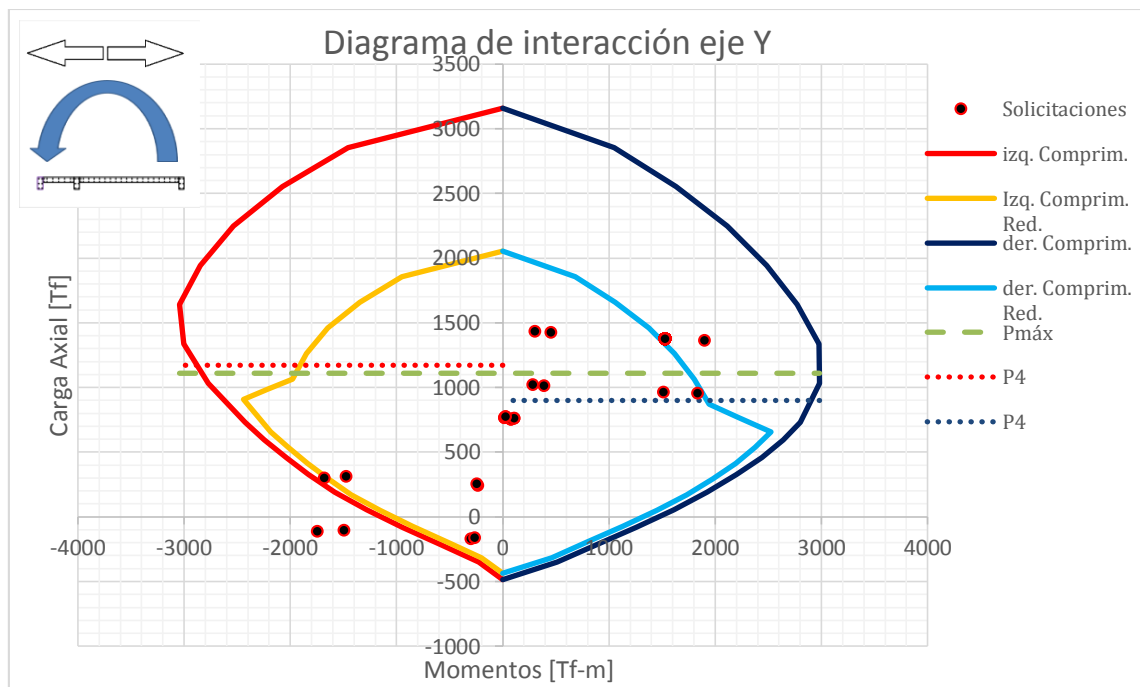
Confinamiento según orientación de la figura 4.47					
Espaciamientos transversales					
Extremo	Nomenclatura	Usada	Máxima	Verificación	$\epsilon_c$ a usar
Izquierdo	So [cm]	20	15	Insuficiente	0.003
Derecho	So [cm]	20	15	Insuficiente	0.003

**Tabla 4.64 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento R10-2**

- **Verificación de flexo-compresión**

La figura 4.48 muestra el diagrama de interacción del elemento R10-2, se observa que existen puntos fuera del diagrama, y algunos están por sobre  $P_{m\acute{a}x}$ .

Consideraciones:  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]



**Figura 4.48 Diagrama de interacción del elemento R10-2**

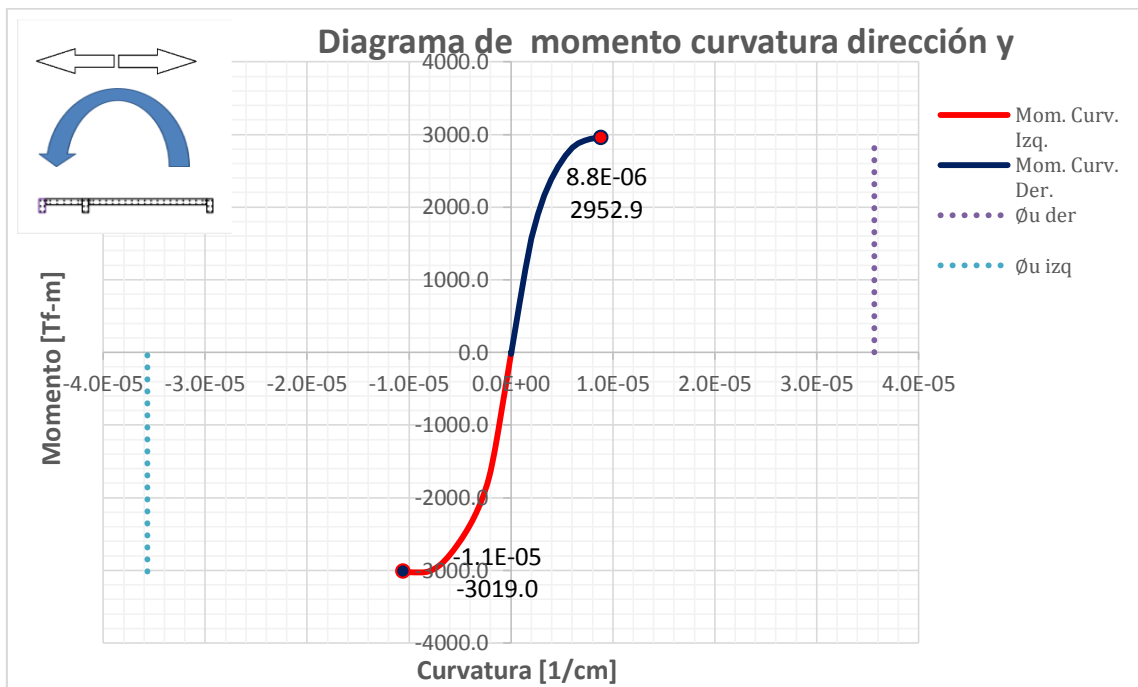
- **Verificación de Curvatura**

La figura 4.49 muestra el diagrama de momento curvatura y la tabla 4.65 contiene la verificación de la curvatura en el elemento R10-2, donde se observa que la capacidad del elemento es insuficiente para la demanda en ambas direcciones.

Consideraciones:  $P_u=1379.2$  [Tf]  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

$\phi_u$	Según figura 4.49		Verificación $\phi n > \phi_u$	
	$\phi n$ -izquierda	$\phi n$ -derecha	izquierda	derecha
3.57E-05	1.06E-05	8.84E-05	Insuficiente	Insuficiente

**Tabla 4.65 Verificación de la curvatura en elemento R10-2**



**Figura 4.49 Diagrama de momento curvatura del elemento R10-2**

- **Verificación de requerimiento de elemento de borde**

En la tabla 4.66 se presenta la verificación del requerimiento de elemento de borde, donde  $C$  es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro,  $C_{lim}$  es el límite definido por la norma y  $C_c$  la profundidad del confinamiento.

El elemento no posee confinamiento apropiado, y se requiere 190 [cm] de confinamiento al lado izquierdo y 246 al lado derecho según figuras 4.48 y 4.49.

Extremo según figura 4.48 y 4.49	C	Clim	Cc	Unidades
Izquierdo	283.9	93.5	190.4	[cm]
Derecho	339.3	93.5	245.8	[cm]

**Tabla 4.66 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento R10-2**

- **Verificación de la capacidad de corte**

La tabla 4.67 contiene los datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento R10-2 y la tabla 4.68 contiene los resultados de la verificación. En la tabla 4.67,  $Vu'$  es el corte del análisis no mayorado por los factores, el cual se compara con  $Vs$  que es la contribución del refuerzo al corte, esta verificación no es de la norma. Se tiene que  $Vu$  es aquel corte que está mayorado,  $Vc$  es la contribución del hormigón a la resistencia de corte,  $Vn$  es la resistencia nominal de corte y  $V_{Smáx}$  es el límite superior de  $Vs$ .

Se observa que los criterios  $\phi Vn > Vu$  y  $Vs > Vu'$  no se cumplen, el elemento no tiene suficiente capacidad de corte para resistir las solicitaciones.

Consideraciones:  $f'c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $fy=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

Diámetro del Refuerzo	Separación	Ramas	Área acero/separación	Largo efectivo	Ancho efectivo	Área bruta	Factor de reducción
$\phi$ [mm]	s [cm]	N°	Ash/s	$d=0.8lw$ [cm]	bw [cm]	Acv [cm <sup>2</sup> ]	$\phi$
8	20	2	0.05	448	20	8960	0.6

**Tabla 4.67 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento R10-2**

$Vu'$ [Tf]	$Vs$ [Tf]	$Vs > Vu'$	$Vc$ [Tf]	$Vu$ [Tf]	$\phi Vn$	$\phi Vn > Vu$	$V_{Smáx}$ [Tf]	$V_{Smáx} > Vs$
124.4	94.5	No-Conforme	75.1	148.0	101.8	No-Conforme	311.7	Ok

**Tabla 4.68 Resultados de la verificación del corte del elemento R10-2**

#### 4.3.3.9 Elemento R11-2

El edificio R11 se consideró con suelo C en zona 3.

El elemento R11-2 corresponde a un muro dañado en la parte inferior del primer piso.

- **Daño observado**

El elemento dañado y la ubicación de este en la planta del edificio se presentan en la figura 4.50.

La dirección principal de la sección de muro dañada es la dirección x del edificio.

El daño observado corresponde a un aplastamiento de hormigón en la unión del muro con una viga alta, también se observa pandeo en el refuerzo longitudinal.

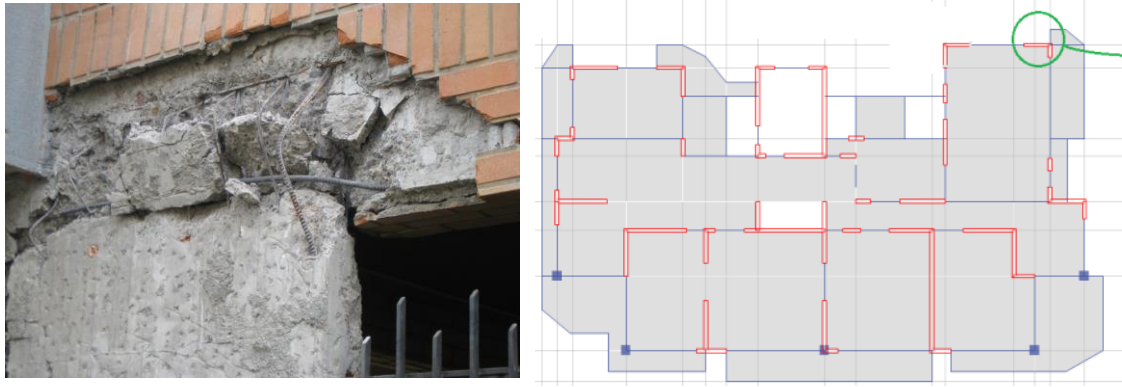


Figura 4.50 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento R11-2

- **Parámetros del elemento para el análisis**

Los parámetros del elemento en el sentido del borde dañado, se presentan en la tabla 4.69.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Orientación principal c/r al edificio	-	Dirección x	-
Largo total en la dirección del análisis	lw	138	[cm]
Espesor, segmento dañado (alma)	bw	20	[cm]
Altura, sección crítica-último piso	H'w	45.2	[m]
Demanda de desplazamiento eje y	d'u	22.8	[cm]
Resistencia del hormigón	f'c (H30)	250	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia del acero a la fluencia	f'y	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

Tabla 4.69 Parámetros para el elemento R11-2

- **Disposiciones mínimas del refuerzo**

La distribución del refuerzo se puede observar en la figura 4.51. La verificación del cumplimiento de los requerimientos mínimos de armaduras se presenta en la tabla 4.70, donde se cumple la cuantía longitudinal y transversal mínima. No existe confinamiento apropiado, no hay trabas ni estribos adecuadamente dispuestos. Se considera  $\epsilon_c=0.003$ .

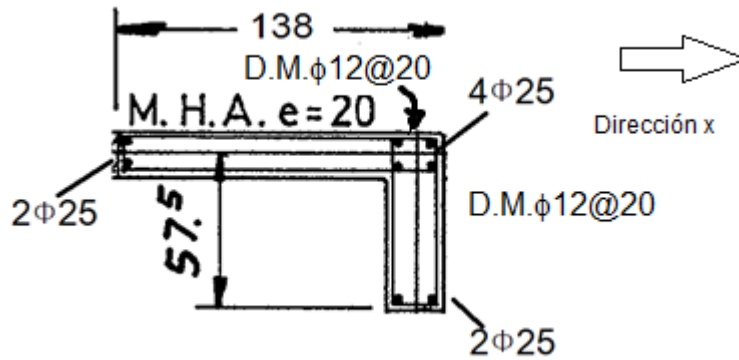


Figura 4.51 Detalle de armaduras del elemento R11-2

Cuantías					
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Usada	Mínima	Verificación
Cuantía longitudinal muro	$\rho_l$	%	1.49	0.25	Ok
Cuantía refuerzo transversal	$\rho_t$	%	0.55	0.25	Ok

Confinamiento según orientación de la figura 4.51					
Espaciamientos transversales					
Extremo	Nomenclatura	Usada	Máxima	Verificación	$\epsilon_c$ a usar
Izquierdo	So [cm]	20	15	Insuficiente	0.003
Derecho	So [cm]	20	15	Insuficiente	0.003

Tabla 4.70 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento R11-2

- **Verificación de flexo-compresión**

La figura 4.52 muestra el diagrama de interacción del elemento R11-2, se observa que existen puntos fuera del diagrama, y por sobre  $P_{máx}$ .

Consideraciones:  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

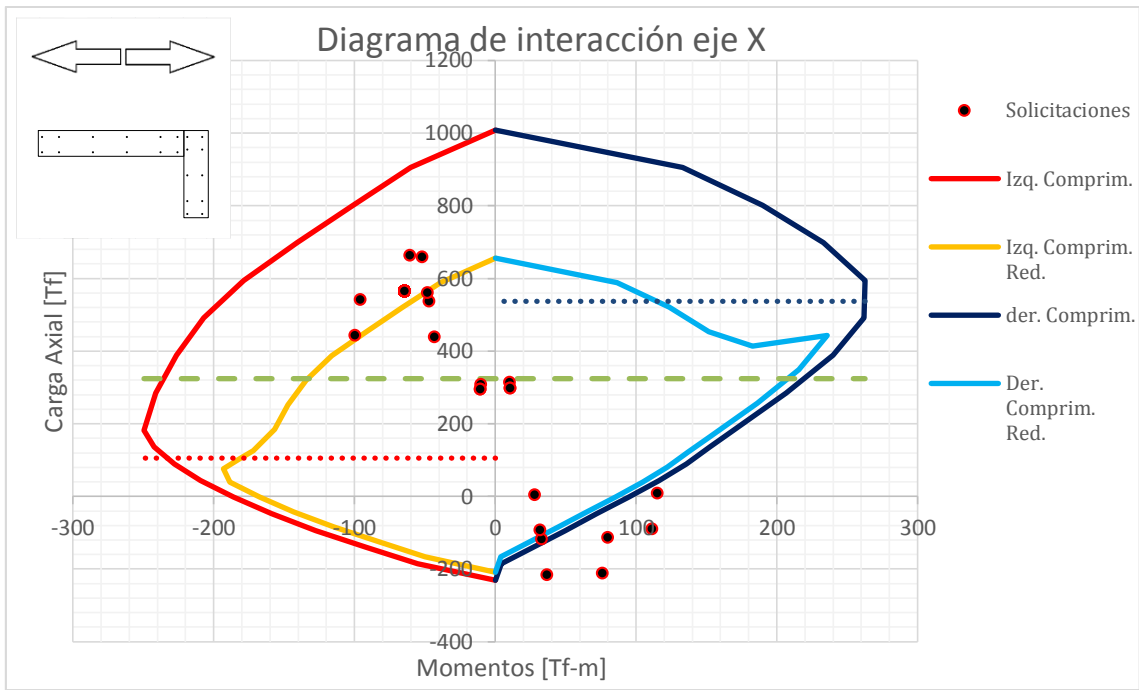


Figura 4.52 Diagrama de interacción del elemento R11-2

- **Verificación de Curvatura**

La figura 4.53 muestra el diagrama de momento curvatura y la tabla 4.71 contiene la verificación de la curvatura en el elemento R11-2, donde se observa que la capacidad del elemento es insuficiente para la demanda en ambas direcciones.

Consideraciones:  $P_u=542.5$  [Tf]  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

$\phi_u$	Según figura 4.53		Verificación $\phi_n > \phi_u$	
	$\phi_n$ -izquierda	$\phi_n$ -derecha	izquierda	derecha
4.65E-05	2.41E-05	4.96E-05	Insuficiente	Insuficiente

Tabla 4.71 Verificación de la curvatura en elemento R11-2

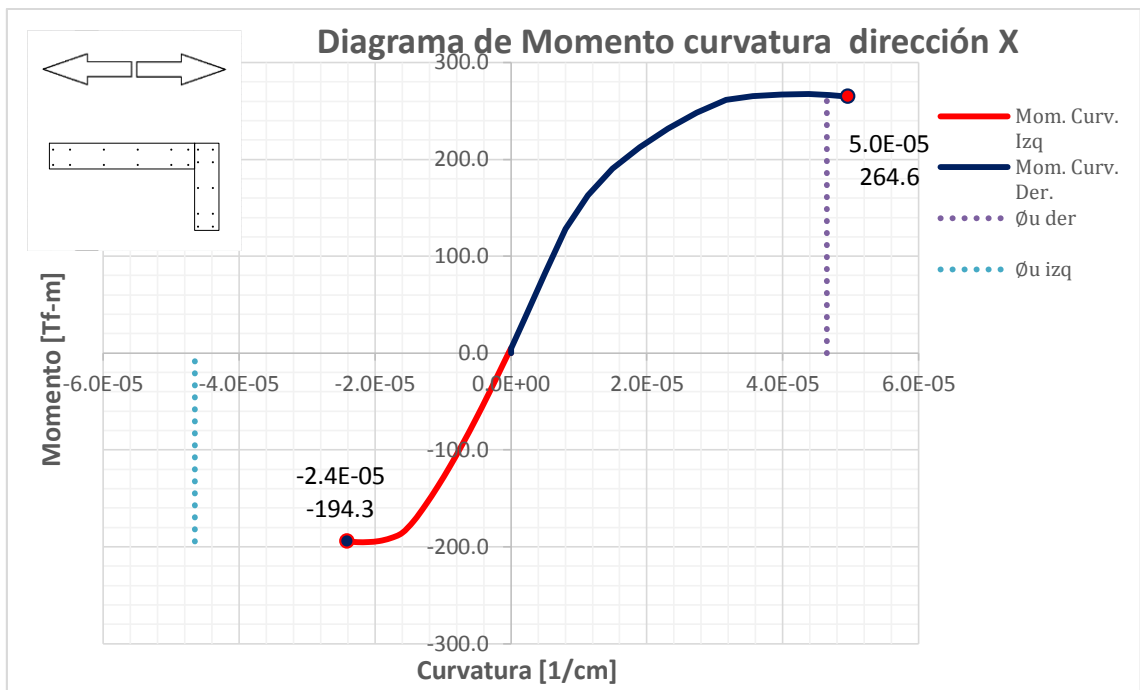


Figura 4.53 Diagrama de momento curvatura del elemento R11-2

- **Verificación de requerimiento de elemento de borde**

En la tabla 4.72 se presenta la verificación del requerimiento de elemento de borde, donde C es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro, Clim es el límite definido por la norma y Cc la profundidad del confinamiento.

El elemento no posee confinamiento apropiado, y se cerca de 53 [cm] de confinamiento al lado izquierdo y mientras que al lado derecho no se necesita, orientación según figuras 4.52 y 4.53.

Extremo según figura 4.53 y 4.52	C	Clim	Cc	Unidades
Izquierdo	124.5	71.7	52.8	[cm]
Derecho	60.5	71.7	0.0	[cm]

Tabla 4.72 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento R11-2

- **Verificación de la capacidad de corte**

La tabla 4.73 contiene los datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento R11-2 y la tabla 4.74 contiene los resultados de la verificación. En la tabla 4.73, Vu' es el corte del análisis no mayorado por los factores, el cual se compara con Vs que es la contribución del refuerzo al corte, esta verificación no es de la norma. Se tiene que Vu es aquel corte que está mayorado, Vc es la contribución del hormigón a la resistencia de corte, Vn es la resistencia nominal de corte y Vs<sub>máx</sub> es el límite superior de Vs.

Se observa el criterio  $\phi V_n > V_u$  no se cumple, el elemento necesita un poco más de resistencia al corte para cumplir con la demanda. El criterio  $V_s > V_u'$  se cumple.

Consideraciones:  $f'c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

Diámetro del Refuerzo	Separación	Ramas	Área acero/separación	Largo efectivo	Ancho efectivo	Área bruta	Factor de reducción
$\phi$ [mm]	s [cm]	Nº	Ash/s	$d=0.8lw$ [cm]	bw [cm]	Acv [cm <sup>2</sup> ]	$\phi$
12	20	2	0.11	110.4	20	2208	0.6

Tabla 4.73 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento R11-2

$Vu'$ [Tf]	$Vs$ [Tf]	$Vs > Vu'$	$Vc$ [Tf]	$Vu$ [Tf]	$\phi Vn$	$\phi Vn > Vu$	$V_{S_{m\acute{a}x}}$ [Tf]	$V_{S_{m\acute{a}x}} > Vs$
38.7	52.41	Ok	18.5	46.0	42.6	No-Conforme	76.8	Ok

Tabla 4.74 Resultados de la verificación del corte del elemento R11-2

#### 4.3.3.10 Elemento T12-2

El edificio T12 se consideró con suelo C en zona 3.

El elemento T12-2 corresponde a un muro dañado en la parte inferior del primer piso.

- **Daño observado**

El elemento dañado y la ubicación de este en la planta del edificio se presentan en la figura 4.54.

La dirección principal de la sección de muro dañada es la dirección y del edificio.

El daño observado corresponde a una grieta diagonal en el alma, se observa además desprendimiento de hormigón y pandeo del refuerzo.



Figura 4.54 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento T12-2

- **Parámetros del elemento para el análisis**

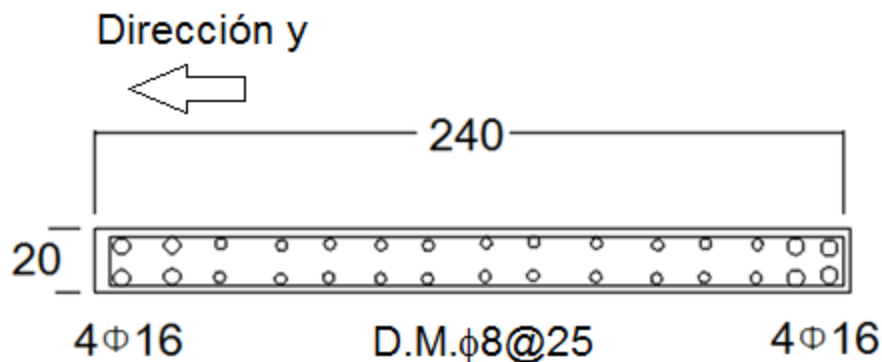
Los parámetros del elemento en el sentido del borde dañado, se presentan en la tabla 4.75.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Orientación principal c/r al edificio	-	Dirección y	-
Largo total en la dirección del análisis	lw	240	[cm]
Espesor, segmento dañado (alma)	bw	20	[cm]
Altura, sección crítica-último piso	H'w	31.5	[m]
Demanda de desplazamiento eje y	d'u	17.5	[cm]
Resistencia del hormigón	f'c (H30)	250	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia del acero a la fluencia	f'y	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

**Tabla 4.75** Parámetros para el elemento T12-2

- **Disposiciones mínimas del refuerzo**

La distribución del refuerzo se puede observar en la figura 4.55. La verificación del cumplimiento de los requerimientos mínimos de armaduras se presenta en la tabla 4.76, donde se cumple la cuantía longitudinal, pero la transversal es insuficiente. No existe confinamiento apropiado, no hay trabas ni estribos adecuadamente dispuestos. Se considera  $\epsilon_c=0.003$ .



**Figura 4.55** Detalle de armaduras del elemento T12-2

Cuantías					
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Usada	Mínima	Verificación
Cuantía longitudinal muro	$\rho_l$	%	0.34	0.25	Ok
Cuantía refuerzo transversal	$\rho_t$	%	0.20	0.25	Insuficiente

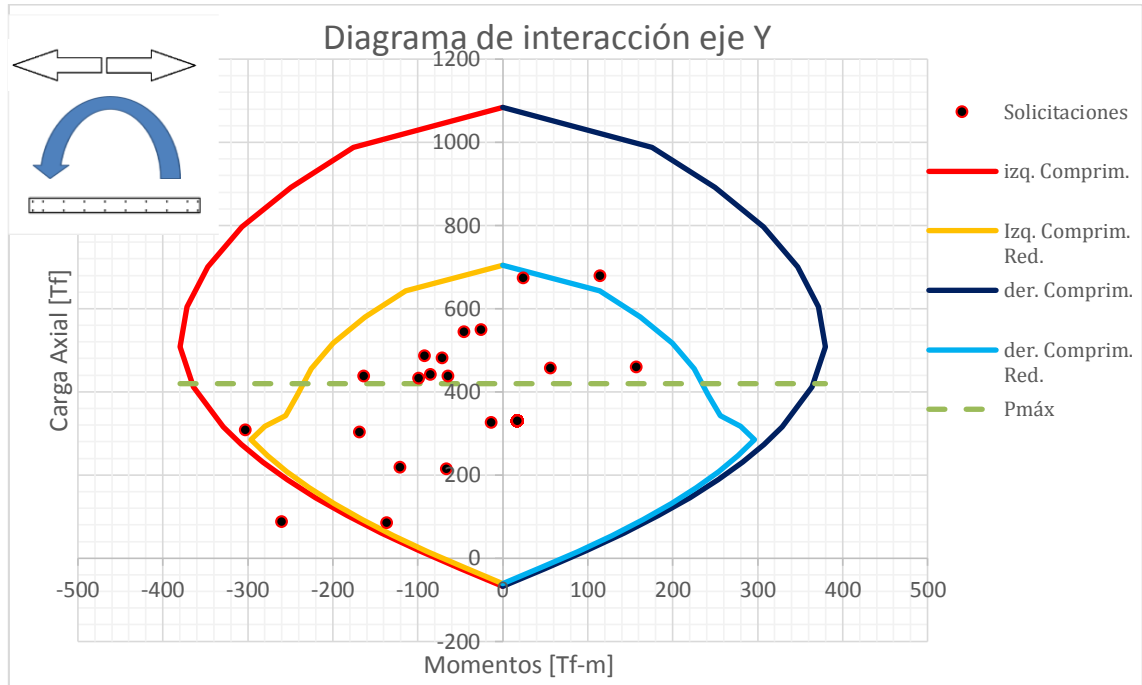
Confinamiento según orientación de la figura 4.55					
Espaciamientos transversales					
Extremo	Nomenclatura	Usada	Máxima	Verificación	$\epsilon_c$ a usar
Izquierdo	So [cm]	25	15	Insuficiente	0.003
Derecho	So [cm]	25	15	Insuficiente	0.003

**Tabla 4.76** Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento T12-2

- **Verificación de flexo-compresión**

La figura 4.56 muestra el diagrama de interacción del elemento T12-2, se observa que un punto fuera del diagrama, además existen varios puntos por sobre  $P_{m\acute{a}x}$ .

Consideraciones:  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]



**Figura 4.56 Diagrama de interacción del elemento T12-2**

- **Verificación de Curvatura**

La figura 4.57 muestra el diagrama de momento curvatura y la tabla 4.77 contiene la verificación de la curvatura en el elemento T12-2, donde se observa que la capacidad del elemento es insuficiente para la demanda en ambas direcciones.

Consideraciones:  $P_u=678.9$  [Tf]  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

$\phi_u$	Según figura 4.57		Verificación $\phi_n > \phi_u$	
	$\phi_n$ -izquierda	$\phi_n$ -derecha	izquierda	derecha
4.64E-04	1.72E-05	1.72E-05	Insuficiente	Insuficiente

**Tabla 4.77 Verificación de la curvatura en elemento T12-2**

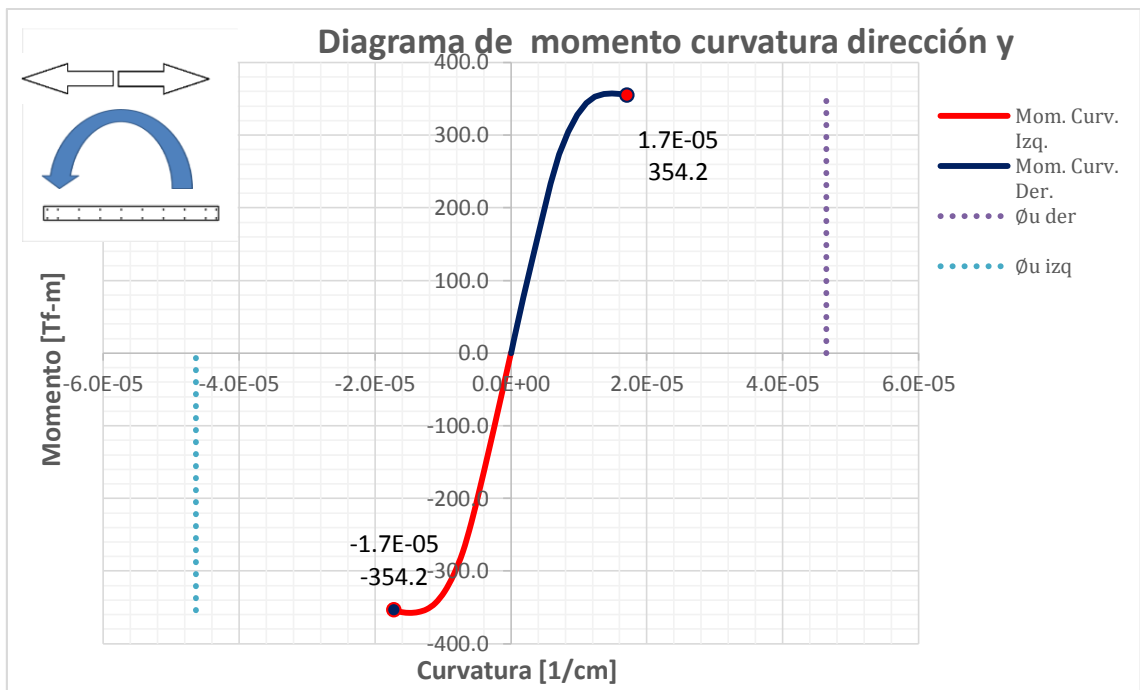


Figura 4.57 Diagrama de momento curvatura del elemento T12-2

- **Verificación de requerimiento de elemento de borde**

En la tabla 4.78 se presenta la verificación del requerimiento de elemento de borde, donde C es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro,  $C_{lim}$  es el límite definido por la norma y  $C_c$  la profundidad del confinamiento.

El elemento no posee confinamiento apropiado, y se requiere casi 100 [cm] de confinamiento al lado izquierdo y 30 al lado derecho según figuras 4.56 y 4.57.

Extremo según figura 4.56 y 4.57	C	$C_{lim}$	$C_c$	Unidades
Izquierdo	174.8	71.8	102.9	[cm]
Derecho	174.8	71.8	102.9	[cm]

Tabla 4.78 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento T12-2

- **Verificación de la capacidad de corte**

La tabla 4.79 contiene los datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento T12-2 y la tabla 4.80 contiene los resultados de la verificación. En la tabla 4.79,  $V_u'$  es el corte del análisis no mayorado por los factores, el cual se compara con  $V_s$  que es la contribución del refuerzo al corte, esta verificación no es de la norma. Se tiene que  $V_u$  es aquel corte que está mayorado,  $V_c$  es la contribución del hormigón a la resistencia de corte,  $V_n$  es la resistencia nominal de corte y  $V_{s_{máx}}$  es el límite superior de  $V_s$ .

Se observa el criterio  $\phi V_n > V_u$  no se cumple, el elemento necesita un poco más de resistencia al corte para cumplir con la demanda. El criterio  $V_s > V_u'$  tampoco se cumple.

Consideraciones:  $f'c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

Diámetro del Refuerzo	Separación	Ramas	Área acero/separación	Largo efectivo	Ancho efectivo	Área bruta	Factor de reducción
$\phi$ [mm]	s [cm]	N°	Ash/s	$d=0.8lw$ [cm]	bw [cm]	Acv [cm <sup>2</sup> ]	$\phi$
8	25	2	0.04	192.0	20	3840	0.6

Tabla 4.79 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento T12-2

Vu' [Tf]	Vs [Tf]	Vs>Vu'	Vc [Tf]	Vu [Tf]	$\phi V_n$	$\phi V_n > V_u$	V <sub>S</sub> <sup>máx</sup> [Tf]	V <sub>S</sub> <sup>máx</sup> >V <sub>S</sub>
40.2	32.41	No-Conforme	32.2	47.8	38.8	No-Conforme	133.6	Ok

Tabla 4.80 Resultados de la verificación del corte del elemento T12-2

#### 4.3.3.11 Elemento T13-1

El edificio T13 se consideró con suelo D en zona 3.

El elemento T13-1 corresponde a un muro dañado en la parte inferior del primer piso.

- **Daño observado**

El elemento dañado y la ubicación de este en la planta del edificio se presentan en la figura 4.58.

La dirección principal de la sección de muro dañada es la dirección y del edificio.

El daño observado corresponde a un aplastamiento y desintegración de hormigón en el borde del muro acompañado de pandeo en el refuerzo longitudinal.

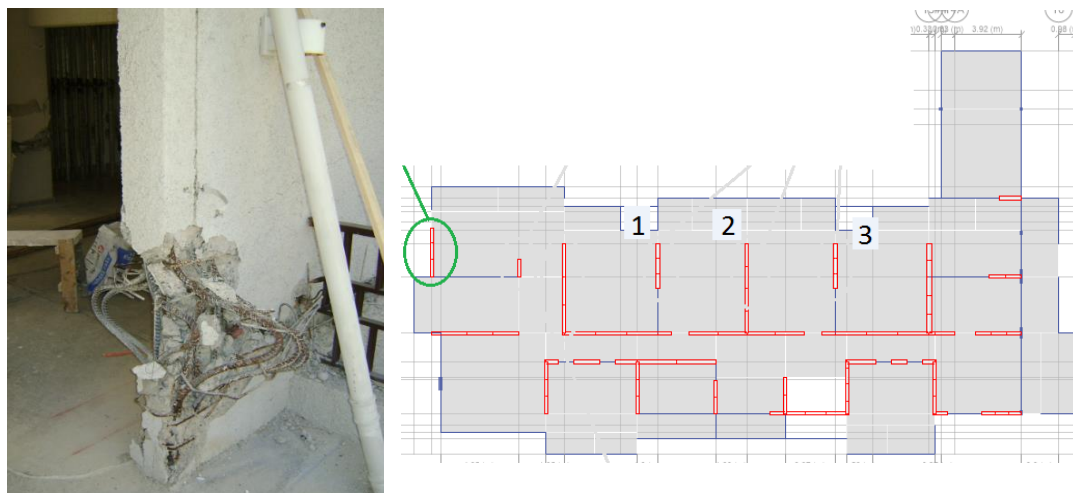


Figura 4.58 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento T13-1

- **Parámetros del elemento para el análisis**

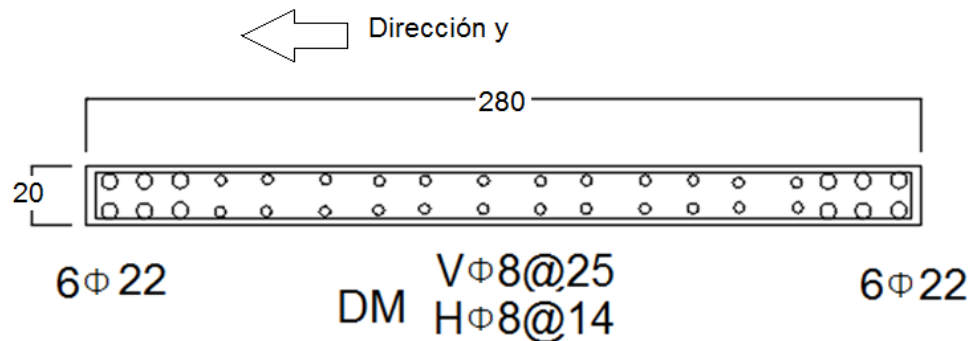
Los parámetros del elemento en el sentido del borde dañado, se presentan en la tabla 4.81.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Orientación principal c/r al edificio	-	Dirección y	-
Largo total en la dirección del análisis	lw	280	[cm]
Espesor, segmento dañado (alma)	bw	20	[cm]
Altura, sección crítica-último piso	H'w	26.5	[m]
Demanda de desplazamiento eje y	d'u	24.0	[cm]
Resistencia del hormigón	f'c (H30)	250	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia del acero a la fluencia	f'y	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

**Tabla 4.81 Parámetros para el elemento T13-1**

- **Disposiciones mínimas del refuerzo**

La distribución del refuerzo se puede observar en la figura 4.59. La verificación del cumplimiento de los requerimientos mínimos de armaduras se presenta en la tabla 4.82, donde se cumple la cuantía longitudinal, pero la transversal es insuficiente. No existe confinamiento apropiado, no hay trabas ni estribos adecuadamente dispuestos. Se considera  $\epsilon_c=0.003$ .



**Figura 4.59 Detalle de armaduras del elemento T13-1**

Cuantías					
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Usada	Mínima	Verificación
Cuantía longitudinal muro	$\rho_l$	%	0.98	0.25	Ok
Cuantía refuerzo transversal	$\rho_t$	%	0.20	0.25	Insuficiente

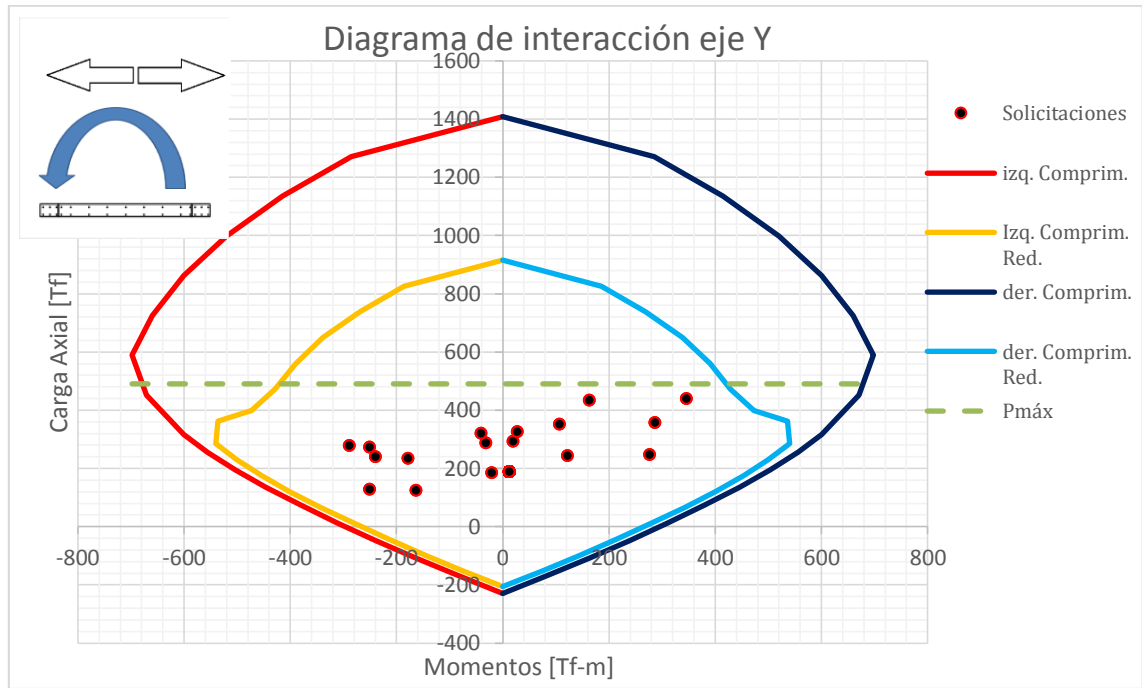
Confinamiento según orientación de la figura 4.59					
Espaciamientos transversales					
Extremo	Nomenclatura	Usada	Máxima	Verificación	$\epsilon_c$ a usar
Izquierdo	So [cm]	25	15	Insuficiente	0.003
Derecho	So [cm]	25	15	Insuficiente	0.003

**Tabla 4.82 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento T13-1**

- **Verificación de flexo-compresión**

La figura 4.60 muestra el diagrama de interacción del elemento T13-1, se observa que todos los puntos están dentro del diagrama y por debajo de  $P_{m\acute{a}x}$ .

Consideraciones:  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]



**Figura 4.60 Diagrama de interacción del elemento T13-1**

- **Verificación de Curvatura**

La figura 4.61 muestra el diagrama de momento curvatura y la tabla 4.83 contiene la verificación de la curvatura en el elemento T13-1, donde se observa que la capacidad del elemento es insuficiente para la demanda en ambas direcciones.

Consideraciones:  $P_u=440.9$  [Tf]  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

$\phi_u$	Según figura 4.61		Verificación $\phi_n > \phi_u$	
	$\phi_n$ -izquierda	$\phi_n$ -derecha	izquierda	derecha
4.47E-04	2.53E-05	2.53E-05	Insuficiente	Insuficiente

**Tabla 4.83 Verificación de la curvatura en elemento T13-1**

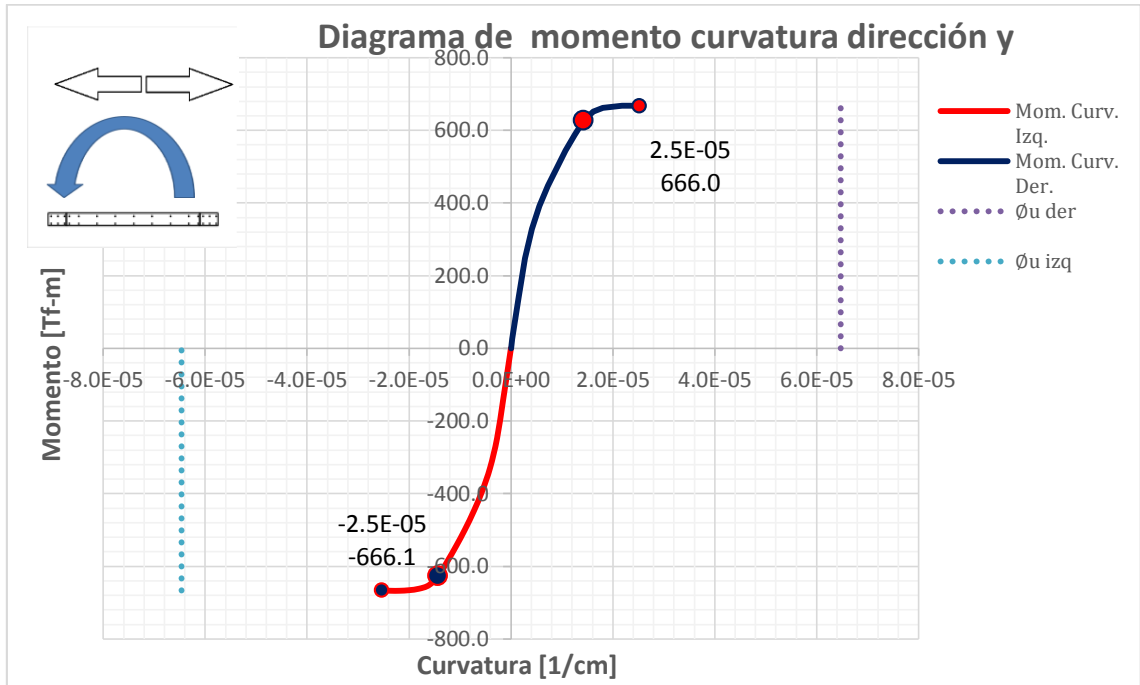


Figura 4.61 Diagrama de momento curvatura del elemento T13-1

- **Verificación de requerimiento de elemento de borde**

En la tabla 4.84 se presenta la verificación del requerimiento de elemento de borde, donde C es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro,  $C_{lim}$  es el límite definido por la norma y  $C_c$  la profundidad del confinamiento. Las consideraciones para este análisis son las mismas que para el diagrama de momento curvatura.

El elemento no posee confinamiento apropiado, y se requiere alrededor de 50 [cm] de confinamiento en ambos extremos del elemento.

Extremo según Figuras 4.60 y 4.61	C	$C_{lim}$	$C_c$	Unidades
Izquierdo	118.8	51.5	67.2	[cm]
Derecho	118.7	51.5	67.2	[cm]

Tabla 4.84 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento T13-1

- **Verificación de la capacidad de corte**

La tabla 4.85 contiene los datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento T13-1 y la tabla 4.86 contiene los resultados de la verificación. En la tabla 4.85,  $V_u'$  es el corte del análisis no mayorado por los factores, el cual se compara con  $V_s$  que es la contribución del refuerzo al corte, esta verificación no es de la norma. Se tiene que  $V_u$  es aquel corte que está mayorado,  $V_c$  es la contribución del hormigón a la resistencia de corte,  $V_n$  es la resistencia nominal de corte y  $V_{s_{máx}}$  es el límite superior de  $V_s$ .

Se observa el criterio  $\phi V_n > V_u$  no se cumple, el elemento necesita más resistencia al corte para cumplir con la demanda. El criterio  $V_s > V_u'$  tampoco se cumple.

Consideraciones:  $f'c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

Diámetro del Refuerzo	Separación	Ramas	Área acero/separación	Largo efectivo	Ancho efectivo	Área bruta	Factor de reducción
$\phi$ [mm]	s [cm]	N°	Ash/s	$d=0.8l_w$ [cm]	bw [cm]	Acv [cm <sup>2</sup> ]	$\phi$
8	25	2	0.04	224.0	20	4480	0.6

Tabla 4.85 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento T13-1

$V_u'$ [Tf]	$V_s$ [Tf]	$V_s > V_u'$	$V_c$ [Tf]	$V_u$ [Tf]	$\phi V_n$	$\phi V_n > V_u$	$V_{s\text{máx}}$ [Tf]	$V_{s\text{máx}} > V_s$
51.1	37.81	No-Conforme	37.5	60.9	45.2	No-Conforme	155.8	Ok

Tabla 4.86 Resultados de la verificación del corte del elemento T13-1

#### 4.3.3.12 Elemento T13-4.2

El edificio T13 se consideró con suelo D en zona 3.

El elemento T13-2 corresponde a un muro dañado en la parte inferior del primer piso.

- **Daño observado**

El elemento dañado y la ubicación de este en la planta del edificio se presentan en la figura 4.62.

La dirección principal de la sección de muro dañada es la dirección y del edificio.

El daño observado corresponde a un aplastamiento de hormigón en el borde del muro acompañado de pandeo en el refuerzo longitudinal.

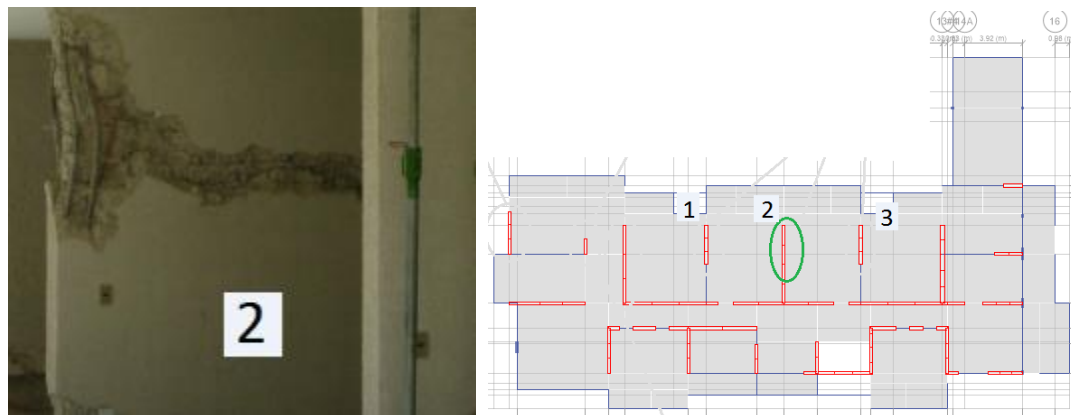


Figura 4.62 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento T13-2

- **Parámetros del elemento para el análisis**

Los parámetros del elemento en el sentido del borde dañado, se presentan en la tabla 4.87.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Orientación principal c/r al edificio	-	Dirección y	-
Largo total en la dirección del análisis	lw	540	[cm]
Espesor, segmento dañado (alma)	bw	20	[cm]
Altura, sección crítica-último piso	H'w	26.5	[m]
Demanda de desplazamiento eje y	d'u	24.0	[cm]
Resistencia del hormigón	f'c (H30)	250	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia del acero a la fluencia	f'y	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

Tabla 4.87 Parámetros para el elemento T13-2

- **Disposiciones mínimas del refuerzo**

La distribución del refuerzo se puede observar en la figura 4.63. La verificación del cumplimiento de los requerimientos mínimos de armaduras se presenta en la tabla 4.88, donde se cumple la cuantía longitudinal, pero la transversal es insuficiente. No existe confinamiento apropiado, no hay trabas ni estribos adecuadamente dispuestos. Se considera  $\epsilon_c=0.003$ .

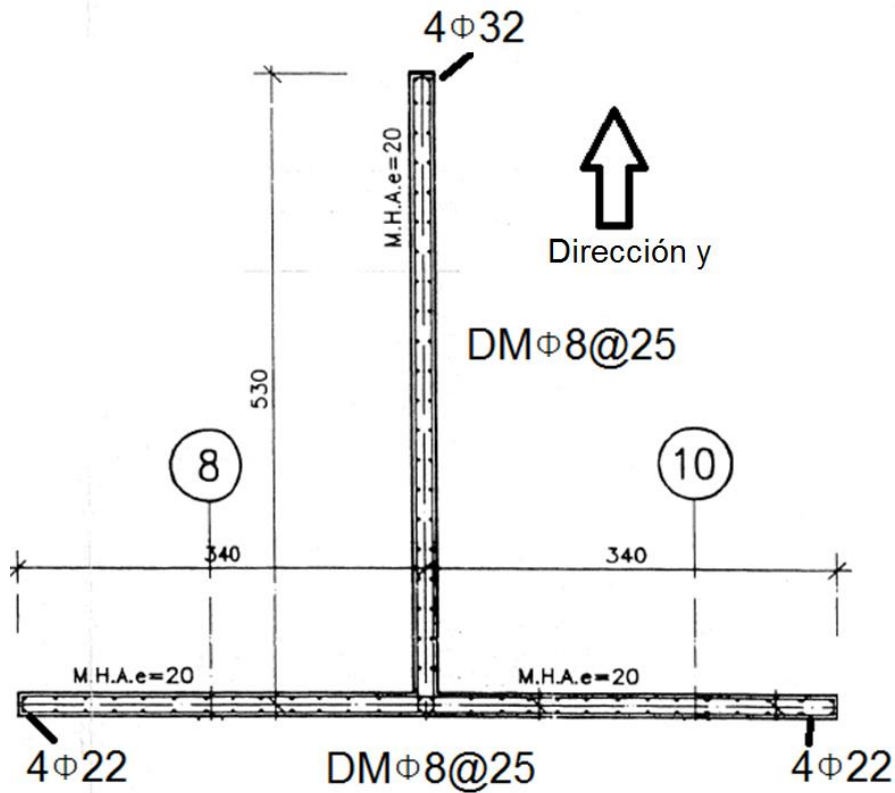


Figura 4.63 Detalle de armaduras del elemento T13-2

Cuantías					
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Usada	Mínima	Verificación
Cuantía longitudinal muro	$\rho_l$	%	0.46	0.25	Ok
Cuantía refuerzo transversal	$\rho_t$	%	0.20	0.25	Insuficiente

Confinamiento según orientación de la figura 4.63					
Espaciamientos transversales					
Extremo	Nomenclatura	Usada	Máxima	Verificación	$\epsilon_c$ a usar
Superior	So [cm]	25	15	Insuficiente	0.003
Inferior	So [cm]	-	15	Insuficiente	0.003

Tabla 4.88 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento T13-2

- Verificación de flexo-compresión

La figura 4.64 muestra el diagrama de interacción del elemento T13-2, se observa que existen puntos al límite del diagrama, sin embargo, todos están bajo  $P_{m\acute{a}x}$ .

Consideraciones:  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

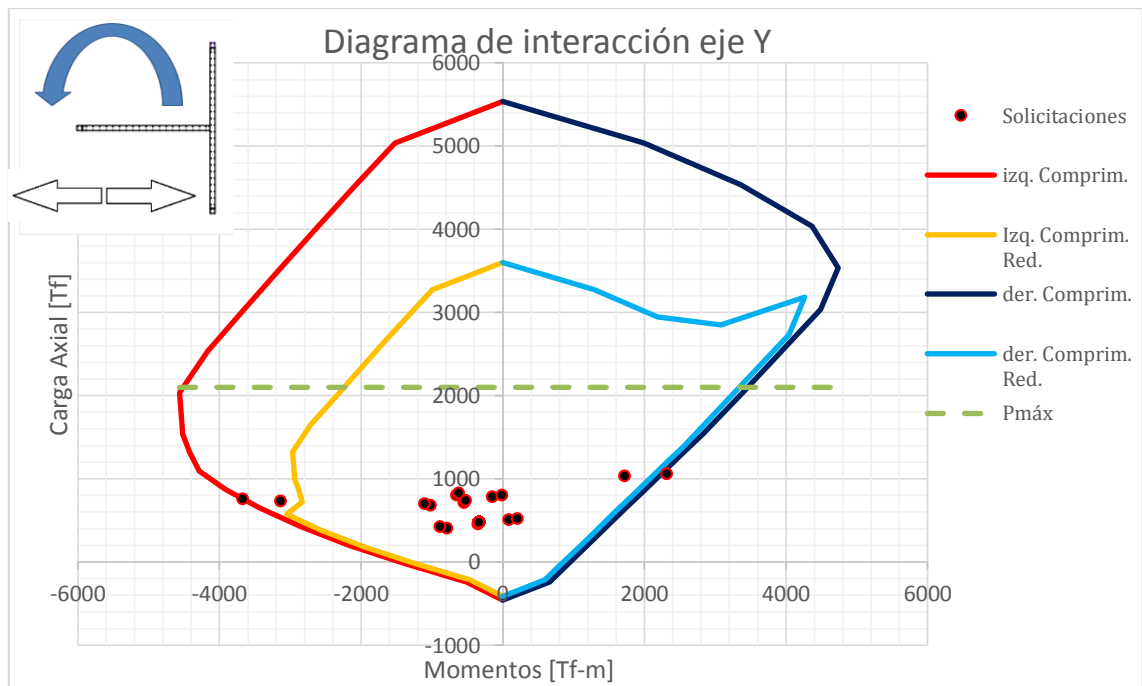


Figura 4.64 Diagrama de interacción del elemento T13-2

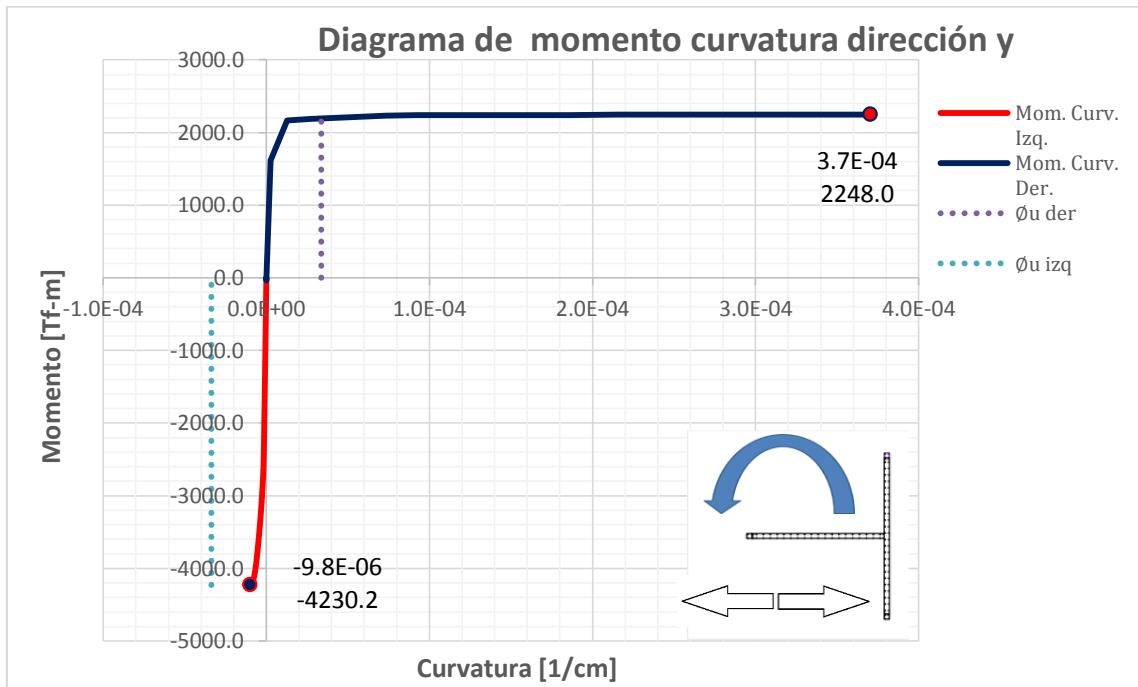
- **Verificación de Curvatura**

La figura 4.65 muestra el diagrama de momento curvatura y la tabla 4.89 contiene la verificación de la curvatura en el elemento T13-2, donde se observa que la capacidad del elemento es insuficiente para la demanda en el borde izquierdo según figura 4.65.

Consideraciones:  $P_u=1059.0$  [Tf]  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

	Según figura 4.65		Verificación $\phi n > \phi_u$	
$\phi_u$	$\phi n$ -izquierda	$\phi n$ -derecha	izquierda	derecha
3.35E-04	8.82E-05	3.71E-04	Insuficiente	Ok

**Tabla 4.89 Verificación de la curvatura en elemento T13-2**



**Figura 4.65 Diagrama de momento curvatura del elemento T13-2**

- **Verificación de requerimiento de elemento de borde**

En la tabla 4.90 se presenta la verificación del requerimiento de elemento de borde, donde  $C$  es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro,  $C_{lim}$  es el límite definido por la norma y  $C_c$  la profundidad del confinamiento. Las consideraciones para este análisis son las mismas que para el diagrama de momento curvatura.

El elemento no posee confinamiento apropiado, y se requiere alrededor de 200 [cm] de confinamiento en el extremo izquierdo del alma (según la figura 4.64 y 4.65).

Extremo según figuras 4.64 y 4.65	C	Clim	Cc	Unidades
Izquierdo	305.5	99.4	206.1	[cm]
Derecho	11.5	99.4	0.0	[cm]

**Tabla 4.90 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento T13-2**

- **Verificación de la capacidad de corte**

La tabla 4.91 contiene los datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento T13-2 y la tabla 4.92 contiene los resultados de la verificación. En la tabla 4.91,  $Vu'$  es el corte del análisis no mayorado por los factores, el cual se compara con  $Vs$  que es la contribución del refuerzo al corte, esta verificación no es de la norma. Se tiene que  $Vu$  es aquel corte que está mayorado,  $Vc$  es la contribución del hormigón a la resistencia de corte,  $Vn$  es la resistencia nominal de corte y  $V_{smáx}$  es el límite superior de  $Vs$ .

Se observa el criterio  $\phi Vn > Vu$  no se cumple, el elemento necesita más resistencia al corte para cumplir con la demanda. El criterio  $Vs > Vu'$  tampoco se cumple.

Consideraciones:  $f'c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $fy=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

Diámetro del Refuerzo	Separación	Ramas	Área acero/separación	Largo efectivo	Ancho efectivo	Área bruta	Factor de reducción
$\phi$ [mm]	s [cm]	N°	Ash/s	$d=0.8lw$ [cm]	bw [cm]	Acv [cm <sup>2</sup> ]	$\phi$
8	25	2	0.04	432.0	20	8640	0.6

**Tabla 4.91 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento T13-2**

$Vu'$ [Tf]	$Vs$ [Tf]	$Vs > Vu'$	$Vc$ [Tf]	$Vu$ [Tf]	$\phi Vn$	$\phi Vn > Vu$	$V_{smáx}$ [Tf]	$V_{smáx} > Vs$
162.8	72.92	No-Conforme	72.4	193.7	87.2	No-Conforme	300.5	Ok

**Tabla 4.92 Resultados de la verificación del corte del elemento T13-2**

#### 4.3.3.13 Elemento T15-1

El edificio T15 se consideró con suelo D en zona 3.

El elemento T15-1 corresponde a una columna dañada en la parte superior del primer piso.

- **Daño observado**

El elemento dañado y la ubicación de este en la planta del edificio se presentan en la figura 4.66.

La dirección principal de la sección de muro dañada es la dirección y del edificio.

El daño observado corresponde a un aplastamiento de hormigón en la unión de la columna con vigas de acople en la transición del piso uno al dos. Existe desprendimiento de hormigón dejando expuesto el refuerzo.

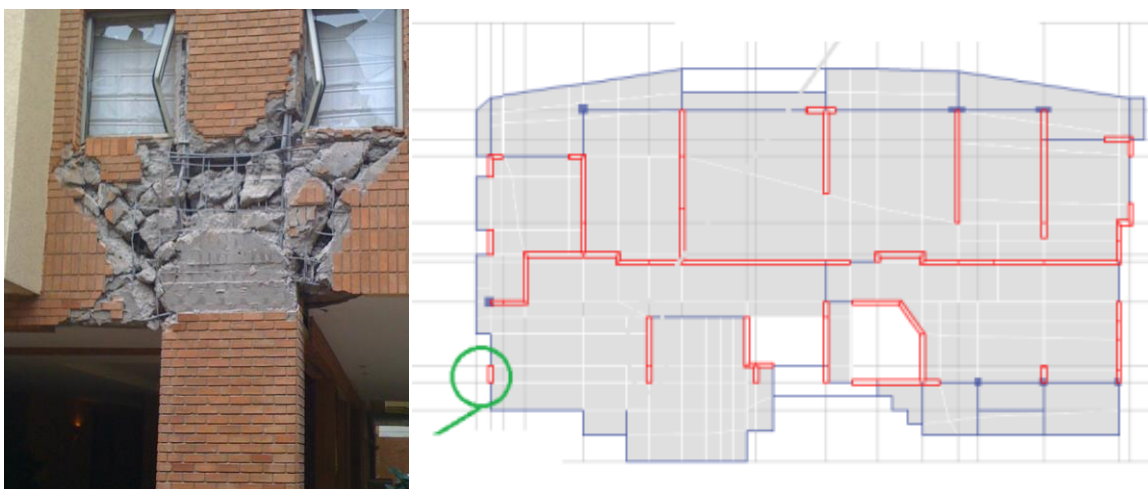


Figura 4.66 Imagen del daño y ubicación en planta del elemento T15-1

- **Parámetros del elemento para el análisis**

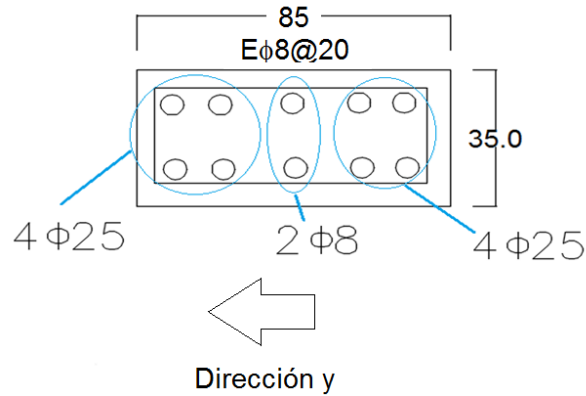
Los parámetros del elemento en el sentido del borde dañado, se presentan en la tabla 4.93.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Orientación principal c/r al edificio	-	Dirección y	-
Largo total en la dirección del análisis	lw	85	[cm]
Espesor, segmento dañado (alma)	bw	35	[cm]
Altura, sección crítica-último piso	H'w	28.1	[m]
Demanda de desplazamiento eje y	d'u	16.6	[cm]
Resistencia del hormigón	f'c (H30)	250	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia del acero a la fluencia	f'y	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

Tabla 4.93 Parámetros para el elemento T15-1

- **Disposiciones mínimas del refuerzo**

La distribución del refuerzo se puede observar en la figura 4.67. La verificación del cumplimiento de los requerimientos mínimos de armaduras se presenta en la tabla 4.94, donde se cumple la cuantía longitudinal y transversal. No existe confinamiento apropiado, no hay trabas ni estribos adecuadamente dispuestos. Se considera  $\epsilon_c=0.003$ .



**Figura 4.67 Detalle de armaduras del elemento T15-1**

Cuantías					
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Usada	Mínima	Verificación
Cuantía longitudinal columna	$\rho_l$	%	4.9	1.00	Ok
Cuantía refuerzo transversal	$\rho_t$	%	0.25	0.25	Ok

Confinamiento según orientación de la figura 4.63					
Espaciamientos transversales					
Extremo	Nomenclatura	Usada	Máxima	Verificación	$\epsilon_c$ a usar
Superior	So [cm]	20	15	Insuficiente	0.003
Inferior	So [cm]	20	15	Insuficiente	0.003

**Tabla 4.94 Verificación de requerimientos mínimos de refuerzo para el elemento T15-1**

- **Verificación de flexo-compresión**

La figura 4.68 muestra el diagrama de interacción del elemento T15-1, se observa que todos los puntos están dentro del diagrama.

Consideraciones:  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

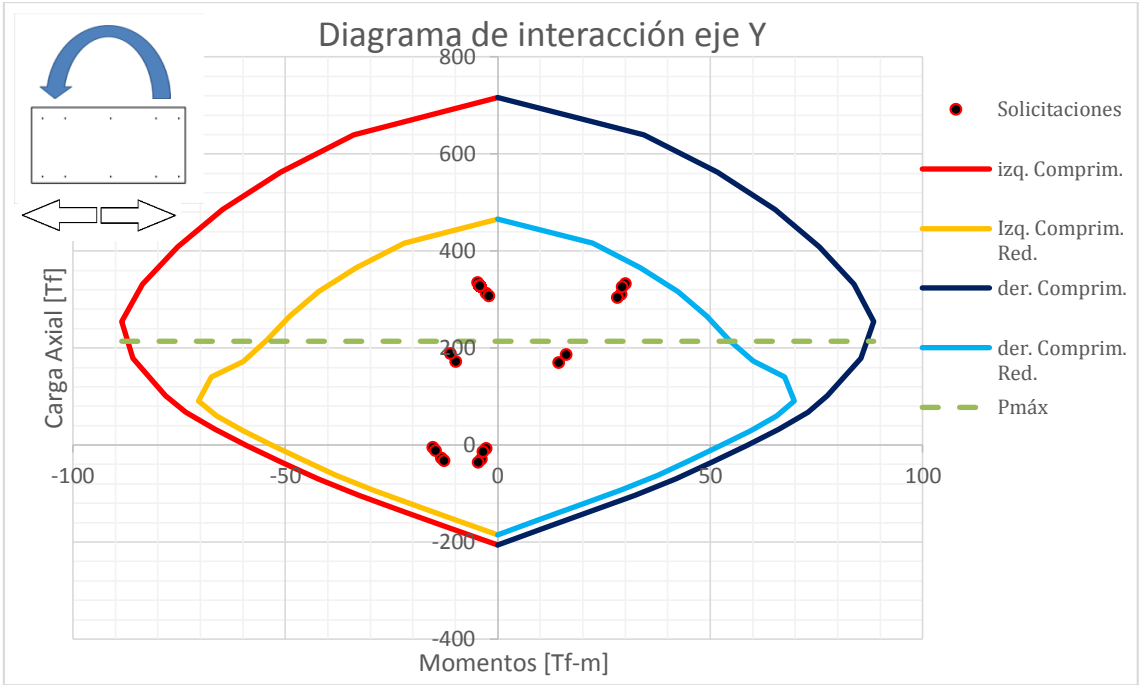


Figura 4.68 Diagrama de interacción del elemento T15-1

• **Verificación de Curvatura**

La figura 4.69 muestra el diagrama de momento curvatura y la tabla 4.95 contiene la verificación de la curvatura en el elemento T15-1, donde se observa que la capacidad del elemento es insuficiente para la demanda en el borde izquierdo según figura 4.95. Hay que destacar que la demanda de curvatura no es tan válida para las columnas ya que la deformación de éstas es principalmente elástica, y la ecuación considerada para el cálculo de  $\phi_u$  es la 21-7a, la cual no considera el aporte de la elástica.

Consideraciones:  $P_u=1059.0$  [Tf]  $\epsilon_c=0.003$   $\epsilon_{sy}=0.002$   $\epsilon_{su}=0.08$   $f_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

$\phi_u$	Según figura 4.69		Verificación $\phi_n > \phi_u$	
	$\phi_n$ -izquierda	$\phi_n$ -derecha	izquierda	derecha
1.69E-04	6.84E-05	6.86E-04	Insuficiente	Insuficiente

Tabla 4.95 Verificación de la curvatura en elemento T15-1

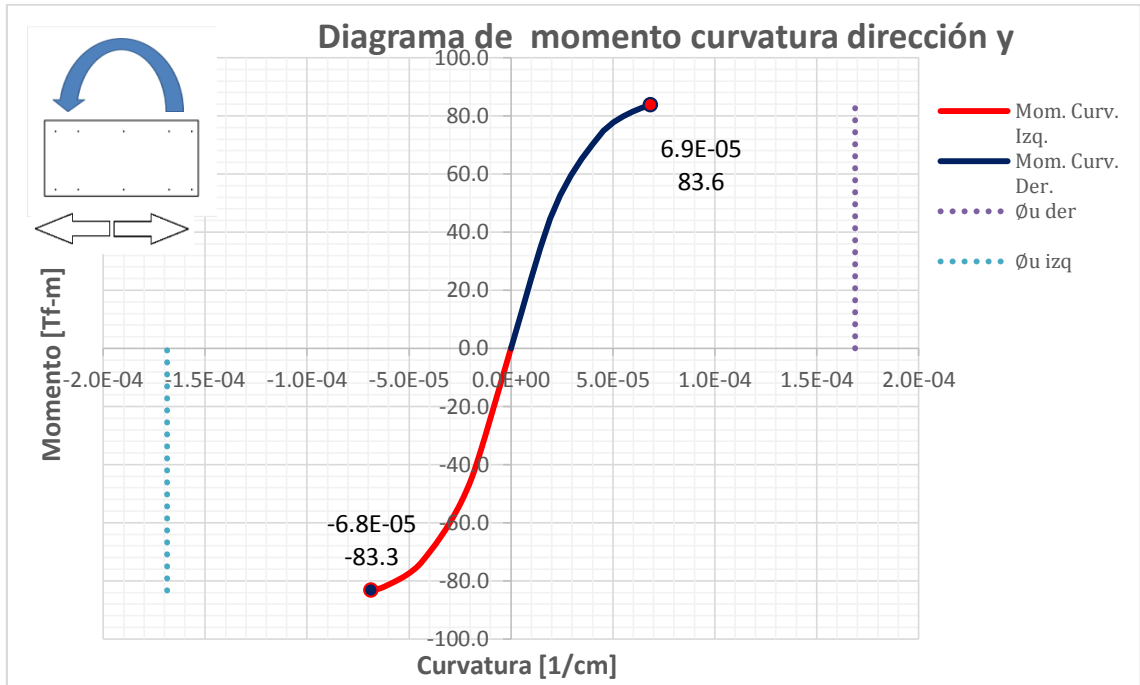


Figura 4.69 Diagrama de momento curvatura del elemento T15-1

- **Verificación de requerimiento de elemento de borde**

En la tabla 4.96 se presenta la verificación del requerimiento de elemento de borde, donde C es la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro, Clim es el límite definido por la norma y Cc la profundidad del confinamiento. Las consideraciones para este análisis son las mismas que para el diagrama de momento curvatura.

El elemento no posee confinamiento apropiado, y se requiere alrededor de 25 [cm] de confinamiento en ambos extremos del elemento.

Extremo	C	Clim	Cc	Unidades
Izquierdo	43.9	19.7	24.1	[cm]
Derecho	43.8	19.7	24.0	[cm]

Tabla 4.96 Verificación de requerimiento de elemento de borde en el elemento T15-1

- **Verificación de la capacidad de corte**

La tabla 4.97 contiene los datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento T15-1 y la tabla 4.98 contiene los resultados de la verificación. En la tabla 4.97, Vu' es el corte del análisis no mayorado por los factores, el cual se compara con Vs que es la contribución del refuerzo al corte, esta verificación no es de la norma. Se tiene que Vu es aquel corte que está mayorado, Vc es la contribución del hormigón a la resistencia de corte, Vn es la resistencia nominal de corte y Vs<sub>máx</sub> es el límite superior de Vs.

Se observa el criterio  $\phi V_n > V_u$  no se cumple, el elemento necesita más resistencia al corte para cumplir con la demanda. El criterio  $V_s > V_u'$  tampoco se cumple.

Consideraciones:  $f'_c=250$  [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y=4200$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

Diámetro del Refuerzo	Separación	Ramas	Área acero/separación	Largo efectivo	Ancho efectivo	Área bruta	Factor de reducción
$\phi$ [mm]	s [cm]	N°	Ash/s	$d=0.8l_w$ [cm]	bw [cm]	Acv [cm <sup>2</sup> ]	$\phi$
8	20	2	0.05	56	35	1120	0.6

**Tabla 4.97 Datos necesarios para determinar la capacidad de corte del elemento T15-1**

$V_u'$ [Tf]	$V_s$ [Tf]	$V_s > V_u'$	$V_c$ [Tf]	$V_u$ [Tf]	$\phi V_n$	$\phi V_n > V_u$	$V_{s_{máx}}$ [Tf]	$V_{s_{máx}} > V_s$
12.9	11.82	No-Conforme	9.4	15.3	12.7	No-Conforme	39.0	Ok

**Tabla 4.98 Resultados de la verificación del corte del elemento T15-1**

#### 4.3.4 Resumen de la verificación del diseño de los elementos dañados

En la tabla 4.99 contiene el resumen del análisis de la norma de los trece elementos analizados, dos columnas y once muros, en ella se puede observar el resultado de cada criterio evaluado.

En cuanto a las armaduras mínimas, los trece elementos tienen la cuantía mínima de refuerzo longitudinal, solo nueve de ellos tienen cuantía mínima transversal y solo dos cuentan con una distribución apropiada del refuerzo de confinamiento.

Con respecto a la capacidad a flexo-compresión, se tiene que seis de los trece elementos tienen todas sus solicitaciones dentro del diagrama de interacción, y siete de los once muros analizados tienen sus solicitaciones bajo  $P_{máx}$  ( $P_{máx}$  no es requerido en columnas).

Relativo a la capacidad de curvatura, se tiene que solo dos elementos superan la demanda de la norma, esto considerando un  $\epsilon_c=0.003$ . Solo un elemento de los trece cuenta con una profundidad de confinamiento superior a la necesaria según normativa.

Para la capacidad de corte, se tiene que solo dos elementos cumplen con que el corte nominal reducido sea superior la solicitación mayorada ( $\phi V_n > V_u$ ). Por otro lado, ningún elemento tiene armadura al corte superior a la máxima  $V_{s_{máx}}$ ; y con respecto a la relación de resistencia al corte proporcionada exclusivamente por el refuerzo, comparada con la solicitación de corte sin mayorar ( $V_s > V_u'$ , aspecto no normativo), se tiene que solo tres de los trece elementos la cumplen.

Solo el elemento A3-2 cumple con todos los criterios evaluados. La evaluación de estos criterios no permite definir la razón de la falla, pero si permite tener una aproximación al posible comportamiento de los elementos ante el sismo.

Elemento		Refuerzo mínimo			Capacidad Flexo-compresión		Capacidad de desplazamiento		Capacidad de corte		
Edificio	Elemento	$\rho > \rho_{\min}$	$\rho_t > \rho_{t\min}$	Separación apropiada refuerzo de confinamiento	Todos los puntos dentro de D.I.	Todos los puntos Bajo $P_{\max}$	$\phi_n > \phi_u$	Profundidad confinamiento $> c_c$	$V_s > V_u'$	$\phi V_n > V_u$	$V_{s\max} > V_s$
N1	1	ok	ok	no	no	-	no	no	ok	ok	ok
A3	1	ok	ok	ok	ok	ok	no	no	no	no	ok
A3	2	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
B4	3	ok	ok	no	no	ok	no	no	no	no	ok
B4	4	ok	ok	no	no	ok	no	no	no	no	ok
F5	1	ok	no	no	ok	ok	no	no	no	no	ok
M6	1	ok	ok	no	ok	no	ok	no	no	no	ok
R10	2	ok	ok	no	no	no	no	no	no	no	ok
R11	2	ok	ok	no	no	no	no	no	ok	no	ok
T12	2	ok	no	no	no	no	no	no	no	no	ok
T13	1	ok	no	no	ok	ok	no	no	no	no	ok
T13	4.2	ok	no	no	ok	ok	no	no	no	no	ok
T15	1	ok	ok	no	si	-	no	no	no	no	ok
cumplen		13	9	2	6	7	2	1	3	2	13
no cumplen		0	4	11	7	4	11	12	10	11	0
Total		13	13	13	13	11	13	13	13	13	13

**Tabla 4.99 Resumen de la verificación del diseño de los elementos dañados**

## 5 PERFIL BÍO-SÍSMICO DE LOS EDIFICIOS (GUENDELMAN T., LINDEMBERG J., 1997)

### 5.1 General

En este capítulo se presenta los resultados de la evaluación de los trece indicadores presentes en el “Perfil Bio-Sísmico de edificios” propuesto por Guendelman T. y Lindenberg J., en 1997, para los veinte edificios estudiados. Complementario a los indicadores mismos, se analiza una posible correlación entre los valores de éstos con los daños observados en las estructuras.

El Perfil Bío-Sísmico, consiste en una metodología de calificación sísmica de edificios de hormigón armado a través de la evaluación de indicadores que se comparan con valores considerados satisfactorios. Este procedimiento pretende detectar deficiencias de la estructura resistente y definir eventuales correcciones, así como recomendar estudios complementarios de mayor rigor analítico en aquellos casos que sea necesario.

El procedimiento, según Guendelman y Lindenberg, surge como una respuesta a la pérdida de comprensión del comportamiento de la estructura resistente en su globalidad, debida a la automatización del cálculo por el avance en software estructural y sísmico utilizado en las oficinas de proyectos. A esto se suma el significativo aumento del volumen de información necesario para el empleo de estas tecnologías. En conclusión, se genera un amplio margen para errores humanos.

Según Guendelman y Lindenberg, la responsabilidad del ingeniero estructural no está acotada al sólo cumplimiento de las disposiciones normativas, sino que también debe revisar el efecto de otros factores críticos como por ejemplo:

- Detección de mecanismos potenciales de falla (Vulnerabilidad Sísmica).
- Evaluación de las debilidades de la estructuración del edificio (Peligrosidad Estructural).
- Situaciones de exposición sísmica de la estructura durante el proceso de construcción.
- Grado de acoplamiento entre las direcciones de análisis.
- Redundancia y requerimientos de ductilidad y direcciones sísmicas alternativas.

### 5.2 Cálculo de Indicadores

#### 5.2.1 General

El análisis del Perfil Bío-Sísmico puede conducir, en forma simple, a detectar deficiencias de la estructura resistente y definir eventuales correcciones. También, puede recomendar estudios complementarios de mayor rigor analítico, pero limitando tales casos a aquellas situaciones que realmente sean necesarias. La elección de indicadores y los rangos considerados satisfactorios, podrán modificarse según la experiencia del ingeniero estructural que realiza el análisis y diseño de un edificio. Se observa que algunos indicadores están relacionados entre sí. Sin embargo, se incluyen porque pueden detectar, con diferente sensibilidad, diversos problemas de estructuración.

En total son trece indicadores separados en tres grupos. El primer grupo corresponde a indicadores de rigidez, el segundo grupo a indicadores de acoplamiento y el tercero a indicadores de redundancia estructural.

Entre los indicadores de rigidez se tiene el cociente altura total sobre el periodo del primer modo traslacional, el efecto  $P-\Delta$ , el desplazamiento del nivel superior, y los máximos

desplazamientos de entrepisos. Entre los indicadores de acoplamiento se tiene el cociente entre los periodos fundamentales, la masa rotacional acoplada, la excentricidad dinámica, el cociente de masas equivalentes traslacionales, acoplada y directa, relaciones de esfuerzos de corte acoplados y directos, y momentos volcantes acoplados y directos. En los indicadores de redundancia estructural, se tiene el número de elementos relevantes en la resistencia sísmica, y el factor de reducción espectral efectivo  $R^{**}$ . La tabla 5.1 contiene los indicadores del Perfil Bío-Sísmico y los valores considerados en cada rango como normal y apartado del rango normal.

Para el análisis se consideraron todos los edificios con el espectro sísmico correspondiente al de la NCh433 Of.96 Mod.2009 complementada con el Decreto Supremo N°61 del 2011, considerando un suelo tipo C y D, según corresponda a cada caso y una zona sísmica 3. Los factores de reducción espectral se obtienen de la misma NCh433 y han sido determinados en el Capítulo 4, para mayor detalle revisar dicho capítulo. Los edificios se analizaron con modelos ETABS 2015. Notar además que los indicadores más dependientes del espectro son los asociados a desplazamientos, a los cortes basales y a los momentos volcantes, por tanto cinco indicadores se verían influidos mayoritariamente por el espectro considerado, y de estos cuatro, tres indicadores están asociados a los cálculos del Capítulo 4. Los demás indicadores que consideran cortes y momentos, miden la relación entre estos en ambas direcciones, por tanto la dependencia del tipo de espectro será menor.

Anexo a los indicadores, se analiza la posible correlación de los valores de los indicadores con la dirección principal del daño observado en los edificios (ver Capítulo 7). La dirección x corresponde a la de mayor longitud en planta del edificio, y la dirección y corresponde a la dirección menor, perpendicular a x.

Indicadores del Perfil Bío-Sísmico	Valores dentro de rangos normales.	Valores aceptables ligeramente apartados de rangos normales.
<b>Rigidez</b>		
1 $H/T$ [m/s]	30 - 70	20 - 30 y 70 - 150
2 $M_{p.v.}/M_{volc. basal directo}$	0 - 0,1	
3 $1000 \cdot \delta/H$	0,2‰ - 2,0‰	0‰ - 0,2‰
4 $1000 \cdot \delta_{centro gravedad}/h$	0,2‰ - 2,0‰	0‰ - 0,2‰
5 $1000 \cdot \delta_{extremo}/h$	0‰ - 1,0‰	
<b>Acoplamiento Traslación-Rotación y Traslación-Traslación</b>		
6 $T_{rotacional}/T_{traslacional}$	0 - 0,8 y 1,2 - 1,5	0,8 - 1,2 y 1,5 - 2,0
7 $M_{eq. rot. acoplada}/M_{eq. trasl. directa}$	0 - 0,2	0,2 - 0,5
8 $(M_{torsor basal}/Q_{basal})/r_{basal}$	0 - 0,2	0,2 - 0,5
9 $M_{eq. trasl. acoplada}/M_{eq. trasl. directa}$	0 - 0,5	0,5 o más
10 $Q_{basal acoplado}/Q_{basal directo}$	0 - 0,5	0,5 o más
11 $M_{volc. basal acoplado}/M_{volc. basal directo}$	0 - 0,5	0,5 o más
<b>Redundancia Estructural y Demanda de Ductilidad</b>		
12 Número Ejes Resistentes	más de 3	2 - 3
13 $R^{**}$	inferior a 3	3 - 7

**Tabla 5.1 Rango de valores normales y aceptables de los indicadores (Perfil Bío-Sísmico de edificios 1997)**

A continuación se presenta la definición del indicador acompañado del cálculo del mismo. Las definiciones mencionadas a continuación fueron extraídas y complementadas de la memoria de título “Calificación Sísmica de Edificios Altos” de Ricardo Henoch, 2007.

## 5.2.2 Indicadores de Rigidez

En este apartado se explica y calcula el cociente entre la altura total del edificio sobre el periodo del primer modo traslacional, el efecto P- $\Delta$ , el desplazamiento del nivel superior, y los máximos desplazamientos de entrepisos.

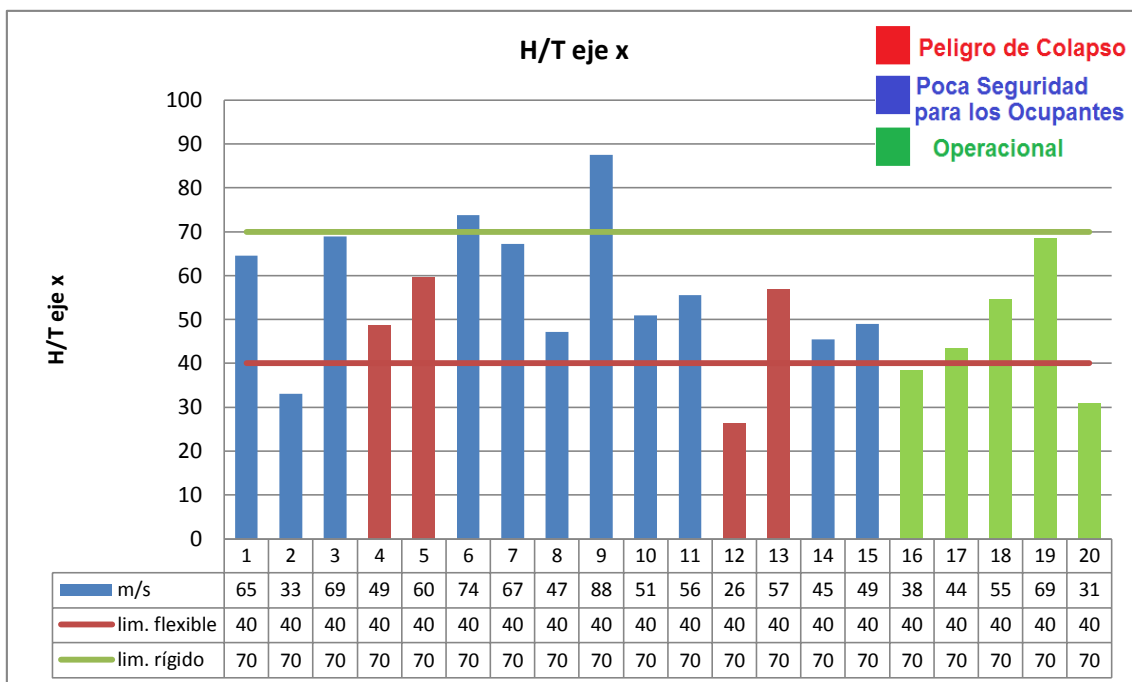
### 5.2.2.1 Cuociente entre la altura total y el periodo del primer modo traslacional

Este indicador, con dimensiones de velocidad, ha sido considerado como un mejor estimador de la rigidez del edificio en comparación con otras proposiciones de uso frecuente. En términos generales, es posible señalar que valores de H/T entre 20 y 40 m/seg identifican los edificios flexibles; entre 40 y 70, los de rigidez normal; y sobre 70, hasta un máximo de 150, a los rígidos. Valores inferiores a 20 m/seg indican que la estructura es muy flexible y que, probablemente, presentará problemas de cumplimiento de las disposiciones de desplazamiento que fijan las normas de análisis y diseño sísmico. En el otro extremo, se considera que valores superiores a 150 m/seg corresponden a estructuras con excesiva rigidez lateral.

La tabla 5.2 muestra los valores de altura, periodo y el cociente entre ellos, esto para cada dirección de análisis. Se indica en qué rango se encuentran los valores, y se indica la dirección principal del daño en los edificios. Las tablas 5.3 y 5.4 muestran los promedios por nivel de desempeño y por rango de pisos del indicador para cada dirección respectiva (x e y). Las figuras 5.1 y 5.2 muestran los valores del indicador para cada dirección respectivamente.

Edificio	Altura [m]	Periodo x [s]	Periodo y [s]	H/Tx [m/s]	H/Ty [m/s]	Rango de rigidez x	Rango de rigidez y	Dirección del daño
1	46.5	0.72	0.94	64.6	49.5	Normal	Normal	y
2	44.0	1.33	1.80	33.1	24.4	Flexible	Flexible	x
3	46.9	0.68	1.02	69.0	46.0	Normal	Normal	y
4(*)	35.5	0.73	0.75	48.6	47.3	Normal	Normal	y
5(*)	44.2	0.74	0.87	59.7	50.8	Normal	Normal	y
6	31.0	0.42	0.73	73.8	42.5	Rígido	Normal	y
7	52.4	0.78	1.29	67.2	40.6	Normal	Normal	x
8	36.3	0.77	0.82	47.1	44.3	Normal	Normal	x
9	21.0	0.24	0.50	87.5	42.0	Rígido	Normal	y
10	43.8	0.86	1.24	50.9	35.3	Normal	Flexible	y
11	48.9	0.88	1.17	55.6	41.8	Normal	Normal	y
12(*)	34.4	1.31	1.00	26.3	34.4	Flexible	Flexible	x-y
13(*)	30.7	0.54	0.88	56.9	34.9	Normal	Flexible	y
14	47.3	1.04	1.15	45.5	41.1	Normal	Normal	x-y
15	32.3	0.66	0.66	48.9	48.9	Normal	Normal	y
16	61.0	1.59	2.37	38.4	25.7	Flexible	Flexible	-
17	23.5	0.54	0.48	43.5	49.0	Normal	Normal	-
18	31.2	0.57	0.84	54.7	37.1	Normal	Flexible	-
19	43.2	0.63	1.04	68.6	41.5	Normal	Normal	-
20	43.7	1.41	1.41	31.0	31.0	Flexible	Flexible	-

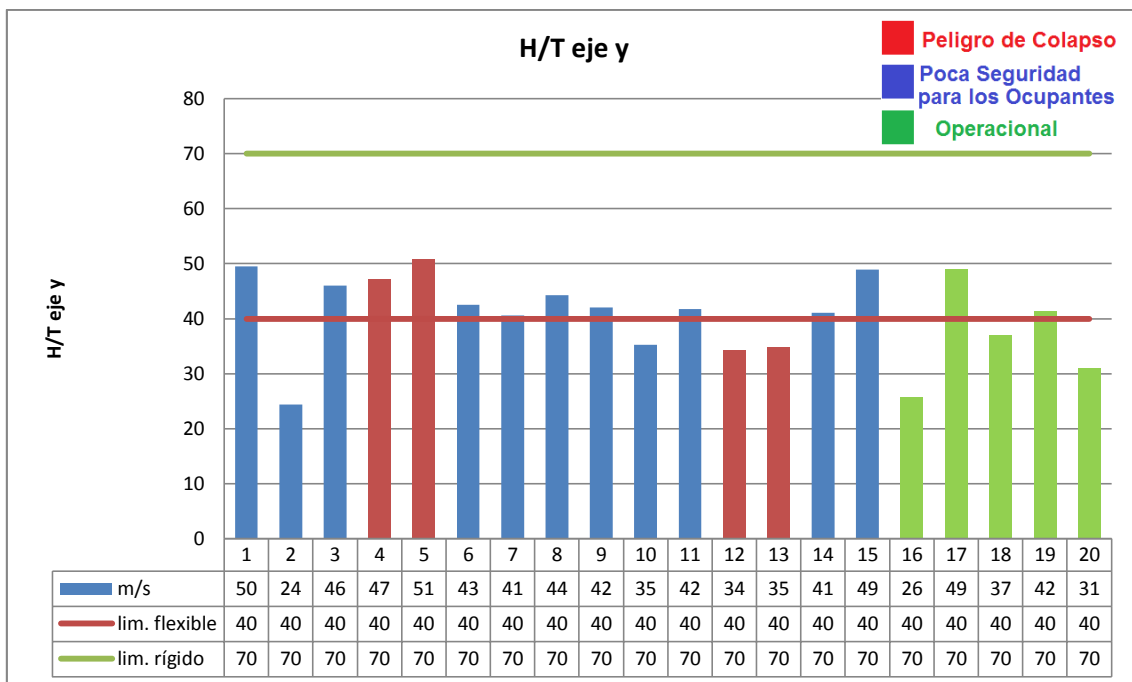
Tabla 5.2 Cuociente entre la altura y el periodo del primer modo traslacional. (\*) Peligro de Colapso



**Figura 5.1 Cuociente entre la altura y el periodo del primer modo traslacional dirección x**

Promedios por rango de altura del edificio: H/T dirección x				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	87.5 (1)	43.5 (1)	65.5 (2)
11 a 14 pisos	43.9 (3)	56.6 (3)	54.7 (1)	50.9 (7)
15 a 18 pisos	59.7 (1)	53.1 (6)	49.8 (2)	53.1 (9)
más de 19 pisos	-	67.2 (1)	38.4 (1)	52.8 (2)
Promedios generales: H/T dirección x				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	47.9	58.5	47.2	53.5
Desviación estándar	15.2	15.5	14.7	15.5

**Tabla 5.3 Promedios del cuociente entre la altura y el periodo del primer modo traslacional dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**



**Figura 5.2 Cuociente entre la altura y el periodo del primer modo traslacional dirección y**

Promedios por rango de altura del edificio: H/T dirección y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	42 (1)	49 (1)	45.5 (2)
11 a 14 pisos	38.9 (3)	45.2 (3)	37.1 (1)	41.3 (7)
15 a 18 pisos	50.8 (1)	37.7 (6)	36.3 (2)	39 (9)
más de 19 pisos	-	40.6 (1)	25.7 (1)	33.2 (2)
Promedios generales: H/T dirección y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	41.9	40.7	36.9	39.9
Desviación estándar	8.4	6.7	9.1	7.5

**Tabla 5.4 Promedios del cuociente entre la altura y el periodo del primer modo traslacional dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**

- Comentario**

Tres edificios con buen desempeño quedan en el rango flexible en al menos una dirección local, los otros dos quedan en el rango normal. Se observa que 4 de 15 edificios con mal desempeño están en el rango flexible, un edificio con mal desempeño cae en el rango rígido, el resto de los edificios se hayan en el rango de rigidez normal.

Como referencia se puede observar que los edificios con buen desempeño tienen un promedio en este indicador ligeramente menor, según este indicador, en general los edificios con buen desempeño son un poco más flexibles.

### 5.2.2.2 Efecto P- $\Delta$

Se propone medir este efecto a través del cociente entre el momento flector basal ( $M_{P-\Delta}$ ) generado por los productos acumulados de los pesos de cada piso por sus respectivos desplazamientos laterales obtenidos del análisis sísmico con el espectro reducido de la norma, y el momento volcante basal ( $M_b$ ) debido a la misma acción sísmica. Se estima que los valores para los que este efecto puede ser ignorado están comprendidos entre 0 y 5%.

Se tiene entonces para cada edificio, en cada piso un desplazamiento del centro de masa, dicho desplazamiento debe multiplicarse por el peso sísmico de dicho piso, teniendo dicho producto en cada piso, se deben sumar, la suma total corresponderá al valor de  $M_{P-\Delta}$  para la dirección de dichos desplazamientos. El procedimiento se realiza con ayuda de los datos obtenidos de los modelos ETABS, en donde es posible determinar cada dato de manera sencilla.

En la tabla 5.5 se tiene el valor de los productos acumulados de los pesos de cada piso por su respectivo desplazamiento en ambas direcciones, los momentos volcantes basales " $M_b x$ " y " $M_b y$ ", y el respectivo cociente entre las dos variables  $M_{P-\Delta}/M_b$  para cada dirección principal, también se muestra la dirección predominante del daño.

Los desplazamientos en dirección y (debido al sismo en y), generan los momentos en torno al eje x " $M_{P-\Delta} x$ ", y los desplazamientos en x (debido al sismo en x), generan los momentos en torno al eje y " $M_{P-\Delta} y$ ".

El momento volcante basal en dirección x, " $M_b x$ ", corresponde al momento volcante generado en torno a la dirección x, mientras que el momento volcante basal en dirección y, corresponde al momento volcante generado en torno a la dirección y.

Las figuras 5.3 y 5.4 muestran los valores de este indicador en porcentajes para cada dirección respectivamente. Las tablas 5.6 y 5.7 contienen los promedios de este indicador.

Edificio	$M_{P-\Delta}$ x Sismo y [Tf-m]	$M_{P-\Delta}$ y Sismo x [Tf-m]	$M_b$ x Sismo y [Tf-m]	$M_b$ y Sismo x [Tf-m]	$M_{P-\Delta}/M_b$ x Sismo y	$M_{P-\Delta}/M_b$ y Sismo x	Dirección del daño
1	83.6	124.0	29808	31064	0.0028	0.0040	y
2	245.2	333.7	28481	27490	0.0086	0.0121	x
3	55.9	165.6	30006	40025	0.0019	0.0041	y
4(*)	61.7	60.0	14112	13535	0.0044	0.0044	y
5v	148.1	178.8	71089	52709	0.0021	0.0034	y
6	11.4	33.4	10636	10302	0.0011	0.0032	y
7	97.7	257.7	46104	44268	0.0021	0.0058	x
8	46.5	63.0	18991	19544	0.0025	0.0032	x
9	1.8	6.1	5114	3856	0.0004	0.0016	y
10	138.3	134.7	7049	7208	0.0196	0.0187	y
11	84.7	171.9	27466	30615	0.0031	0.0056	y
12(*)	110.3	72.0	11788	16082	0.0094	0.0045	x-y
13(*)	32.4	74.8	20250	17030	0.0016	0.0044	y
14	174.9	209.6	31809	32357	0.0055	0.0065	x-y
15	27.9	40.4	8580	10006	0.0033	0.0040	y
16	435.7	654.3	51835	47460	0.0084	0.0138	-
17	26.6	20.5	11286	11343	0.0024	0.0018	-
18	21.1	35.6	8755	68574	0.0024	0.0005	-
19	239.0	145.2	119024	30047	0.0020	0.0048	-
20	156.3	186.3	16371	16130	0.0095	0.0116	-

Tabla 5.5 Efecto P-Δ. (\*) Peligro de Colapso

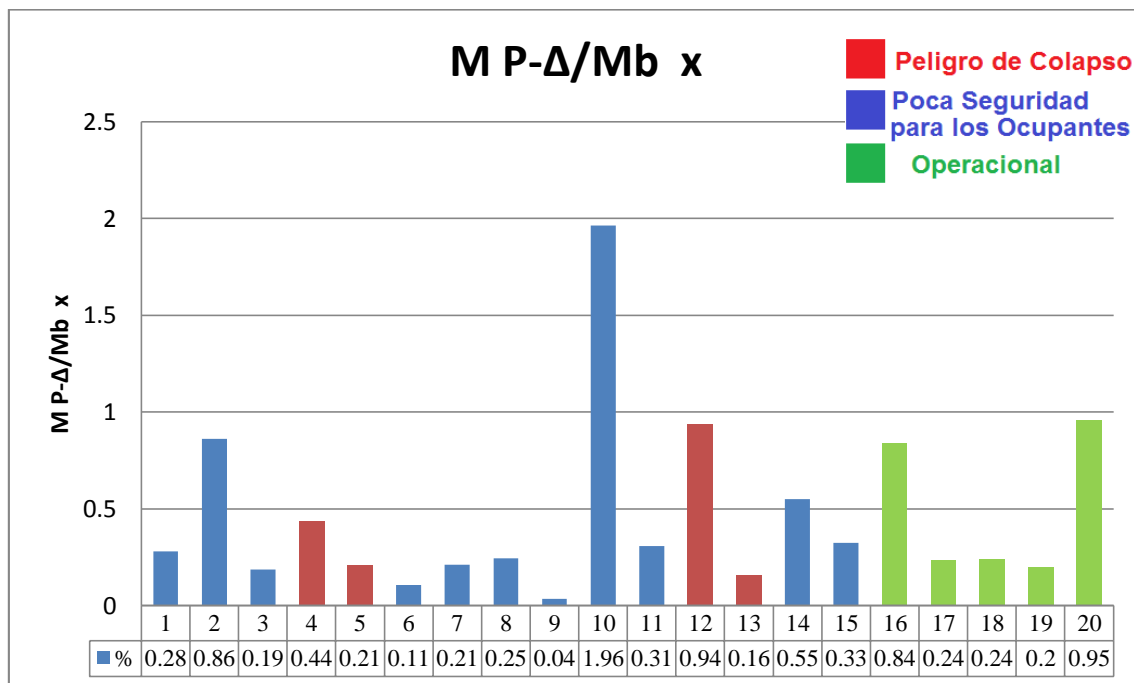
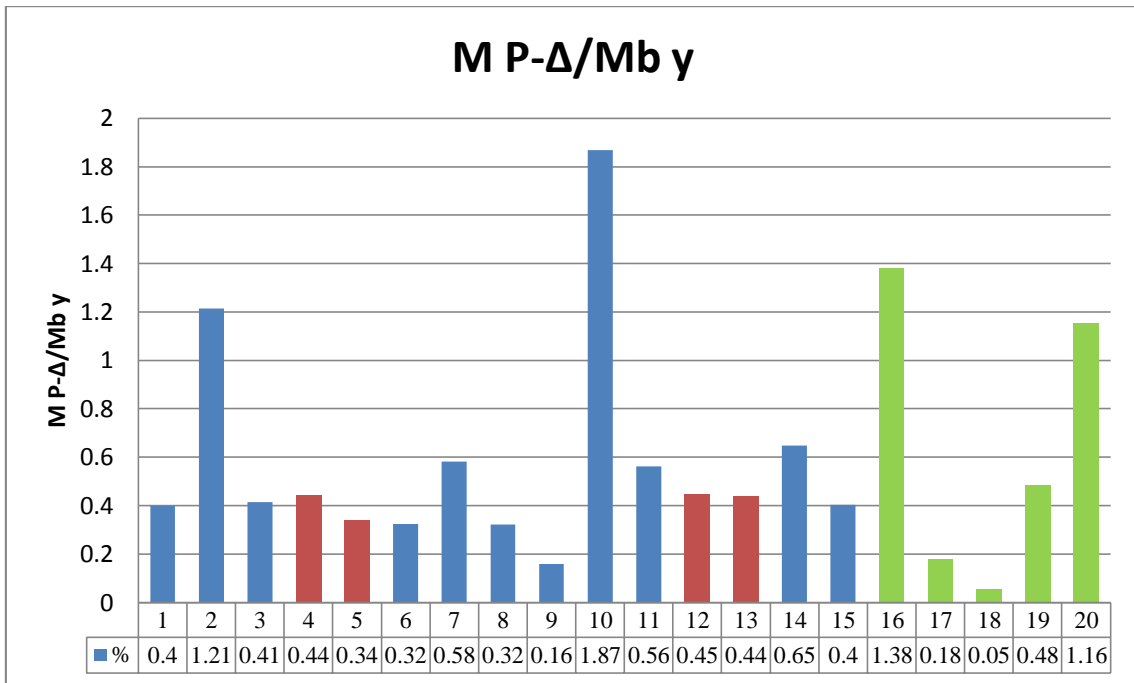


Figura 5.3 Efecto P-Δ en torno a la dirección x (sismo en y)

Promedios por rango de altura del edificio: M-D/Mb-x				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.04 (1)	0.24 (1)	0.14 (2)
11 a 14 pisos	0.51 (3)	0.23 (3)	0.24 (1)	0.35 (7)
15 a 18 pisos	0.21 (1)	0.69 (6)	0.58 (2)	0.61 (9)
más de 19 pisos	-	0.21 (1)	0.84 (1)	0.53 (2)
Promedios generales: M-D/Mb-x				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.44	0.46	0.49	0.46
Desviación estándar	0.35	0.55	0.37	0.45

**Tabla 5.6 Promedios del efecto P-Δ en torno a la dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**



**Figura 5.4 Efecto P-Δ en torno a la dirección y (sismo en x)**

Promedios por rango de altura del edificio: M-D/Mb-y %				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.16 (1)	0.18 (1)	0.17 (2)
11 a 14 pisos	0.44 (3)	0.35 (3)	0.05 (1)	0.35 (7)
15 a 18 pisos	0.34 (1)	0.85 (6)	0.82 (2)	0.79 (9)
más de 19 pisos	-	0.58 (1)	1.38 (1)	0.98 (2)
Promedios generales: M-D/Mb-y %				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.42	0.63	0.65	0.59
Desviación estándar	0.05	0.49	0.59	0.46

**Tabla 5.7 Promedios del efecto P- $\Delta$  en torno a la dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**

- **Comentario**

Se observa que el efecto P- $\Delta$  en todos los casos es menor al 5%, valor bajo el cual se desprecia dicho efecto.

Con respecto a los promedios, se tiene una alta desviación estándar, pero para referencia se tiene un menor valor en ambas direcciones para los edificios con buen desempeño para este indicador. Este indicador, en promedio, tiene mayor valor con respecto a la dirección x (sismo en y).

### 5.2.2.3 Desplazamiento del nivel superior

Este parámetro no está explícitamente restringido en la normativa sísmica vigente, sino indirectamente, en el párrafo 5.9 de deformaciones sísmicas, a través del control sobre los máximos desplazamientos relativos. La evaluación de este indicador, señala que para edificios flexibles, sus valores se sitúan entre 1‰ y 2‰ de la altura total H del edificio, y que para rigideces normales, (H/T del orden de 50 m/s) se concentran en torno a 0.5‰, que se conjuga adecuadamente con el criterio de calificación de rigideces señalado anteriormente, haciendo recomendable que, para evitar rigideces excesivas, este parámetro no esté por debajo del 0.2‰.

Los desplazamientos se obtienen del análisis sísmico con el mismo espectro reducido para todos los edificios (descrito anteriormente).

La tabla 5.8 contiene la altura total del edificio en [m], el desplazamiento de techo [cm], y el cociente entre ellos para cada dirección principal del edificio, se destacan valores fuera del rango normal, también se muestra la dirección predominante del daño. Las figuras 5.5 y 5.6 muestran los valores del indicador gráficamente para cada dirección, y las tablas 5.9 y 5.10 tienen los promedios del indicador para cada dirección respectivamente por rango de pisos y por nivel de desempeño.

Edificio	Altura [m]	Desplazamiento de techo dirección x cm	Desplazamiento de techo dirección y cm	d/H x ‰	d/H y ‰	Dirección del daño
1	46.5	2.09	3.10	0.45	0.67	y
2	44.0	4.46	6.07	1.01	1.38	x
3	46.9	1.13	3.35	0.24	0.71	y
4	35.5	2.47	2.40	0.70	0.68	y
5	44.2	2.26	2.73	0.51	0.62	y
6	31.0	0.55	1.61	0.18	0.52	y
7	52.4	2.19	5.78	0.42	1.10	x
8	36.3	1.84	2.49	0.51	0.69	x
9	21.0	0.19	0.64	0.09	0.30	y
10	43.8	3.03	2.95	0.69	0.67	y
11	48.9	2.26	4.59	0.46	0.94	y
12	34.4	3.57	2.33	1.04	0.68	x-y
13	30.7	1.26	2.91	0.41	0.95	y
14	47.3	3.38	4.05	0.72	0.86	x-y
15	32.3	1.43	2.07	0.44	0.64	y
16	61.0	6.20	9.31	1.02	1.53	-
17	23.5	1.36	1.05	0.58	0.45	-
18	31.2	1.67	2.82	0.54	0.90	-
19	43.2	1.30	4.32	0.30	1.00	-
20	43.7	5.32	6.34	1.22	1.45	-

Tabla 5.8 Desplazamientos del nivel superior del edificio

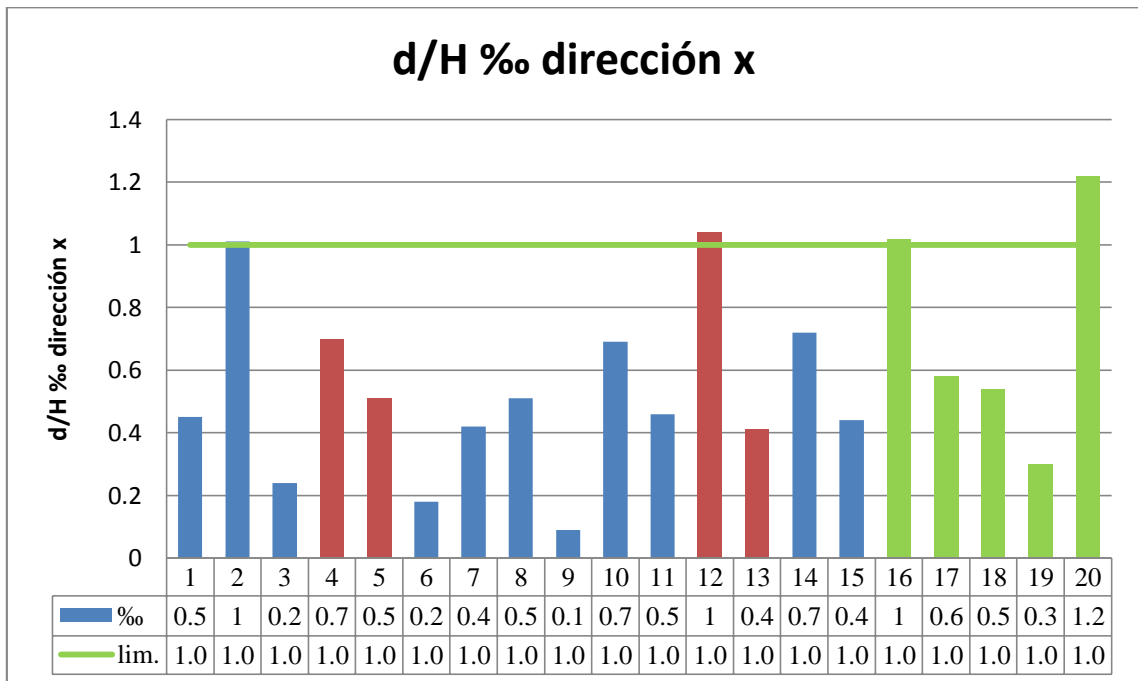
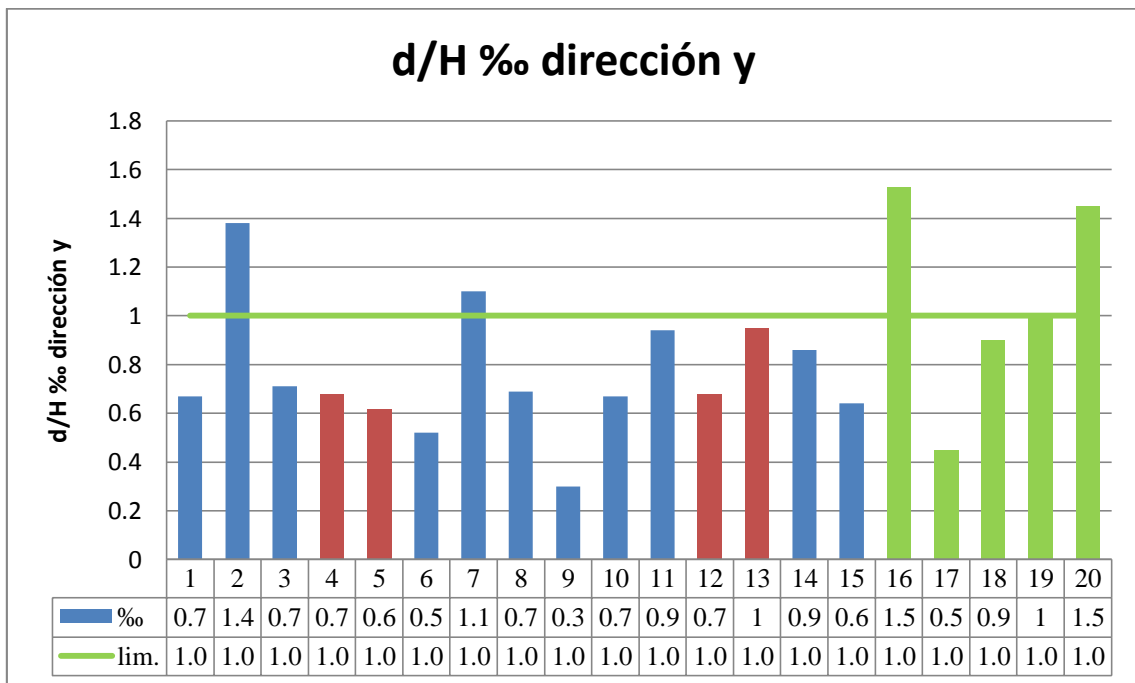


Figura 5.5 Desplazamientos del nivel superior del edificio dirección x

Promedios por rango de altura del edificio: d/H ‰ dirección x				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.09 (1)	0.58 (1)	0.34 (2)
11 a 14 pisos	0.72 (3)	0.38 (3)	0.54 (1)	0.55 (7)
15 a 18 pisos	0.51 (1)	0.6 (6)	0.76 (2)	0.62 (9)
más de 19 pisos	-	0.42 (1)	1.02 (1)	0.72 (2)
Promedios generales: d/H ‰ dirección x				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.67	0.47	0.73	0.58
Desviación estándar	0.28	0.26	0.38	0.30

**Tabla 5.9 Promedios de los desplazamientos del nivel superior del edificio dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**



**Figura 5.6 Desplazamientos del nivel superior del edificio dirección y**

Promedios por rango de altura del edificio: d/H ‰ dirección y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.3 (1)	0.45 (1)	0.38 (2)
11 a 14 pisos	0.77 (3)	0.62 (3)	0.9 (1)	0.72 (7)
15 a 18 pisos	0.62 (1)	0.87 (6)	1.23 (2)	0.92 (9)
más de 19 pisos	-	1.1 (1)	1.53 (1)	1.32 (2)
Promedios generales: d/H ‰ dirección y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.73	0.77	1.07	0.84
Desviación estándar	0.15	0.29	0.44	0.33

**Tabla 5.10 Promedios de los desplazamientos del nivel superior del edificio dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**

- **Comentario**

En ningún caso se sobrepasa el límite de 2‰, mientras que para el límite de 0.2‰, existen dos valores en dirección x por debajo de dicho límite. Estos datos bajo el mínimo quedarían en un rango apartado del rango normal y corresponden a edificios de baja altura.

Como referencia, en promedio, para la dirección “y” se tienen mayores valores para este indicador, con promedios de 0.58 y 0.84 para la muestra en dirección x e y respectivamente. No existen diferencias significativas entre los distintos niveles de desempeño. Los mayores valores del indicador están en la dirección de mayores daños.

#### **5.2.2.4 Máximos desplazamientos de entrepisos (centro de masas y diferencia entre máximo de piso y centro de masas)**

Este análisis se realizó en el Capítulo 4, de donde se tiene que:

Las figuras 4.5 y 4.6 (del Capítulo 4) muestran los desplazamientos relativos de entrepiso de los centros de masas de los edificios, se observa que tanto para la dirección x como para la dirección y, ningún edificio sobrepasa el límite normativo de dos por mil.

En cuanto a la diferencia máxima entre el drift del centro de masas y un punto cualquiera del mismo piso, según figuras 4.7 y 4.8, se tiene que en la dirección x, ningún edificio sobrepasa el límite. En cuanto a la dirección y, cinco edificios sobrepasan el límite, dos de ellos con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes y los otros tres con un buen nivel de desempeño.

## 5.2.3 Indicadores de Acoplamiento

Puede entenderse el acoplamiento como la relación de un parámetro en cierta dirección sobre el valor del mismo parámetro en otra dirección.

### 5.2.3.1 Cuociente entre períodos fundamentales

Existe consenso en recomendar un razonable alejamiento entre los períodos vibratorios con predominio traslacional, en dos direcciones perpendiculares, y rotacional con respecto a un eje vertical. Numerosas investigaciones han demostrado que el fenómeno, denominado sintonía modal, puede provocar fuertes amplificaciones de la respuesta dinámica, comparadas con los efectos que originaría un análisis de tipo estático. Una de las formas de controlarlo consiste en lograr estructuraciones que separen los modos fundamentales de manera tal que el cuociente entre períodos fundamentales se aleje de la unidad en alrededor de un 20%.

La tabla 5.12 muestra los periodos rotacionales, traslacionales y su cuociente para cada dirección, también se muestra la dirección predominante del daño. Las figuras 5.7 y 5.8 muestran gráficamente los valores del indicador para cada dirección respectivo y las tablas 5.13 y 5.14 muestran los promedios del indicador para cada nivel de desempeño y rango de pisos.

En la tabla 5.12, en color rojo, se destacan los valores desfavorables que coinciden con la misma dirección de los daños.

Los rangos normales para este indicador van desde 0 hasta 0.8 y desde 1.2 hasta 2, el rango entre 0.8 y 1.2 idealmente debe evitarse y valores mayores a 2 están fuera de rango.

Edificio	$T_r$	$T_x$	$T_y$	$T_r/T_x$	Rango	$T_r/T_y$	Rango	Dirección del daño
1	0.66	0.72	0.94	0.91	Desfavorable	0.70	Normal	y
2	1.66	1.33	1.8	1.25	Normal	0.92	Desfavorable	x
3	1.25	0.68	1.02	1.84	Normal	1.23	Normal	y
4*	0.93	0.73	0.75	1.27	Normal	1.24	Normal	y
5*	1.09	0.74	0.87	1.47	Normal	1.25	Normal	y
6	0.78	0.42	0.73	1.85	Normal	1.07	Desfavorable	y
7	0.97	0.78	1.29	1.24	Normal	0.75	Normal	x
8	0.54	0.77	0.82	0.70	Normal	0.65	Normal	x
9	0.51	0.24	0.5	2.14	Fuera	1.03	Desfavorable	y
10	1.24	0.86	1.24	1.44	Normal	1.00	Desfavorable	y
11	1.41	0.88	1.17	1.60	Normal	1.20	Desfavorable	y
12*	1.76	1.31	1.00	1.34	Normal	1.76	Normal	x-y
13*	0.98	0.54	0.88	1.82	Normal	1.12	Desfavorable	y
14	1.04	1.04	1.15	1.00	Desfavorable	0.90	Desfavorable	x-y
15	0.50	0.66	0.66	0.75	Normal	0.75	Normal	y
16	1.41	1.59	2.37	0.89	Aceptable	0.60	Normal	-
17	0.59	0.54	0.48	1.10	Desfavorable	1.24	Normal	-
18	0.47	0.57	0.84	0.82	Desfavorable	0.55	Normal	-
19	0.85	0.63	1.04	1.35	Normal	0.82	Desfavorable	-
20	0.84	1.41	1.41	0.59	Normal	0.59	Normal	-

Tabla 5.11 Cuociente entre periodos fundamentales. (\*) Peligro de Colapso

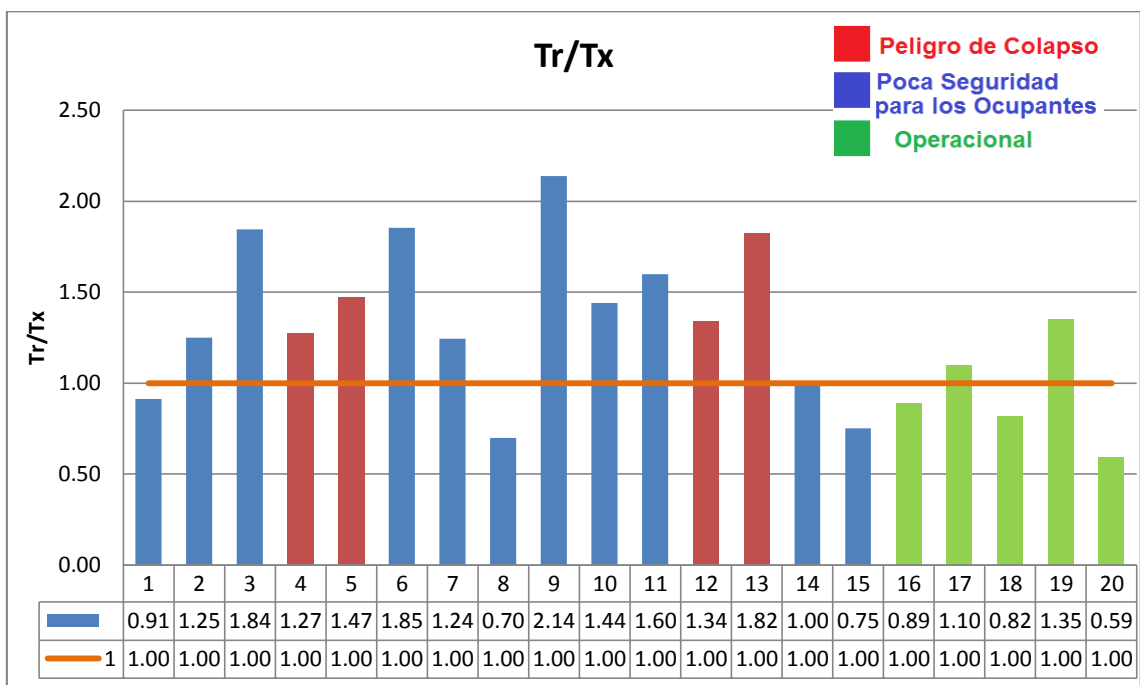


Figura 5.7 Cuociente entre periodos fundamentales dirección x

Promedios por rango de altura del edificio: Tr/Tx				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	2.14 (1)	1.1 (1)	1.62 (2)
11 a 14 pisos	1.48 (3)	1.1 (3)	0.82 (1)	1.22 (7)
15 a 18 pisos	1.47 (1)	1.34 (6)	0.97 (2)	1.27 (9)
más de 19 pisos	-	1.24 (1)	0.89 (1)	1.07 (2)
Promedios generales: Tr/Tx				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	1.48	1.34	0.95	1.27
Desviación estándar	0.25	0.48	0.29	0.43

Tabla 5.12 Promedios del cuociente entre periodos fundamentales dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango

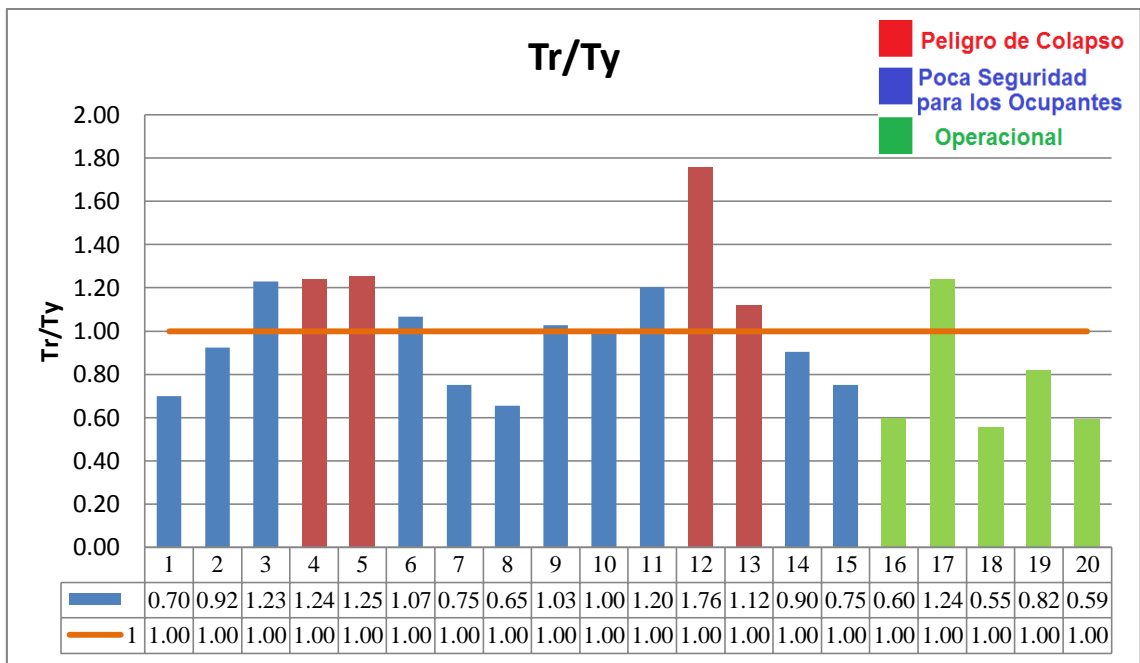


Figura 5.8 Cuociente entre periodos fundamentales dirección y

Promedios por rango de altura del edificio: Tr/Ty				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	1.03 (1)	1.24 (1)	1.13 (2)
11 a 14 pisos	1.37 (3)	0.82 (3)	0.55 (1)	1.02 (7)
15 a 18 pisos	1.25 (1)	0.99 (6)	0.71 (2)	0.96 (9)
más de 19 pisos	-	0.75 (1)	0.6 (1)	0.67 (2)
Promedios generales: Tr/Ty				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	1.34	0.93	0.76	0.97
Desviación estándar	0.28	0.20	0.29	0.30

Tabla 5.13 Promedios del cuociente entre periodos fundamentales dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango

- **Comentario**

En total ocho edificios con mal desempeño están en el rango desfavorable definido entre 0.8 y 1.2, dentro de estos ocho hay un edificio con nivel de desempeño Peligro de Colapso, los siete edificios con mal desempeño restantes, se encuentran en el rango definido como normal. También existen tres edificios con buen desempeño en el rango desfavorable y dos en el rango normal.

Se observa que seis edificios con mal desempeño (uno con nivel de desempeño Peligro de Colapso) presentan un grado de acoplamiento en la misma dirección de los daños.

En cuanto a los promedios, a modo de referencia, los edificios con buen desempeño tienen menores valores promedio en todos los casos para este indicador, esto es para ambas direcciones y en la mayoría de los rangos de pisos.

### 5.2.3.2 Masa equivalente rotacional acoplada

Dado que los cocientes entre periodos no es suficiente para calificar el grado de acoplamiento que presenta un edificio, se complementa dicho indicador con la masa equivalente rotacional acoplada, la cual se define como la masa equivalente rotacional correspondiente con la mayor masa equivalente traslacional dividida por la misma masa equivalente traslacional, esto para cada dirección de análisis.

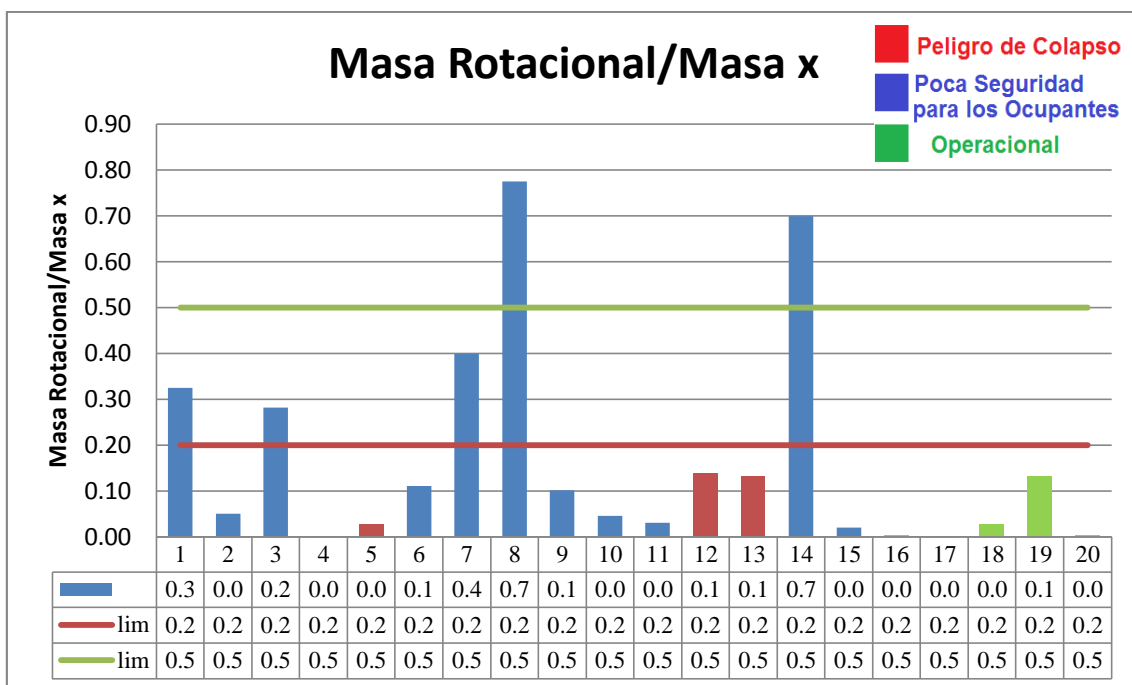
Los valores de las masas se obtienen de los modelos ETABS 2015.

La tabla 5.15 muestra las masas acopladas rotacionales, traslacionales directas y su cociente, también se muestra la dirección predominante del daño. En las figuras 5.9 y 5.10 están graficados los valores para este indicador y las tablas 5.16 y 5.17 muestran los promedios de los valores para cada nivel de desempeño y para cada rango de pisos.

Los valores normales van entre 0 y 0.2, valores aceptables entre 0.2 y 0.5, mayor a 0.5 son valores fuera de rango. En la tabla 5.15 se destacan los valores fuera de rango que además coinciden con la dirección del daño.

Edificio	Masa acoplada rot	Masa x	$M_{acop-rot}/M_x$	Rango	Masa acoplada rot	Masa y	$M_{acop-rot}/M_y$	Rango	Dirección del daño
1	9.7%	29.7%	0.33	Aceptable	5.8%	34.1%	0.17	Normal	y
2	2.6%	51.1%	0.05	Normal	35.2%	26.5%	1.33	Fuera	x
3	13.1%	46.6%	0.28	Aceptable	9.3%	36.8%	0.25	Aceptable	y
4(*)	0.0%	26.2%	0.00	Normal	0.0%	25.6%	0.00	Normal	y
5(*)	1.7%	62.7%	0.03	Normal	16.6%	45.4%	0.37	Aceptable	y
6	6.8%	60.7%	0.11	Normal	20.9%	32.1%	0.65	Fuera	y
7	14.5%	36.4%	0.40	Aceptable	15.4%	44.0%	0.35	Aceptable	x
8	23.1%	29.8%	0.77	Fuera	0.2%	44.3%	0.01	Normal	x
9	6.8%	66.8%	0.10	Normal	33.4%	38.8%	0.86	Fuera	y
10	2.2%	48.0%	0.05	Normal	21.5%	36.2%	0.59	Fuera	y
11	1.8%	59.0%	0.03	Normal	4.3%	55.0%	0.08	Normal	y
12(*)	8.3%	59.0%	0.14	Normal	0.0%	68.1%	0.00	Normal	x-y
13(*)	8.2%	62.6%	0.13	Normal	5.1%	61.0%	0.08	Normal	y
14	19.5%	27.9%	0.70	Fuera	2.3%	39.9%	0.06	Normal	x-y
15	0.4%	20.8%	0.02	Normal	0.4%	32.8%	0.01	Normal	y
16	0.1%	49.7%	0.00	Normal	13.7%	33.9%	0.40	Aceptable	-
17	0.0%	56.2%	0.00	Normal	1.8%	56.2%	0.03	Normal	-
18	1.5%	55.9%	0.03	Normal	6.9%	49.5%	0.14	Normal	-
19	7.2%	54.3%	0.13	Normal	16.0%	52.9%	0.30	Aceptable	-
20	0.1%	32.1%	0.00	Normal	0.1%	24.0%	0.00	Normal	-

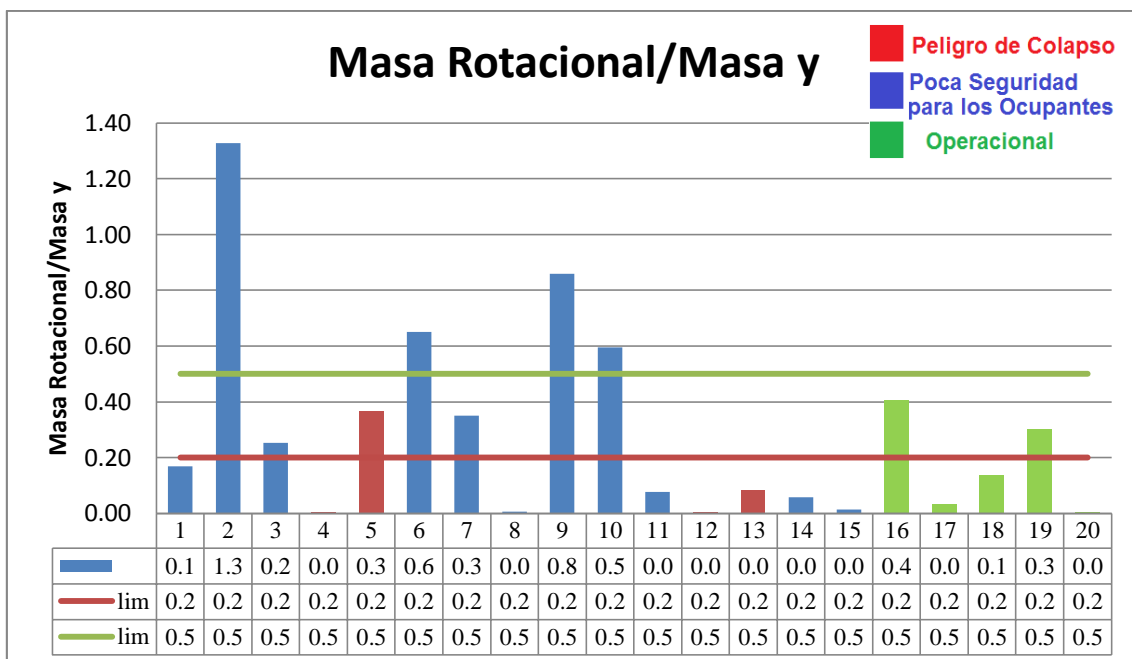
Tabla 5.14 Masa equivalente rotacional acoplada. (\*) Peligro de Colapso



**Figura 5.9 Masa equivalente rotacional acoplada dirección x**

Promedios por rango de altura del edificio: Masa Rotacional/Masa x				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.1 (1)	0 (1)	0.05 (2)
11 a 14 pisos	0.09 (3)	0.3 (3)	0.03 (1)	0.17 (7)
15 a 18 pisos	0.03 (1)	0.24 (6)	0.07 (2)	0.18 (9)
más de 19 pisos	-	0.4 (1)	0 (1)	0.2 (2)
Promedios generales: Masa Rotacional/Masa x				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.07	0.26	0.03	0.17
Desviación estándar	0.07	0.27	0.06	0.23

**Tabla 5.15 Promedios de la masa equivalente rotacional acoplada dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**



**Figura 5.10 Masa equivalente rotacional acoplada dirección y**

Promedios por rango de altura del edificio: Masa Rotacional/Masa y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.86 (1)	0.03 (1)	0.45 (2)
11 a 14 pisos	0.03 (3)	0.22 (3)	0.14 (1)	0.13 (7)
15 a 18 pisos	0.37 (1)	0.41 (6)	0.15 (2)	0.35 (9)
más de 19 pisos	-	0.35 (1)	0.4 (1)	0.38 (2)
Promedios generales: Masa Rotacional/Masa y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.11	0.40	0.18	0.28
Desviación estándar	0.17	0.42	0.17	0.35

**Tabla 5.16 Promedios de la masa equivalente rotacional acoplada dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**

- **Comentarios**

Seis de los quince edificios con mal desempeño se hayan fuera del rango aceptable, otros cuatro se hayan en el rango aceptable y cinco en el rango normal mientras que para los edificios con buen desempeño dos se hayan en el rango aceptable y el resto en el rango normal. Se observa que los edificios con mal desempeño tienen una mayor cantidad de valores fuera de los rangos aceptables. En cinco edificios con mal desempeño el daño coincide con la dirección del indicador fuera de rango, todos ellos con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes.

A modo de referencia, los promedios en los edificios con mal desempeño tienen valores mayores que los edificios con buen desempeño, esto para ambas direcciones.

### 5.2.3.3 Excentricidad dinámica

La excentricidad dinámica es la relación entre la excentricidad y el radio de giro de la planta y es otra forma de calificar el acoplamiento.

$$e_{dinamica} = \frac{e}{r_{basal}}$$

La excentricidad corresponde a la distancia entre el centro de rigidez y el centro de masas en cada dirección principal del edificio, y puede estimarse como el cociente entre el momento torsor en la base y el corte en la base para cada dirección. La excentricidad en dirección y está asociada al corte en dirección x, asimismo la excentricidad en dirección x se asocia al corte en dirección y. Para los cálculos, se consideraron los momentos torsores y cortes en la base del piso 1.

$$e_y = \frac{M_{torsor-basal}}{Q_{basal_x}}, \quad e_x = \frac{M_{torsor-basal}}{Q_{basal_y}}$$

El radio de giro de la planta, corresponde a la raíz cuadrada del cociente entre la inercia rotacional de la planta y el área de la misma, para este cálculo se considera la totalidad del área de la planta. La inercia rotacional de la planta es la suma de las inercias con respecto a cada dirección principal.

$$r_{basal} = \sqrt{\frac{I_x + I_y}{A}}$$

Los edificios con valores entre 0 y 0.2 están en el rango normal, de 0.2 a 0.5 están en el rango aceptable y mayor a 0.5 están fuera de rango.

La tabla 5.18 muestra los valores de excentricidad dinámica [m], el radio de giro basal [m] y el cociente, también se muestra la dirección predominante del daño. Las tablas 5.11 y 5.12 muestran gráficamente los valores del indicador, mientras que las tablas 5.19 y 5.20 muestran los promedios del indicador para cada nivel de desempeño y para cada rango de pisos.

En la tabla 5.18 además se destacan los valores que más se correlacionan con la dirección del daño.

Edificio	$\frac{M_{cx}}{Qx}$ $e_y$	$\frac{M_{cy}}{Qy}$ $e_x$	$r_{basal}$	$e_{din}(e_y)$ Sismo x	Rango	$e_{din}(e_x)$ Sismo y	Rango	Dirección del daño
1	2.31	1.75	9.8	0.237	Aceptable	0.179	Normal	y
2	1.17	0.38	19.9	0.059	Normal	0.019	Normal	x
3	0.40	3.31	10.0	0.040	Normal	0.329	Aceptable	y
4(*)	0.38	0.05	5.2	0.072	Normal	0.009	Normal	y
5(*)	0.48	0.57	12.2	0.039	Normal	0.047	Normal	y
6	0.32	0.76	8.7	0.036	Normal	0.087	Normal	y
7	0.05	0.31	9.1	0.005	Normal	0.033	Normal	x
8	0.02	1.00	8.4	0.002	Normal	0.119	Normal	x
9	2.37	0.82	8.8	0.268	Aceptable	0.093	Normal	y
10	2.67	2.09	7.5	0.358	Aceptable	0.281	Aceptable	y
11	0.15	2.86	9.1	0.016	Normal	0.316	Aceptable	y
12(*)	0.47	6.63	9.0	0.053	Normal	0.741	Fuera	x-y
13(*)	0.07	1.59	11.1	0.007	Normal	0.143	Normal	y
14	5.02	0.13	11.3	0.444	Normal	0.011	Normal	x-y
15	1.26	0.18	9.5	0.132	Normal	0.019	Normal	y
16	2.66	0.14	9.9	0.269	Aceptable	0.015	Normal	-
17	2.78	0.03	8.1	0.341	Aceptable	0.004	Normal	-
18	4.51	0.09	7.8	0.576	Fuera	0.011	Normal	-
19	3.87	2.83	9.4	0.410	Aceptable	0.300	Aceptable	-
20	4.47	3.31	8.4	0.536	Fuera	0.397	Aceptable	-

Tabla 5.17 Excentricidad dinámica. (\*) Peligro de Colapso

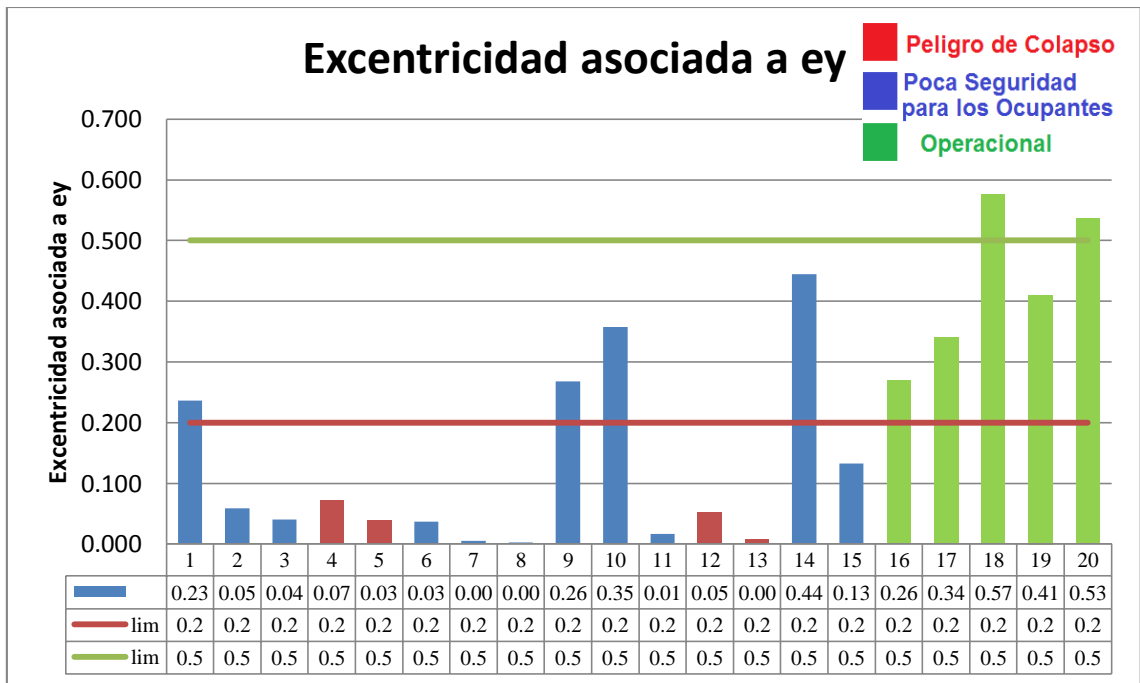


Figura 5.11 Excentricidad dinámica asociada a ey

Promedios por rango de altura del edificio: Excentricidad asociada a ey				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.27 (1)	0.34 (1)	0.3 (2)
11 a 14 pisos	0.04 (3)	0.06 (3)	0.58 (1)	0.13 (7)
15 a 18 pisos	0.04 (1)	0.19 (6)	0.47 (2)	0.24 (9)
más de 19 pisos	-	0 (1)	0.27 (1)	0.14 (2)
Promedios generales: Excentricidad asociada a ey				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.04	0.15	0.43	0.19
Desviación estándar	0.03	0.16	0.13	0.19

Tabla 5.18 Promedios de la excentricidad dinámica asociada a ey . En paréntesis, cantidad de datos en el rango

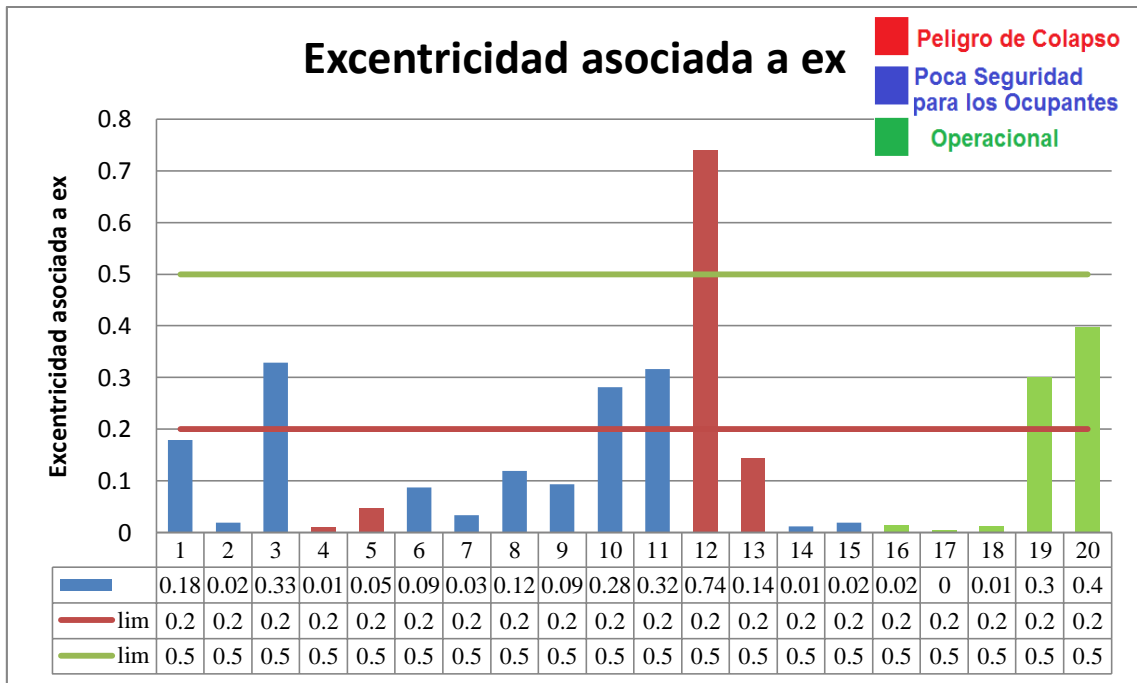


Figura 5.12 Excentricidad dinámica asociada a ex

Promedios por rango de altura del edificio: Excentricidad asociada a ex				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.09 (1)	0 (1)	0.05 (2)
11 a 14 pisos	0.3 (3)	0.07 (3)	0.01 (1)	0.16 (7)
15 a 18 pisos	0.05 (1)	0.19 (6)	0.35 (2)	0.21 (9)
más de 19 pisos	-	0.03 (1)	0.01 (1)	0.02 (2)
Promedios generales: Excentricidad asociada a ex				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.23	0.14	0.15	0.16
Desviación estándar	0.34	0.12	0.19	0.19

**Tabla 5.19 Promedios de la excentricidad dinámica asociada a ex. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**

- **Comentario**

Existen 5 de 15 edificios con mal desempeño en el rango aceptable para este indicador, también hay un edificio con nivel de desempeño Peligro de Colapso que se encuentra fuera de rango. En cuanto a los edificios con buen desempeño existen dos fuera de rango y los tres restantes están en el rango aceptable.

Existen cuatro edificios que se ajustan de mejor manera los valores del indicador con la dirección del daño, sin embargo no son valores muy alejados del rango normal.

En cuanto a los promedios, a modo de referencia, no se observa una tendencia clara. El promedio de la excentricidad asociada a ey, es decir, la que interactúa en la dirección x del edificio, tiene un valor ligeramente mayor que en la otra dirección. No se observa alguna correlación clara con los daños.

#### **5.2.3.4 Cuociente de masas equivalentes traslacionales, acoplada y directa**

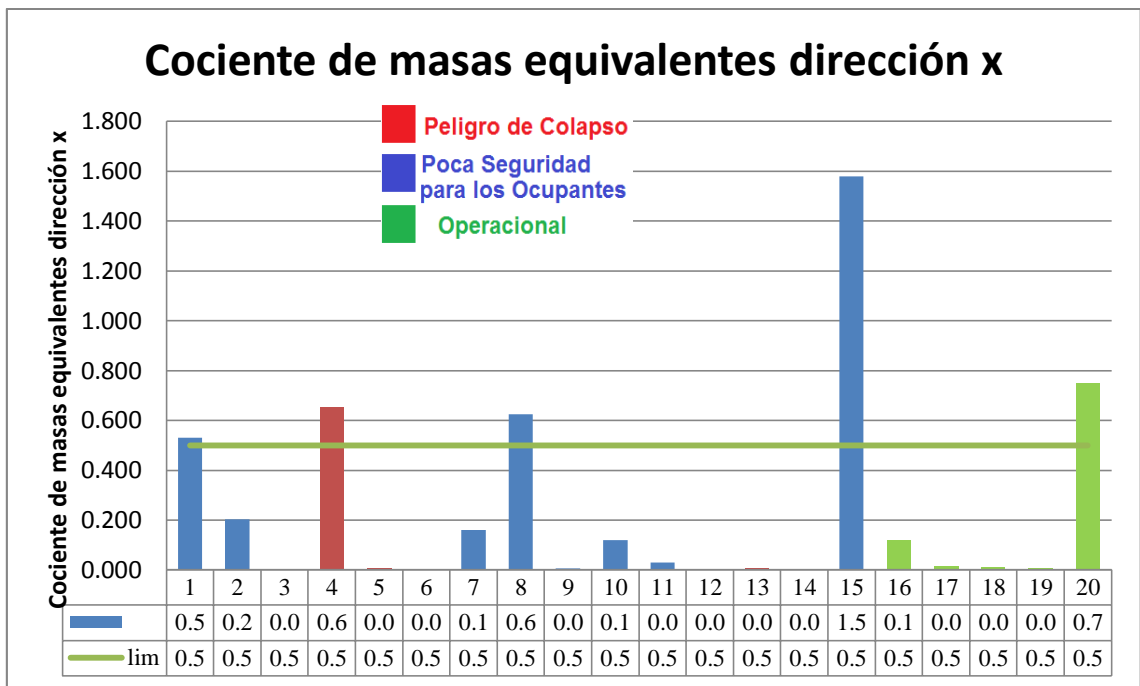
Otra manera de evaluar los efectos del acoplamiento traslacional es el cuociente entre las masas equivalentes traslacional acoplada y la masa equivalente traslacional directa, donde la masa traslacional directa es la mayor masa en la dirección de análisis y la acoplada, aquella correspondiente al mismo periodo pero en la dirección perpendicular.

Valores de 0 a 0.5 se consideran normales, mayores a 0.5 se consideran aceptables.

La tabla 5.21 muestra los valores de las masas acopladas, directas y el cuociente entre ellas para cada dirección, se destacan valores en rango aceptable, también se incluye la dirección predominante del daño. También en la tabla 5.21 se destaca la dirección del daño que coincide con un rango fuera del rango normal. Las figuras 5.13 y 5.14 muestran gráficamente los valores del indicador y las tablas 5.22 y 5.23 muestran los promedios del indicador por nivel de desempeño y por rango de pisos para cada dirección.

Edificio	Macop	Mex	Macop/Me x	Macop	Mey	Macop/Me y	Dirección del daño
1	15.8%	29.7%	0.530	6.9%	34.1%	0.203	y
2	10.4%	51.1%	0.204	1.0%	26.5%	0.038	x
3	0.1%	46.6%	0.003	5.6%	36.8%	0.151	y
4(*)	17.2%	26.2%	0.654	17.5%	25.6%	0.682	y
5(*)	0.3%	62.7%	0.004	1.3%	45.4%	0.028	y
6	0.0%	60.7%	0.000	2.1%	32.1%	0.066	y
7	5.8%	36.4%	0.160	0.1%	44.0%	0.003	x
8	18.6%	29.8%	0.625	24.4%	44.3%	0.550	x
9	0.4%	66.8%	0.006	1.9%	38.8%	0.050	y
10	5.7%	48.0%	0.119	0.1%	36.2%	0.003	y
11	1.7%	59.0%	0.029	0.8%	55.0%	0.014	y
12(*)	0.1%	59.0%	0.002	0.2%	68.1%	0.002	x-y
13(*)	0.4%	62.6%	0.006	1.6%	61.0%	0.027	y
14	0.1%	27.9%	0.002	5.1%	39.9%	0.129	x-y
15	32.8%	20.8%	1.579	20.8%	32.8%	0.633	y
16	5.9%	49.7%	0.119	6.4%	33.9%	0.188	-
17	0.8%	56.2%	0.015	0.7%	56.2%	0.012	-
18	0.4%	55.9%	0.008	0.9%	49.5%	0.017	-
19	0.4%	54.3%	0.007	1.3%	52.9%	0.024	-
20	24.0%	32.1%	0.747	32.1%	24.0%	1.338	-

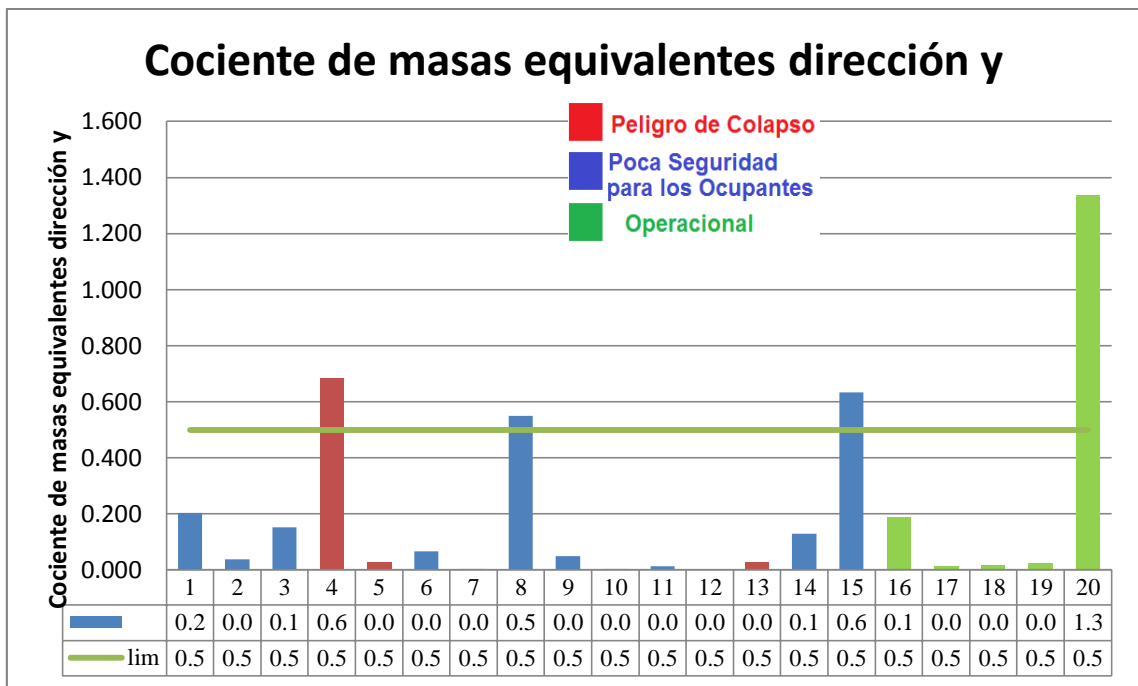
**Tabla 5.20 Cuociente de masas equivalentes, traslacionales acoplada y directa. (\*) Peligro de Colapso**



**Figura 5.13** Cuociente de masas equivalentes, traslacionales acoplada y directa dirección x

Promedios por rango de altura del edificio: Cuociente de masas equivalentes dirección x				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.01 (1)	0.01 (1)	0.01 (2)
11 a 14 pisos	0.2 (3)	0.73 (3)	0.01 (1)	0.41 (7)
15 a 18 pisos	0 (1)	0.15 (6)	0.38 (2)	0.18 (9)
más de 19 pisos	-	0.16 (1)	0.12 (1)	0.14 (2)
Promedios generales: Cuociente de masas equivalentes dirección x				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.2	0.30	0.18	0.24
Desviación estándar	0.3	0.48	0.32	0.40

**Tabla 5.21** Promedios del cuociente de masas equivalentes, traslacionales acoplada y directa dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango



**Figura 5.14** Cociente de masas equivalentes, traslacionales acoplada y directa dirección y

Promedios por rango de altura del edificio: Cociente de masas equivalentes dirección y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.05 (1)	0.01 (1)	0.03 (2)
11 a 14 pisos	0.2 (3)	0.42 (3)	0.02 (1)	0.28 (7)
15 a 18 pisos	0 (1)	0.09 (6)	0.68 (2)	0.21 (9)
más de 19 pisos	-	0 (1)	0.19 (1)	0.1 (2)
Promedios generales: Cociente de masas equivalentes dirección y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.2	0.17	0.32	0.21
Desviación estándar	0.3	0.22	0.58	0.34

**Tabla 5.22** Promedios del cociente de masas equivalentes, traslacionales acoplada y directa dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango

- Comentarios**

Cinco edificios sobrepasan el límite considerado normal, dentro de estos hay cuatro edificios con mal desempeño y uno con buen desempeño. Como referencia, los promedios en ambas direcciones son bastante similares.

Se tiene que en tres edificios la dirección del daño coincide con un rango fuera del rango normal.

### 5.2.3.5 Cuociente entre los cortes acoplados y directos

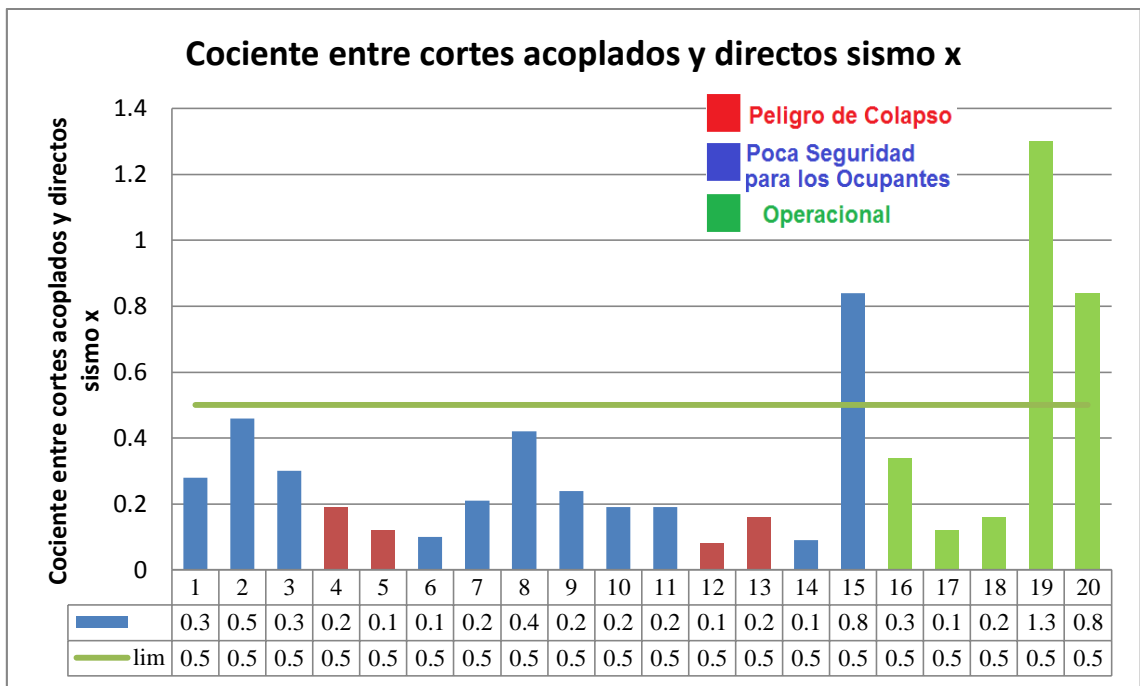
Otro indicador de acoplamiento traslacional, es el cuociente entre los cortes acoplados y directos. El corte acoplado corresponde al corte en dirección perpendicular a la dirección en la cual actúa la sollicitación sísmica. El corte directo corresponde al corte en la misma dirección de la sollicitación sísmica.

La tabla 5.24 muestra los cortes acoplados al sismo en dirección x e y, los cortes directos en dirección x e y, y el cuociente entre ellos respectivamente para cada columna, también se muestra la dirección predominante del daño en los edificios. La figura 5.15 y 5.16 grafican los valores y las tablas 5.25 y 5.26 muestran los promedios para cada nivel de desempeño y cada rango de pisos.

Los rangos de 0 a 0.5 para este indicador se consideran normales, mayores a 0.5 (color rojo en la tabla) se consideran aceptables pero ligeramente alejados de los rangos normales.

Edificio	$Q_{acop\ X}$	$Q_{acop\ Y}$	$Q_x$	$Q_y$	$Q_{ac}/Q_x$	$Q_{ac}/Q_y$	Dirección del daño
1	917.8	938.4	260.1	230.0	0.28	0.25	y
2	983.4	971.8	453.6	600.0	0.46	0.62	x
3	1066.8	1288.2	323.3	521.3	0.30	0.40	y
4(*)	601.5	567.5	111.6	109.8	0.19	0.19	y
5(*)	2219.4	1639.6	266.8	250.6	0.12	0.15	y
6	481.2	457.5	49.4	40.0	0.10	0.09	y
7	1271.5	1219.0	263.9	389.6	0.21	0.32	x
8	732.1	751.8	308.6	299.1	0.42	0.40	x
9	397.1	296.0	95.4	63.6	0.24	0.21	y
10	1280.4	810.4	243.8	240.1	0.19	0.30	y
11	819.9	896.1	157.2	213.3	0.19	0.24	y
12(*)	480.2	654.6	37.1	36.3	0.08	0.06	x-y
13(*)	916.1	763.6	147.9	117.0	0.16	0.15	y
14	966.2	957.7	87.9	80.7	0.09	0.08	x-y
15	383.3	451.2	323.1	323.1	0.84	0.72	y
16	1254.1	1256.1	428.3	711.4	0.34	0.57	-
17	645.5	660.1	76.4	80.9	0.12	0.12	-
18	405.3	317.6	65.7	55.6	0.16	0.17	-
19	601.2	595.4	781.8	163.2	1.30	0.27	-
20	528.1	523.2	443.2	518.9	0.84	0.99	-

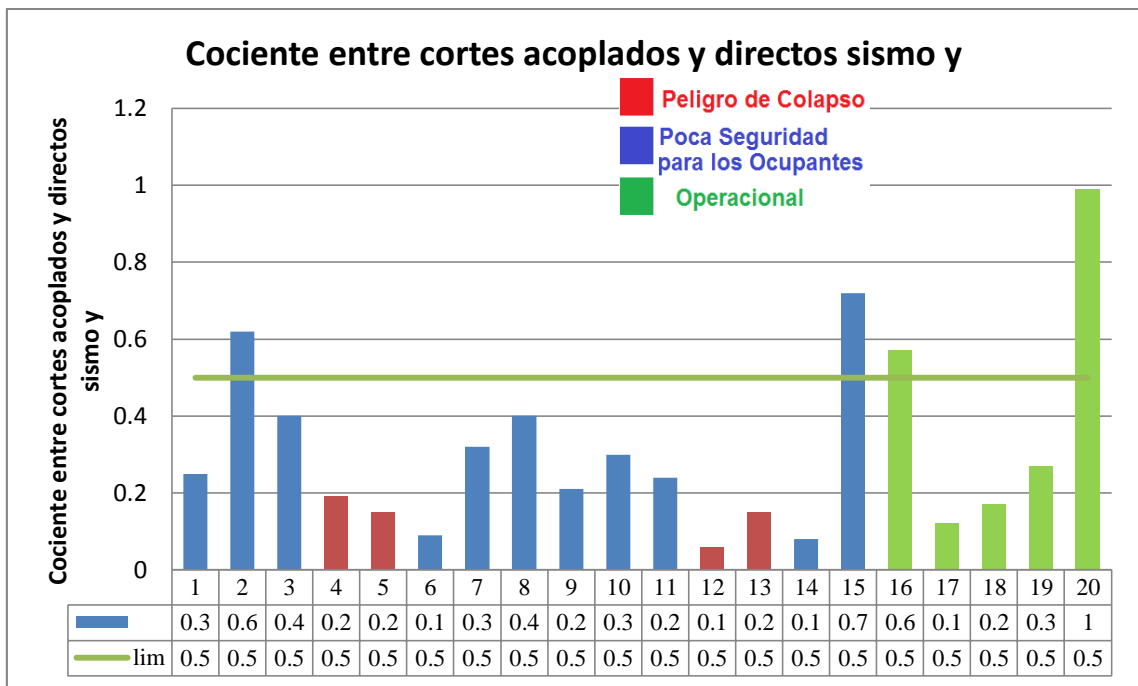
Tabla 5.23 Cortes acoplados y directos. En rojo, valores aceptables. (\*) Peligro de Colapso



**Figura 5.15 Cuociente entre los cortes acoplados y directos dirección x**

Promedios por rango de altura del edificio: Cuociente entre cortes acoplados y directos sismo x				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.24 (1)	0.12 (1)	0.18 (2)
11 a 14 pisos	0.1 (3)	0.46 (3)	0.16 (1)	0.28 (7)
15 a 18 pisos	0.1 (1)	0.25 (6)	1.07 (2)	0.42 (9)
más de 19 pisos	-	0.21 (1)	0.34 (1)	0.27 (2)
Promedios generales: Cuociente entre cortes acoplados y directos sismo x				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.1	0.30	0.55	0.33
Desviación estándar	0.0	0.21	0.51	0.32

**Tabla 5.24 Promedios del cuociente entre los cortes acoplados y directos. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**



**Figura 5.16 Cuociente entre los cortes acoplados y directos dirección y**

Promedios por rango de altura del edificio: Cuociente entre cortes acoplados y directos sismo y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.21 (1)	0.12 (1)	0.17 (2)
11 a 14 pisos	0.1 (3)	0.4 (3)	0.17 (1)	0.25 (7)
15 a 18 pisos	0.2 (1)	0.31 (6)	0.63 (2)	0.37 (9)
más de 19 pisos	-	0.32 (1)	0.57 (1)	0.44 (2)
Promedios generales: Cuociente entre cortes acoplados y directos sismo y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.1	0.33	0.43	0.32
Desviación estándar	0.1	0.20	0.36	0.24

**Tabla 5.25 Promedio del cuociente entre los cortes acoplados y directos dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**

- **Comentario**

Se observa que dos edificios con mal desempeño se encuentran en el rango aceptable, mientras que tres edificios con buen desempeño se encuentran en el mismo rango.

A modo de referencia, los valores son prácticamente iguales en ambas direcciones de análisis.

No se puede asociar la dirección del daño directamente a este indicador.

No se aprecia alguna tendencia asociada a los daños.

### 5.2.3.6 Momentos volcantes acoplados y directos

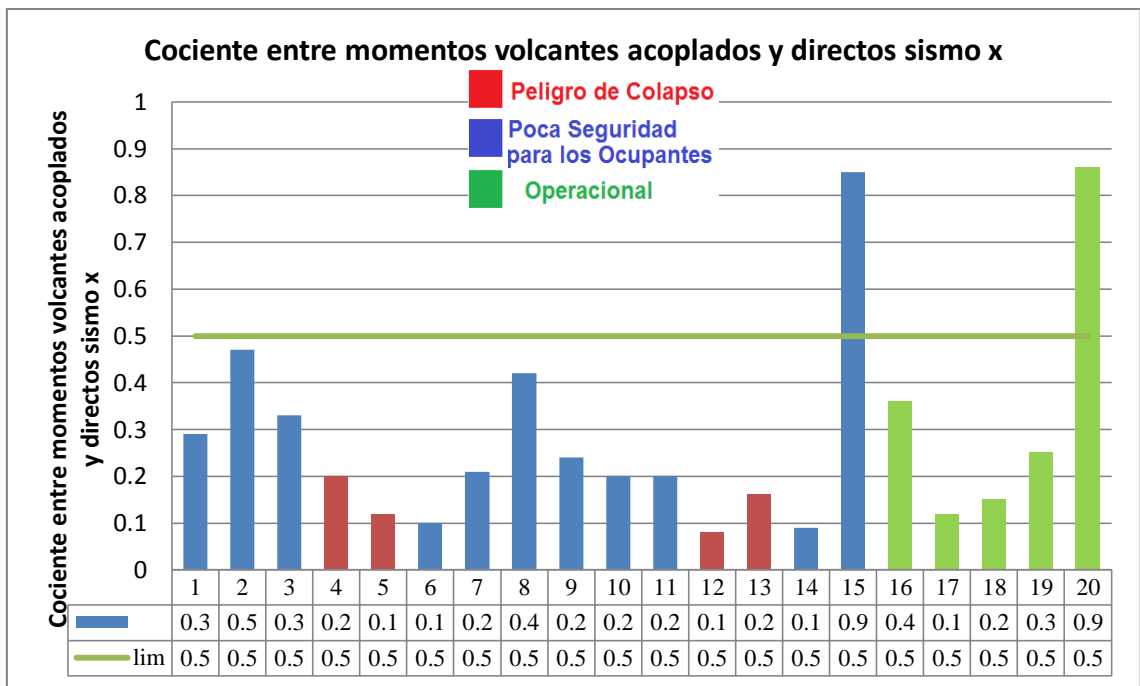
El último indicador de acoplamiento considerado es el de la relación entre los momentos volcantes acoplados y directos. El momento volcante acoplado es aquel momento volcante en la base cuyo efecto es perpendicular a la dirección del sismo, es decir, el giro es con respecto al eje en la dirección del sismo, mientras que el momento volcante directo es aquel cuyo efecto es en sentido del sismo, es decir, el giro es con respecto al eje perpendicular al sismo.

La tabla 0.27 muestra los momentos volcantes acoplados y directos así como el cociente entre ellos, también se muestra la dirección predominante del daño. Las figuras 0.17 y 0.18 muestran los valores para este indicador y las tablas 0.28 y 0.29 muestran los promedios por nivel de desempeño y rango de pisos para cada dirección.

Los valores normales se encuentran entre 0 y 0.5, mayor a 0.5 (color rojo en la tabla) se encuentra el rango considerado como aceptable pero ligeramente sobre el rango normal.

Edificio	Sismo x $M_{acop}$	Sismo y $M_{acop}$	Sismo x $M_{volcante}$	Sismo y $M_{volcante}$	Sismo x $M_{acop}/M_{volcante}$	Sismo y $M_{acop}/M_{volcante}$
1	8785.3	7709.4	29807.9	31064.3	0.29	0.25
2	13254.1	17458.8	28480.9	27489.7	0.47	0.64
3	11406.4	16856.4	34292.6	45743.1	0.33	0.37
4(*)	2815.1	2719.3	14112.1	13535.4	0.20	0.20
5(*)	8653.4	8113.1	71088.7	52709.3	0.12	0.15
6	1085.9	892.4	10636.2	10302.3	0.10	0.09
7	9562.7	13975.0	46103.7	44267.9	0.21	0.32
8	7971.0	7657.6	18991.2	19544.3	0.42	0.39
9	1225.9	842.9	5113.9	3856.2	0.24	0.22
10	7317.6	6943.8	36999.6	23602.2	0.20	0.29
11	5377.7	7106.9	27465.5	30614.7	0.20	0.23
12(*)	926.2	894.8	11787.6	16081.7	0.08	0.06
13(*)	3320.7	2611.1	20249.9	17030.4	0.16	0.15
14	2977.1	2646.8	31809.1	32356.9	0.09	0.08
15	7268.2	7316.6	8579.8	10006.0	0.85	0.73
16	18475.9	30122.8	51835.2	47460.5	0.36	0.63
17	1302.1	1412.1	11285.5	11343.1	0.12	0.12
18	1319.2	1061.9	8755.5	6857.5	0.15	0.15
19	29524.8	7826.8	33269.8	30047.2	0.25	0.26
20	14053.5	16134.2	16371.1	16129.6	0.86	1.00

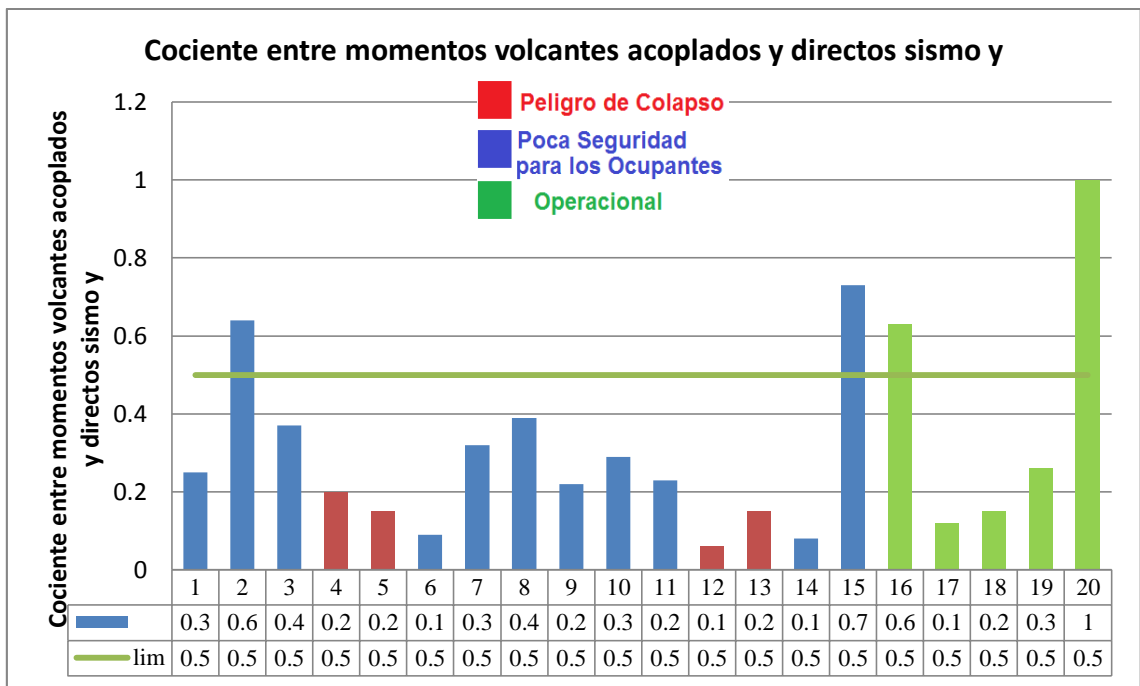
Tabla 5.26 Momentos volcantes acoplados y directos. En rojo valores aceptables. (\*) Peligro de Colapso



**Figura 5.17 Momentos volcantes acoplados y directos sismo x**

Promedios por rango de altura del edificio: Cuociente entre momentos volcantes acoplados y directos sismo x				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.24 (1)	0.12 (1)	0.18 (2)
11 a 14 pisos	0.1 (3)	0.46 (3)	0.15 (1)	0.28 (7)
15 a 18 pisos	0.1 (1)	0.26 (6)	0.56 (2)	0.31 (9)
más de 19 pisos	-	0.21 (1)	0.36 (1)	0.29 (2)
Promedios generales: Cuociente entre momentos volcantes acoplados y directos sismo x				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.1	0.31	0.35	0.29
Desviación estándar	0.1	0.21	0.30	0.22

**Tabla 5.27 Promedios de los momentos volcantes acoplados y directos sismo x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**



**Figura 5.18 Momentos volcantes acoplados y directos sismo y**

Promedios por rango de altura del edificio: Cuociente entre momentos volcantes acoplados y directos sismo y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.22 (1)	0.12 (1)	0.17 (2)
11 a 14 pisos	0.1 (3)	0.4 (3)	0.15 (1)	0.25 (7)
15 a 18 pisos	0.2 (1)	0.31 (6)	0.63 (2)	0.36 (9)
más de 19 pisos	-	0.32 (1)	0.63 (1)	0.48 (2)
Promedios generales: Cuociente entre momentos volcantes acoplados y directos sismo y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.1	0.33	0.43	0.32
Desviación estándar	0.1	0.20	0.38	0.25

**Tabla 5.28 Promedios de los momentos volcantes acoplados y directos sismo y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**

- Comentarios**

Existen dos de los 15 edificios con mal desempeño en el rango de valores aceptables, el resto está en el rango normal, con respecto a los edificios con buen desempeño, dos están en el rango aceptable y el resto en el rango normal.

Como referencia, en ambas direcciones los promedios son mayores para los edificios con buen desempeño. Los promedios de la muestra son muy similares para el sismo en dirección x y en dirección y.

No se aprecia alguna tendencia con respecto a los daños ni con la dirección de estos en los edificios para este indicador.

## **5.2.4 Indicadores de Redundancia Estructural y Demanda de Ductilidad**

### **5.2.4.1 Número de elementos relevantes en la resistencia sísmica**

Este indicador se utiliza para medir la Redundancia Estructural, parámetro que permite calificar la capacidad de redistribución de esfuerzos de la estructura, particularmente importante en la medida que la sollicitación la lleva a incursionar en el rango no lineal. Tal situación puede producirse en el momento en que algunos miembros alcanzan sus límites elásticos y otros comienzan a tomar parte de la sollicitación, o aumentan su compromiso en la distribución global de esfuerzos. Las ventajas de la redundancia para proporcionar reservas de resistencia, principalmente en el caso sísmico, son reconocidas en toda la literatura y códigos sísmicos, principalmente las Normas ANSI de cargas y el informe ATC 3, que ha inspirado la filosofía de las principales normas sísmicas modernas. Recientemente, el informe ATC 19 ha recogido sendas proposiciones de Bertero y de Whittaker para incorporar el concepto de Factor de Redundancia, que debería emplearse para reducir el Factor de Modificación de Respuesta, penalizando a las estructuras con menos de 4 líneas resistentes verticales.

La tabla 5.30 muestra la cantidad de elementos que en total suman más del 90% del corte basal, es decir, el mínimo número de elementos verticales, partiendo desde el que toma más corte hacia el que toma menos, cuya suma supera el 90% del corte basal del edificio para el sismo en una dirección. En la misma tabla, se tiene la cantidad de elementos verticales en la estructura, los cuales cada uno por separado, toman más del 10% del corte basal total para el sismo en la misma dirección. Para el indicador, se considera el mayor valor de entre los dos anteriores ya que este valor sería el más desfavorable.

Las figuras 5.19 y 5.20 muestran los valores para este indicador y las tablas 5.31 y 5.32 muestran los promedios por nivel de desempeño y por rango de pisos para cada dirección.

Cantidades mayor a 3 se considera normal, entre 2 y 3 se considera aceptable aunque ligeramente alejados de lo normal.

Edificio	Número de elementos que en conjunto toman más del 90% del corte		Número de elementos que toman por si solos más del 10% del corte total	
	Dirección x	Dirección y	Dirección x	Dirección y
1	9	7	3	7
2	16	16	0	4
3	9	9	2	2
4	8	8	8	7
5	10	12	4	6
6	4	10	4	2
7	8	6	3	5
8	8	10	4	2
9	8	7	2	1
10	9	12	3	1
11	8	8	2	2
12	8	10	2	1
13	6	8	3	3
14	8	9	4	2
15	3	9	2	3
16	8	10	3	5
17	8	7	2	6
18	7	7	5	4
19	8	13	1	3
20	8	10	3	3

**Tabla 5.29 Número de elementos relevantes en la resistencia sísmica**

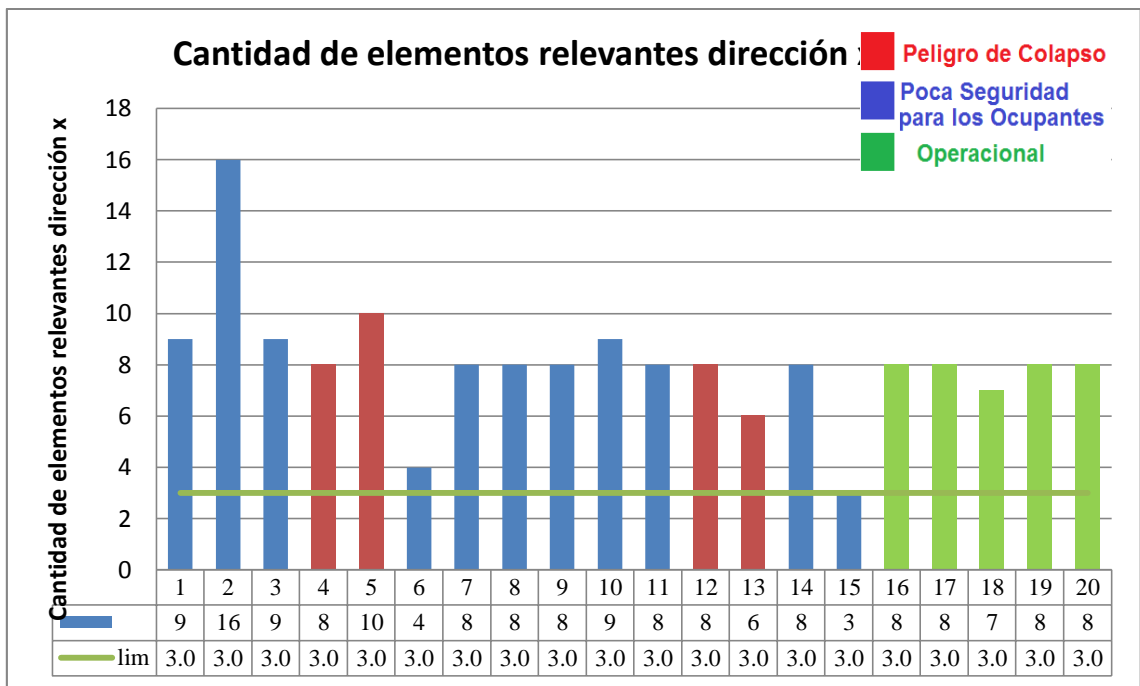


Figura 5.19 Número de elementos relevantes en la resistencia sísmica dirección x

Promedios por rango de altura del edificio: Cantidad de elementos relevantes dirección x				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	8 (1)	8 (1)	8 (2)
11 a 14 pisos	7.3 (3)	5 (3)	7 (1)	6.29 (7)
15 a 18 pisos	10 (1)	9.83 (6)	8 (2)	9.44 (9)
más de 19 pisos	-	8 (1)	8 (1)	8 (2)
Promedios generales: Cantidad de elementos relevantes dirección x				
Nivel desempeño de	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	8.0	8.18	7.80	8.05
Desviación estándar	1.6	3.28	0.45	2.48

Tabla 5.30 Promedios del número de elementos relevantes en la resistencia sísmica dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango

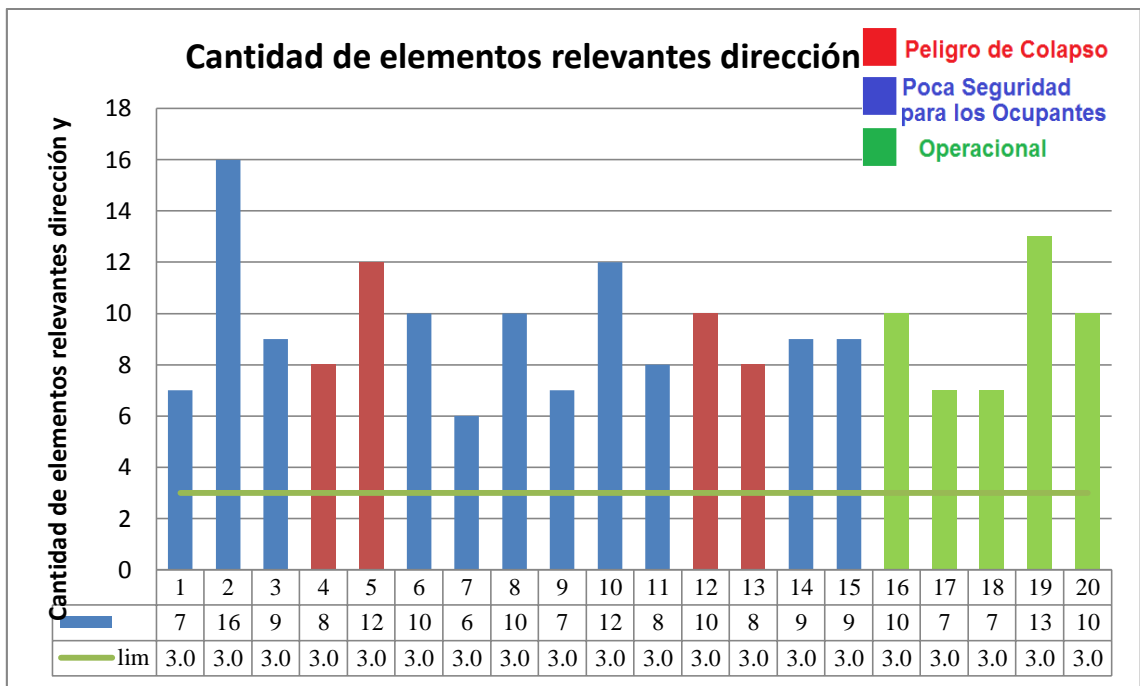


Figura 5.20 Número de elementos relevantes en la resistencia sísmica dirección y

Promedios por rango de altura del edificio: Cantidad de elementos relevantes dirección y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	7 (1)	7 (1)	7 (2)
11 a 14 pisos	8.7 (3)	9.67 (3)	7 (1)	8.86 (7)
15 a 18 pisos	12 (1)	10.17 (6)	11.5 (2)	10.67 (9)
más de 19 pisos	-	6 (1)	10 (1)	8 (2)
Promedios generales: Cantidad de elementos relevantes dirección y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	9.5	9.36	9.40	9.40
Desviación estándar	1.9	2.77	2.51	2.44

Tabla 5.31 Promedios del número de elementos relevantes en la resistencia sísmica dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango

### Comentario

La cantidad de elementos relevantes en la resistencia para cada dirección tiene un valor cercano de 9 para el dirección y, y de 8 para el dirección x, todos los edificios tienen un valor mayor a 3, por tanto son considerados en el rango normal para este indicador.

No se observa una tendencia para ningún nivel de desempeño.

No se observa alguna correlación de este indicador con los daños, incluso el eje más dañado en la mayoría de los edificios tiene una mayor valor del indicador.

#### 5.2.4.2 Factor de Reducción Espectral Efectivo ( $R^{**}$ )

La resistencia a la acción sísmica que se suministra a una estructura puede hacer que ésta se aleje de un comportamiento elástico, lo que sólo puede analizarse mediante un procedimiento de respuesta en el tiempo aplicado a un modelo no-lineal. La dificultad analítica que impone un análisis de esta naturaleza ha originado el desarrollo, de aceptación mundial, del concepto de Factor de Modificación de Respuesta, "R", que se asocia a la determinación de un factor de reducción de la acción sísmica, con el objeto de generar un sismo de diseño, susceptible de analizar mediante el empleo de un modelo lineal. ATC 19 recomienda que R sea igual al producto de tres componentes:  $R_m$  (Factor de Ductilidad),  $R_s$  (Factor de Resistencia) y  $R_r$  (Factor de Redundancia). Los valores de diseño que establece la norma chilena, se deben obtener de un análisis sísmico dinámico, con un espectro elástico reducido por el factor  $R^*$ , función del Factor de Modificación de Respuesta y del período de mayor masa traslacional equivalente, en la dirección de análisis. Estos resultados deben posteriormente modificarse, amplificándolos si el corte basal resultara inferior al corte basal mínimo, o reduciéndolos, si fuese superior al corte basal máximo, lo que permite definir un Factor de Reducción Espectral Efectivo  $R^{**}$ . Los valores estadísticos de este indicador muestran que, en general,  $R^{**}$  está por debajo de 7, con una alta concentración en torno a 4. Se sugiere que, para valores de  $R^{**}$  comprendidos entre 3 y 7, se complemente el análisis de norma con procedimientos no lineales aproximados tipo "push-over" y que para valores superiores a 7, sea imprescindible utilizar técnicas más refinadas.

Dada la dificultad para el cálculo exacto de este indicador, solo se presenta el cálculo del factor de reducción de la respuesta considerando la aproximación de la NCh433 Of.96 Mod.2009 y reduciéndolo o aumentándolo según si el corte basal sobrepasa el máximo o si está por debajo del mínimo.

La tabla 5.33 muestra los valores para el factor de reducción espectral efectivo calculados con la NCh433 para cada dirección de análisis considerando zona 3 y suelo D. Las figuras 5.21 y 5.22 muestran los valores para este indicador mientras que las tablas 5.34 y 5.35 muestran los promedios por nivel de desempeño y por rango de pisos para cada dirección.

El rango de valores normales está bajo el valor de 3, los valores aceptables se encuentran en el rango de 3 a 7 y mayores a 7 están fuera de rango (color rojo).

Edificio	$R_x^*$	$R_y^*$	$R_x^{**}$	$R_y^{**}$
N1	6.1	6.9	6.1	6.9
A2	7.8	8.5	7.4	5.6
A3	7.7	8.7	7.1	4.6
B4	6.1	6.2	6.1	6.2
F5	6.2	6.6	6.2	6.6
M6	6.4	7.9	6.4	7.3
M7	8.0	9.2	5.4	3.7
M8	6.3	6.5	6.3	6.5
M9	3.4	5.1	3.7	5.1
R10	6.6	7.6	6.6	6.7
R11	8.3	9.0	6.6	4.9
T12	9.2	8.6	7.3	8.6
T13	5.3	6.7	5.3	6.7
T14	7.1	7.4	6.8	7.4
T15	5.9	5.9	5.9	5.9
P16	8.2	9.2	5.8	3.5
R17	5.3	5.0	5.3	5.0
S18	5.5	6.5	5.5	6.5
S19	5.7	7.1	7.9	7.1
V20	7.9	7.9	4.8	4.1

Tabla 5.32 Factor de reducción espectral NCh433

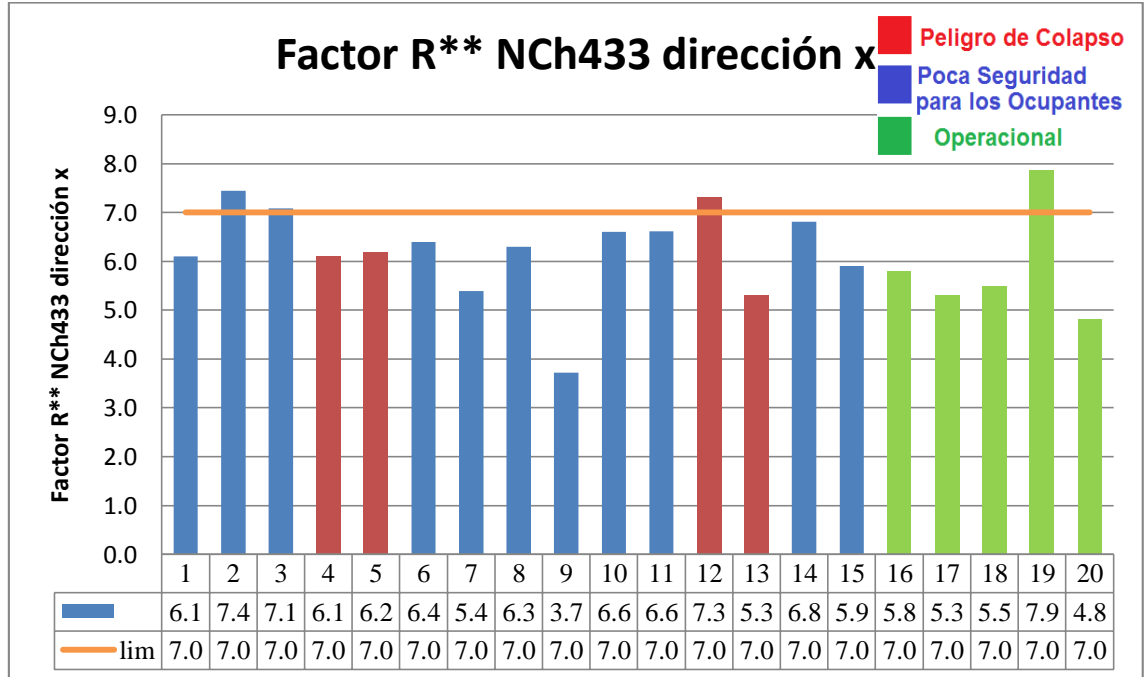


Figura 5.21 Factor de reducción espectral NCh433 dirección x

Promedios por rango de altura del edificio: Factor R** NCh433 dirección x				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	3.7 (1)	5.3 (1)	4.5 (2)
11 a 14 pisos	6.2 (3)	6.2 (3)	5.5 (1)	6.1 (7)
15 a 18 pisos	6.2 (1)	6.8 (6)	6.3 (2)	6.6 (9)
más de 19 pisos	-	5.4 (1)	5.8 (1)	5.6 (2)
Promedios generales: Factor R** NCh433 dirección x				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	6.2	6.2	5.9	6.1
Desviación estándar	0.8	1.0	1.2	1.0

Tabla 5.33 Promedios del factor de reducción espectral NCh433 dirección x. En paréntesis, cantidad de datos en el rango

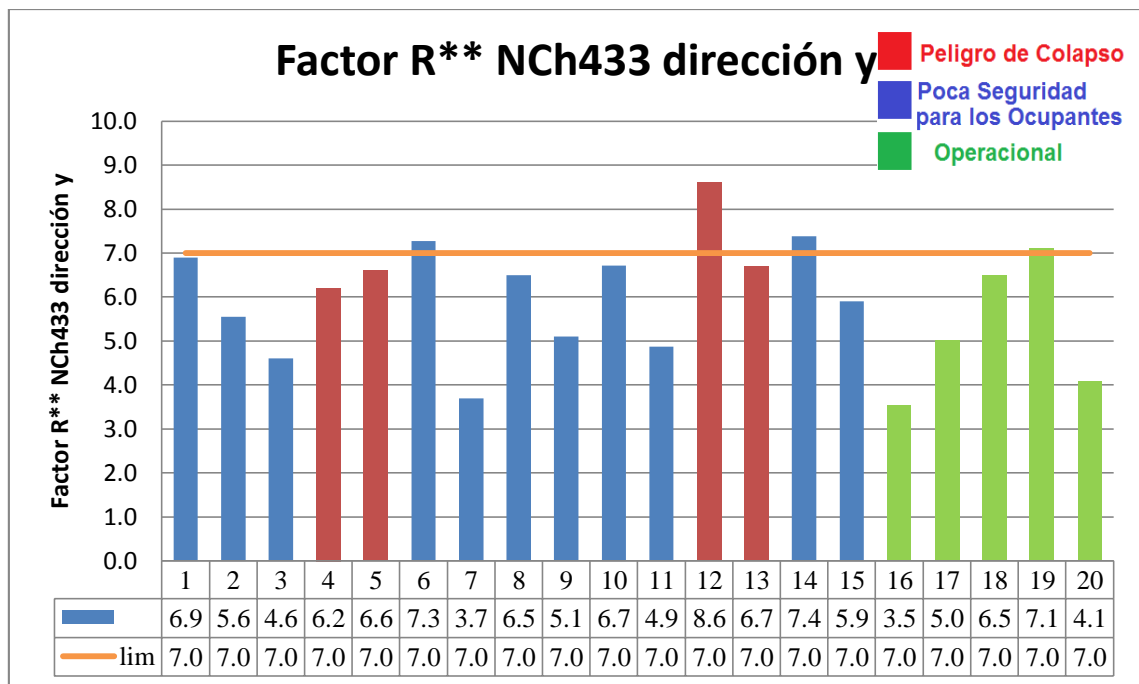


Figura 5.22 Factor de reducción espectral NCh433 dirección y

Promedios por rango de altura del edificio: Factor R** NCh433 dirección y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	5.1 (1)	5 (1)	5.1 (2)
11 a 14 pisos	7.2 (3)	6.6 (3)	6.5 (1)	6.8 (7)
15 a 18 pisos	6.6 (1)	6 (6)	5.6 (2)	6 (9)
más de 19 pisos	-	3.7 (1)	3.5 (1)	3.6 (2)
Promedios generales: Factor R** NCh433 dirección y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	7.0	5.9	5.2	5.9
Desviación estándar	1.1	1.2	1.5	1.3

**Tabla 5.34 Promedios del factor de reducción espectral NCh433 dirección y. En paréntesis, cantidad de datos en el rango**

- **Comentario**

Los resultados obtenidos para este indicador (R\*\*) no tienen mucha validez dada la poca certeza en el cálculo. R\*\* es un valor que depende del periodo fundamental, del tipo de suelo, del factor de modificación de la respuesta  $R_o$  y del corte basal.

Todos los valores están sobre 3 y bajo 7 (rango aceptable), a excepción de cinco edificios con valores de R\*\* sobre 7 (fuera de rango).

Los promedios son muy similares independiente del nivel de desempeño del edificio y de la dirección. Los promedios globales son cercanos al valor de 6 en ambas direcciones de análisis.

### 5.3 Conclusiones

El Perfil Bio-Sísmico es una buena metodología para calificar sísmicamente a los edificios, ya que incluye una gran variedad de indicadores que consideran los principales parámetros geométricos y de la respuesta sísmica, esto permite evaluar con diferente sensibilidad aspectos asociados a la rigidez, acoplamiento y redundancia estructural en los edificios. Para el análisis se empleó el espectro sísmico reducido de diseño de la NCh433 Of.96 Mod.2009 complementada con el Decreto Supremo N°61 del 2011.

A grandes rasgos, la gran mayoría de indicadores en los edificios tienen valores ubicados dentro de rangos normales, en algunos casos los valores se ubicaban en rangos aceptables y en menor cantidad estaban fuera de rango, esto sucede en toda la muestra sin muchas diferencias entre los diferentes niveles de desempeño.

Haciendo un análisis un poco más detallado de los indicadores para los distintos niveles de desempeño, se tiene que para el grupo de indicadores de rigidez, de la muestra total, en general los edificios con buen nivel de desempeño son más flexibles, y los edificios con nivel Peligro de Colapso son más rígidos lo que se aprecia con mayor frecuencia en dirección y.

Con respecto a los indicadores de acoplamiento, se tiene que para el indicador de periodo rotacional sobre el traslacional, el 53% de edificios con mal desempeño se hayan en rango desfavorable, pero el 60% de los edificios con buen desempeño también se encuentran en ese

rango. También se observó que el 40% del total de edificios con mal desempeño (uno con nivel de desempeño Peligro de Colapso) tienen un acoplamiento en la misma dirección de los daños.

En cuanto al cociente entre masas rotacionales y masas traslacionales, se tiene que el 67% de los edificios con mal desempeño está fuera del rango normal, también el 40% de edificios con buen desempeño tienen valores fuera del rango normal. El 33% de los edificios con mal desempeño asocia la dirección del daño con un valor fuera del rango normal.

El otro indicador que merece ser mencionado es aquel que relaciona las masas traslacionales directas y acopladas, en este indicador se observa que el 26% de los edificios con mal desempeño tienen valores fuera del rango normal y que de este porcentaje, el 75% relaciona el valor fuera de rango con la misma dirección de los daños en los edificios.

En los demás indicadores no se observan correlaciones muy significativas, solo existen algunos valores aislados fuera de rango.

Que el valor de un indicador se encuentre fuera de un rango normal no puede asociarse directamente al nivel de desempeño que un edificio podría alcanzar. Lo que permite identificar un indicador, es una posibilidad de que cierto comportamiento o característica podría estar asociado(a) al desempeño del edificio o que podría haber influenciado en dicho nivel de desempeño.

## **6 ANÁLISIS DE INDICADORES ASOCIADOS A LOS PARÁMETROS DEL ANÁLISIS SÍSMICO**

### **6.1 General**

Este capítulo se divide en dos secciones principales.

La primera sección analiza más detalladamente los parámetros calculados del análisis sísmico de norma presentado en el Capítulo 4. Para ello, se proponen algunos indicadores diferentes a los del perfil Bio-Sísmico del Capítulo 5, que pueden dar otra perspectiva del comportamiento de los edificios. Estos indicadores, además de intentar buscar alguna correlación con los daños, permitirán describir algunas características propias de la muestra, esto por medio de los promedios, tanto por rangos de pisos, como por nivel de desempeño. La direccionalidad del daño se estudia con más detenimiento en el Capítulo 7.

La segunda sección pretende determinar algún posible grado de acoplamiento entre los periodos del suelo y del edificio. Para ello se realiza la comparación entre el periodo traslacional fundamental de cada edificio (aquel periodo con mayor masa equivalente), en cada dirección de análisis, con el periodo de natural de vibración del suelo donde se emplaza el respectivo edificio. Se intenta del mismo modo, correlacionar un posible acoplamiento de periodos con los daños observados en los edificios.

Los datos con los que se trabaja son los mismos obtenidos del análisis sísmico del capítulo 4, donde se usó para cada edificio el espectro sísmico de la NCh433Of.96 mod2009 y Decreto 61 of 2011, con zona sísmica 3, suelos C o D dependiendo del caso particular, y reducido solo por el factor  $R^*$  (no se reduce por  $R^{**}$ ) ya que se desea comparar los valores de análisis no acotados por los límites de cortes máximos y mínimos. Los modelos de análisis de los edificios están en ETABS 2015.

A objeto de análisis, los resultados se presentan en gráficos de barras. En color rojo se muestran las barras correspondientes de los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso. En azul se muestran aquellos con Poca Seguridad para los Ocupantes. En verde los edificios con nivel de desempeño Operacional

### **6.2 Indicadores relacionados a los parámetros sísmicos**

Esta sección está enfocada en calcular algunos indicadores relacionados con los parámetros del análisis sísmico y determinar una posible correlación de dicho indicador con el daño observado.

Se considera para el cálculo de los indicadores, el peso sísmico, los cortes basales, los momentos volcantes, y los desplazamientos de diseño, valores obtenidos en el Capítulo 4 y el Capítulo 7.

## 6.2.1 Indicadores relacionados con el peso sísmico

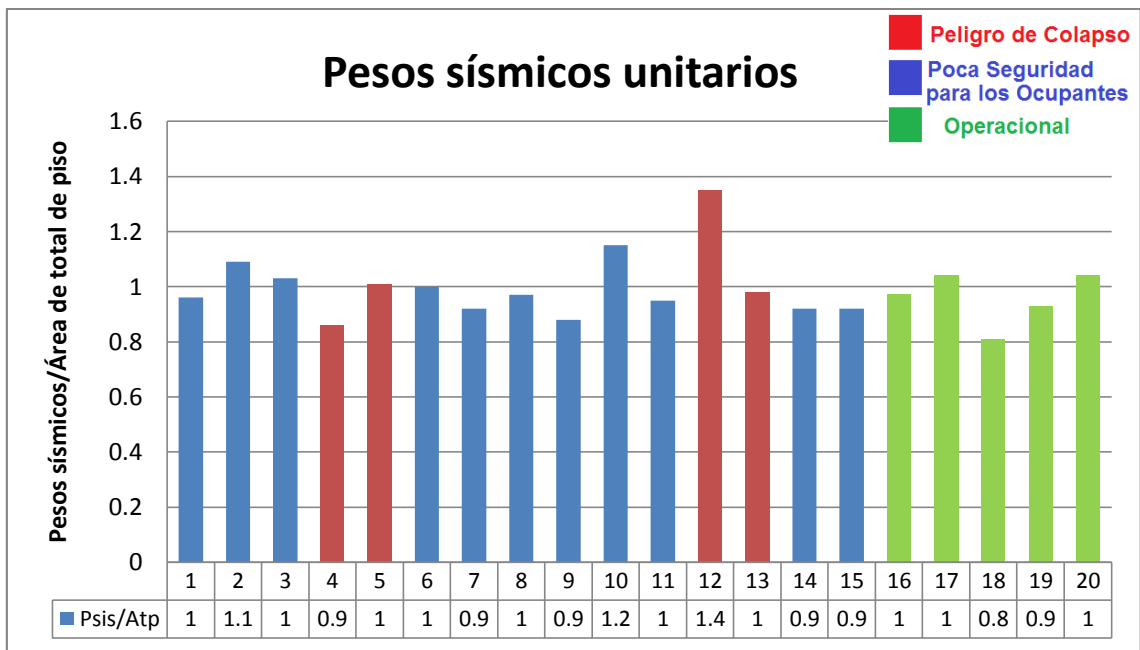
### 6.2.1.1 Peso sísmico unitario

Se presenta a continuación el indicador peso sísmico unitario, calculado como el peso sísmico total del edificio sobre el área total de pisos que corresponde a la suma del área de la planta de cada piso del edificio, incluyendo los subterráneos.

La tabla 6.1 contiene el peso sísmico  $P_{sis}$ , el área total de pisos y la razón entre ambos en cada columna respectivamente. La figura 6.1 muestra esta variable. Se aprecia que este indicador tiene valores bastante uniformes, todos cercanos a 1 [ $Tf/m^2$ ].

Edificio	$P_{sis}$ [Tf]	Área total de pisos [m <sup>2</sup> ]	Razón $P_{sis}/Area$ [Tf/m <sup>2</sup> ]
N1	8886	9260	0.96
A2	12215	11255	1.09
A3	10984	10682	1.03
B4(*)	5551	6433	0.86
F5(*)	14558	14470	1.01
M6	4604	4609	1.00
M7	9909	10787	0.92
M8	5621	5821	0.97
M9	2110	2391	0.88
R10	10144	8830	1.15
R11	8324	8768	0.95
T12(*)	6864	5083	1.35
T13(*)	5715	5823	0.98
T14	11500	12467	0.92
T15	4334	4696	0.92
P16	15618	16167	0.97
R17	4344	4165	1.04
S18	2805	3461	0.81
S19	7471	7999	0.93
V20	6530	6259	1.04

Tabla 6.1 Pesos sísmicos unitarios



**Figura 6.1 Pesos sísmicos unitarios**

#### 6.2.1.2 Peso sísmico unitario multiplicado por el número de pisos

Para considerar el efecto de la altura en el peso sísmico, se calcula el peso sísmico unitario multiplicado por el número de pisos de los edificios, incluyendo los subterráneos, valor equivalente al peso total dividido por un área media de piso.

La Tabla 6.2 contiene el peso sísmico unitario, el número de pisos y la razón entre ambos en cada columna respectivamente. La Figura 6.2 muestra esta variable gráficamente y la Tabla 6.3 contiene los promedios tanto por nivel de desempeño como por rango de pisos.

Los valores promedio son solo para referencia ya que la desviación estándar es alta. Por nivel de desempeño los promedios son parecidos y el promedio de la muestra es cercano a 15 [Tf/m<sup>2</sup>xpiso]. No se observan correlaciones entre los distintos niveles de desempeño.

Edificio	Psis unitario [Tf/m <sup>2</sup> ]	N° Pisos+Subt.	Psis unitario x N° pisos [Tf/m <sup>2</sup> xpiso]
N1	0.96	18	17.3
A2	1.09	15	16.4
A3	1.03	18	18.5
B4(*)	0.86	13	11.2
F5(*)	1.01	15	15.2
M6	1.00	12	12.0
M7	0.92	20	18.4
M8	0.97	14	13.6
M9	0.88	8	7.0
R10	1.15	17	19.6
R11	0.95	18	17.1
T12(*)	1.35	13	17.6
T13(*)	0.98	11	10.8
T14	0.92	18	16.6
T15	0.92	12	11.0
P16	0.97	24	23.3
R17	1.04	9	9.4
S18	0.81	12	9.7
S19	0.93	17	15.8
V20	1.04	17	17.7

Tabla 6.2 Pesos sísmicos unitarios multiplicados por el número de pisos. (\*) Peligro de Colapso

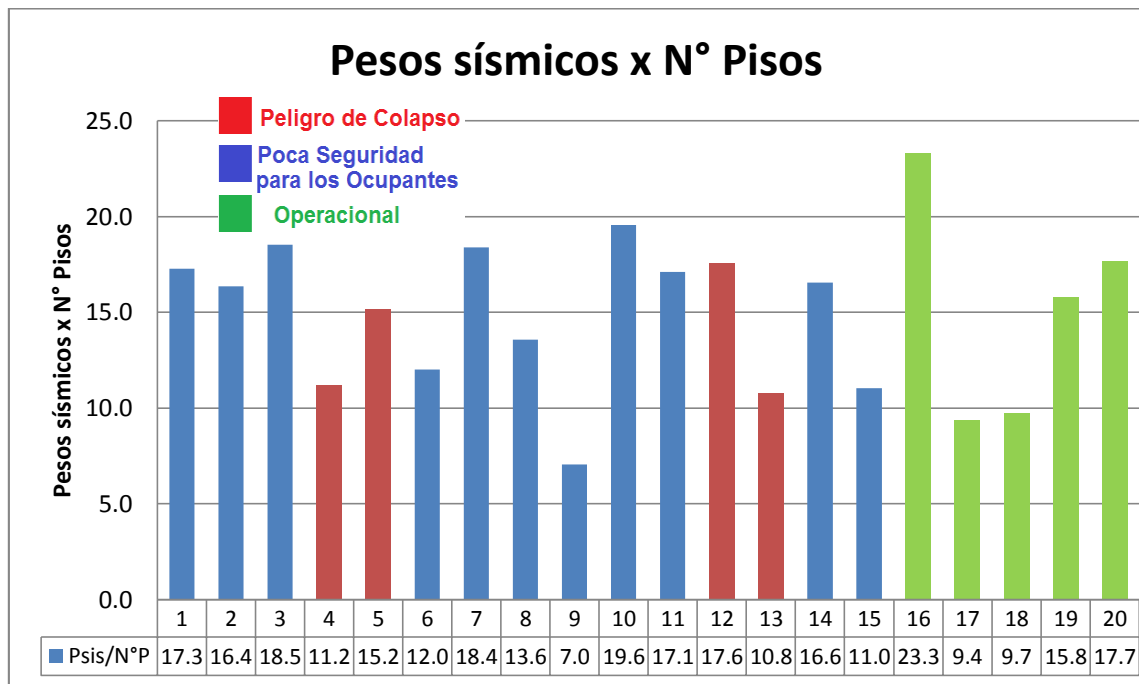


Figura 6.2 Pesos sísmicos unitarios por N° de pisos

Promedios por rango de altura del edificio: Pesos sísmicos unitarios x N° Pisos				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	7 (1)	9.4 (1)	8 (2)
11 a 14 pisos	13.2 (3)	12.2 (3)	9.7 (1)	12.3 (7)
15 a 18 pisos	15.2 (1)	17.6 (6)	16.7 (2)	17.1 (9)
más de 19 pisos	-	18.4 (1)	23.3 (1)	20.8 (2)
Promedios generales: Pesos sísmicos unitarios x N° Pisos				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	13.7	15.2	15.2	14.9
Desviación estándar	3.3	3.8	5.8	4.1

**Tabla 6.3 Promedios por nivel de desempeño y por N° de pisos de los Pesos Sísmicos unitarios x N° de pisos, en paréntesis se indica la cantidad de datos considerados en el promedio**

### 6.2.1.3 Peso por longitud en planta

Se propone el indicador del peso sísmico total sobre la longitud de la planta del piso 1 en ambas direcciones.

La Tabla 6.4, en la segunda columna contiene el peso sísmico. Las longitudes máximas de la planta del piso 1 en dirección x e y se presentan en las columnas 3 y 4 respectivamente. Las relaciones del cociente entre el peso y la longitud dirección x e y se presentan en las columnas 5 y 6 respectivamente. También se incluye una columna indicando la dirección local con mayor cantidad de daños en los edificios.

La figura 6.3 muestra en un gráfico de barras el cociente entre el peso sísmico total y las longitudes de la planta del piso 1 en la dirección donde se encuentra la mayor cantidad de daños en los edificios. En aquellos edificios donde se encuentra el daño en ambas direcciones, se presenta los valores de ambas direcciones en el mismo gráfico. Para los edificios con buen desempeño, se presenta el valor en la dirección menor, suponiéndola como la más vulnerable.

La figura 6.4 muestra los valores para la dirección donde no se encuentran daños en los edificios. Para los edificios con buen desempeño, se muestran los valores de la dirección x, suponiéndola como la menos vulnerable.

Revisando las gráficas, no se observan correlaciones de esta variable con el nivel de desempeño alcanzado por los edificios.

Edificio	Psis [Tf]	Longitud x [m]	Longitud y [m]	Psis/Lx [Tf/m]	Psis/Ly [Tf/m]	Dirección del daño
N1	8886	34.3	13.7	258.9	648.6	y
A2	12215	53.3	20.5	229.0	595.9	x
A3	10984	31.4	21.2	349.5	518.1	y
B4(*)	5551	19.6	19.1	283.2	290.6	y
F5(*)	14558	48.8	25.4	298.2	573.1	y
M6	4604	33.0	13.4	139.5	343.6	y
M7	9909	33.5	18.4	295.9	538.5	x
M8	5621	27.8	17.8	202.2	315.8	x
M9	2110	29.8	9.7	70.8	217.5	y
R10	10144	28.4	19.8	356.8	512.3	y
R11	8324	29.5	18.7	282.2	445.1	y
T12(*)	6864	25.9	19.2	265.0	357.5	x-y
T13(*)	5715	38.2	14.6	149.8	391.4	y
T14	11500	37.8	15.2	304.2	756.6	x-y
T15	4334	28.6	14.9	151.5	290.9	y
P16	15618	32.3	19.3	483.5	809.2	-
R17	4344	23.6	19.1	184.5	227.4	-
S18	2805	23.2	12.0	120.9	233.8	-
S19	7471	38.4	12.6	194.6	592.9	-
V20	6530	26.1	12.6	250.0	518.3	-

Tabla 6.4 Pesos sísmicos sobre el largo de la planta. (\*) Peligro de colapso

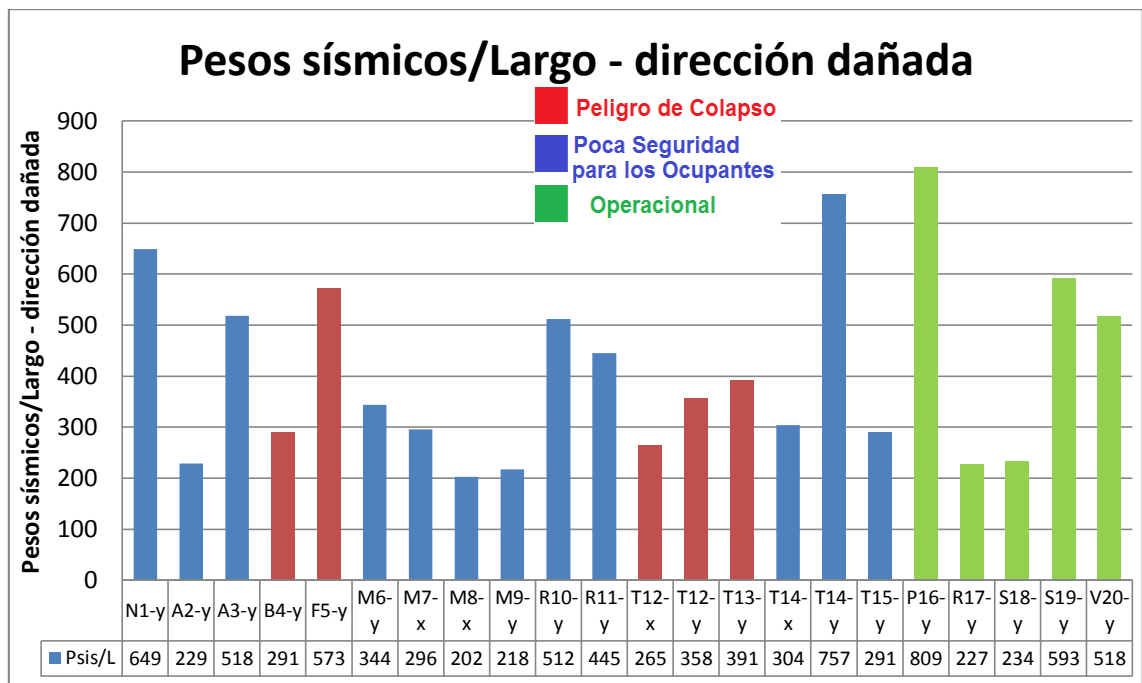
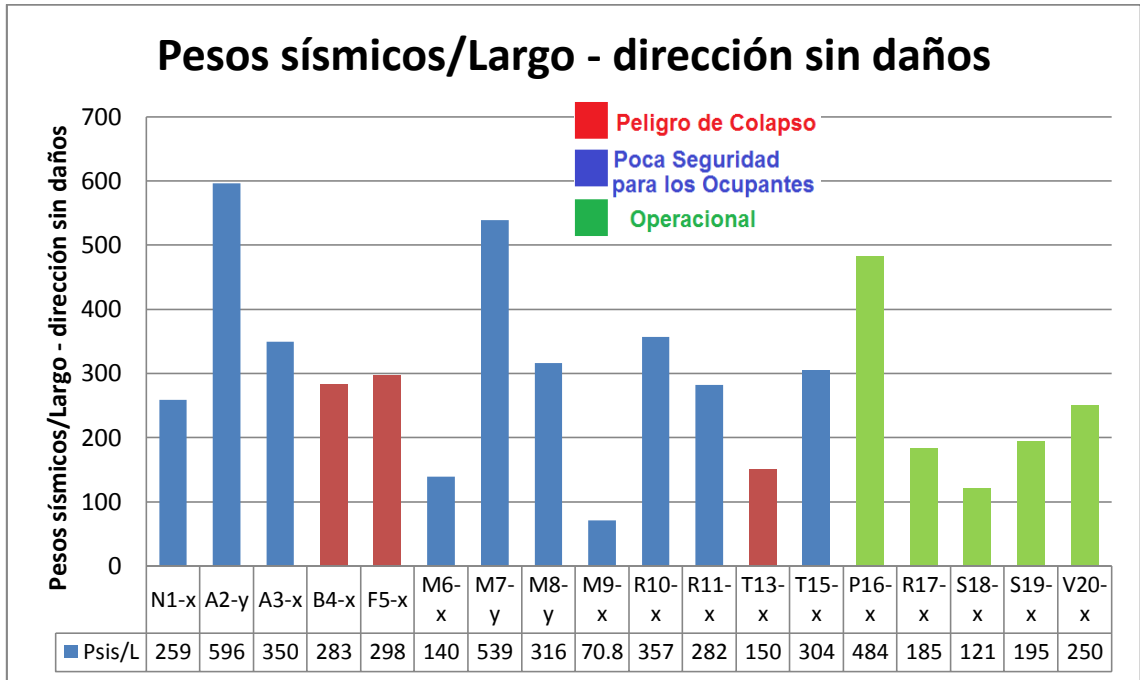


Figura 6.3 Pesos sísmicos sobre el largo de la planta en dirección dañada o vulnerable



**Figura 6.4 Pesos sísmicos sobre el largo de la planta en dirección sin daños o menos vulnerable**

## 6.2.2 Indicadores relacionados con el corte basal y el momento volcante

En este apartado, se determinan indicadores asociados a los cortes basales y los momentos volcantes. Se incluye el corte, expresado como porcentaje del peso, sobre la esbeltez, y el momento volcante sobre la longitud en planta. Además se analizará la posible correlación de estos indicadores con la dirección principal de falla del edificio.

Se consideran los valores obtenidos del análisis sísmico con espectro reducido por  $R^*$ , por tanto los valores no están acotados por los cortes máximos ni mínimos.

### 6.2.2.1 Corte basal, como porcentaje del peso, sobre la esbeltez

El corte basal corresponde al corte generado en la base de la estructura debido al efecto sísmico, mientras que la esbeltez (analizada más en detalle en el Capítulo 7) es la relación entre la altura del edificio y la longitud mínima de la planta en el piso 1 (sección crítica).

En la Tabla 6.5 se tiene el corte como porcentaje del peso sísmico en dirección x e y, la esbeltez en dirección x e y, el cuociente entre el corte como porcentaje del peso sísmico y la esbeltez en ambas direcciones, y la dirección predominante del daño en los edificios.

La figura 6.5 muestra los valores de esta variable en dirección donde se encuentra la mayor cantidad de daños en los edificios. En aquellos edificios donde se encuentra el daño en ambas direcciones, se presentan los valores de ambas direcciones en el mismo gráfico. Para los

edificios con buen desempeño, se presenta el valor en la dirección menor, suponiéndola como la más vulnerable.

La figura 6.6 muestra los valores para la dirección donde no se encuentran daños en los edificios. Para los edificios con buen desempeño, se muestran los valores de la dirección x, suponiéndola como la menos vulnerable.

Según las gráficas, no se aprecia alguna correlación clara con el daño para esta variable ni con los niveles de desempeño alcanzados por los edificios.

Se incluye además en las tablas 6.6 y 6.7, a modo de referencia, los promedios de esta variable en dirección x e y, respectivamente, para cada nivel de desempeño, por número de pisos y globales.

Edificio	Corte % $P_{sis}$ Dirección x	Corte % $P_{sis}$ Dirección y	Esbeltez x	Esbeltez y	Corte % $P_{sis}/esbelle$ z x	Corte % $P_{sis}/esbelle$ z y	Dirección del daño
1	10.00%	10.30%	1.18	3.82	8.47%	2.70%	y
2	7.60%	5.20%	0.82	2.15	9.27%	2.42%	x
3	7.40%	4.20%	1.30	2.46	5.69%	1.71%	y
4(*)	10.50%	9.90%	1.35	2.35	7.78%	4.21%	y
5(*)	15.30%	11.20%	0.84	3.12	18.21%	3.59%	y
6	10.80%	7.40%	0.85	3.26	12.71%	2.27%	y
7	5.40%	3.20%	1.48	4.27	3.65%	0.75%	x
8	12.60%	13.70%	1.20	2.49	10.50%	5.50%	x
9	18.60%	13.90%	0.60	1.86	31.00%	7.47%	y
10	12.60%	7.10%	1.44	3.24	8.75%	2.19%	y
11	6.40%	4.30%	1.56	3.08	4.10%	1.40%	y
12(*)	6.40%	9.50%	1.21	1.99	5.29%	4.77%	x-y
13(*)	15.90%	13.40%	0.73	2.26	21.78%	5.93%	y
14	7.70%	8.00%	1.09	3.00	7.06%	2.67%	x-y
15	8.80%	10.70%	1.02	2.19	8.63%	4.89%	y
16	5.70%	3.10%	1.70	3.40	3.35%	0.91%	-
17	14.70%	15.10%	0.87	1.21	16.90%	12.48%	-
18	14.50%	11.30%	1.22	2.35	11.89%	4.81%	-
19	23.40%	5.60%	1.05	5.29	22.29%	1.06%	-
20	4.90%	4.10%	1.56	3.32	3.14%	1.23%	-

**Tabla 6.5 Corte basal como porcentaje del peso sobre la esbeltez en ambas direcciones. (\*) Peligro de Colapso**

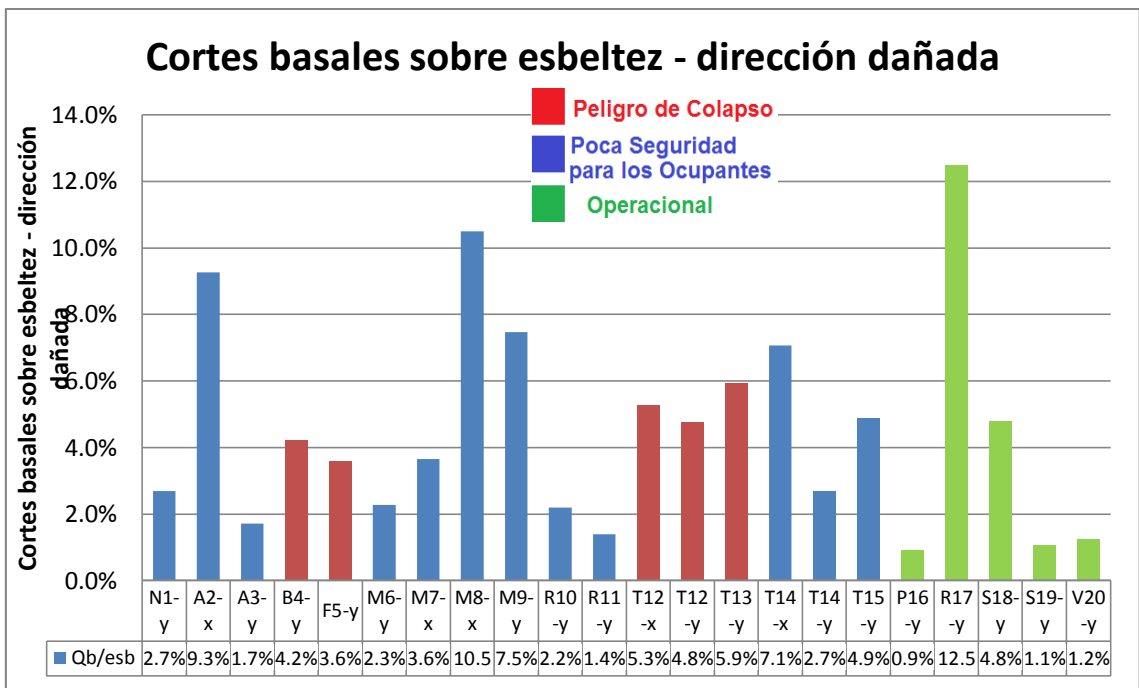


Figura 6.5 Corte como porcentaje del peso en dirección con daños sobre la esbeltez en dirección con daños

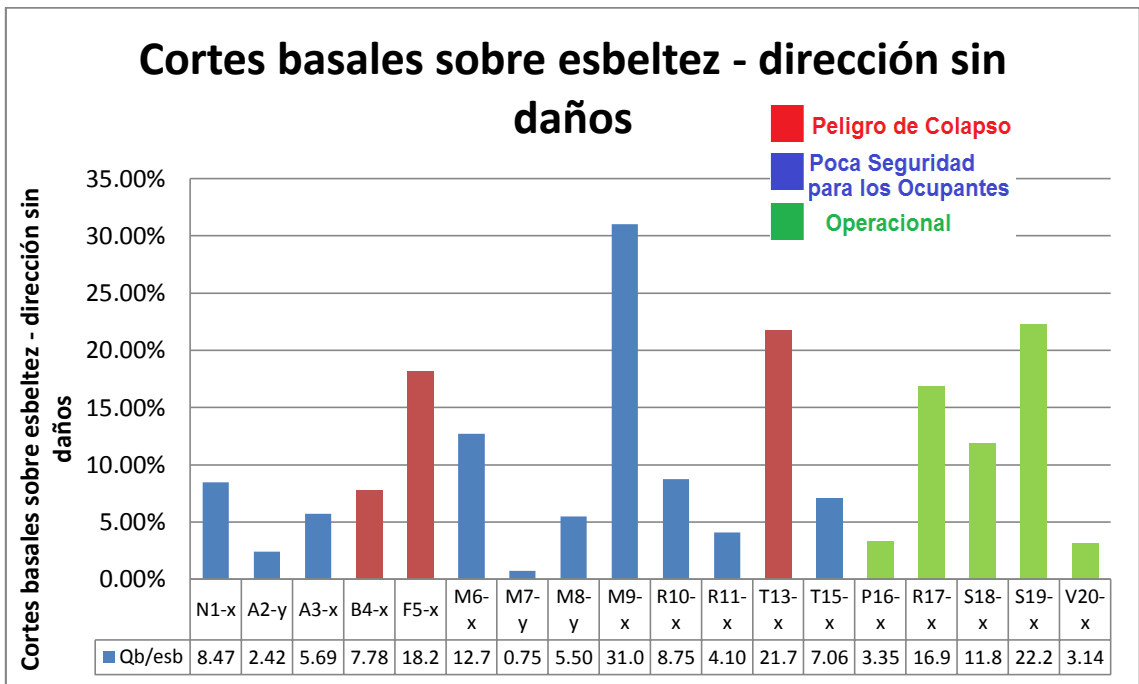


Figura 6.6 Corte como porcentaje del peso en dirección sin daños sobre la esbeltez en dirección sin daños

Promedios por rango de altura del edificio: Corte porcentaje del peso x / esbeltez x				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.31 (1)	0.2 (1)	0.2 (2)
11 a 14 pisos	0.12 (3)	0.11 (3)	0.12 (1)	0.11 (7)
15 a 18 pisos	0.18 (1)	0.07 (6)	0.11 (2)	0.09 (9)
más de 20 pisos	-	0.05 (1)	0.05 (1)	0.05 (2)
Promedios generales: Corte porcentaje del peso x / esbeltez x				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
Promedios	0.13	0.10	0.11	0.11
Desviación estándar	0.08	0.07	0.06	0.07

**Tabla 6.6 Promedios del corte como porcentaje del peso en dirección x sobre la esbeltez en dirección x**

Promedios por rango de altura del edificio: Corte porcentaje del peso y / esbeltez y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.08 (1)	0.1 (1)	0.1 (2)
11 a 14 pisos	0.05 (3)	0.04 (3)	0.05 (1)	0.05 (7)
15 a 18 pisos	0.04 (1)	0.03 (6)	0.02 (2)	0.03 (9)
más de 20 pisos	-	0.02 (1)	0.02 (1)	0.02 (2)
Promedios generales: Corte porcentaje del peso y / esbeltez y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
Promedios	0.05	0.03	0.05	0.04
Desviación estándar	0.01	0.02	0.04	0.03

**Tabla 6.7 Promedios del corte como porcentaje del peso en dirección y sobre la esbeltez en dirección y**

### **6.2.2.2 Momento volcante sobre la longitud de la planta**

El momento volcante corresponde al momento generado en la base de la estructura debido al efecto sísmico, mientras que la longitud de la planta, corresponde a la máxima longitud en ambas direcciones principales.

La Tabla 6.8 contiene los momentos volcantes en cada dirección de análisis, las longitudes del piso 1 en ambas direcciones, y el cuociente entre los momentos y las longitudes para cada dirección respectivamente. Se incluye además la dirección local predominante del daño en los edificios.

La figura 6.7 muestra los valores de esta variable en dirección donde se encuentra la mayor cantidad de daños en los edificios. En aquellos edificios donde se encuentra el daño en ambas direcciones, se presentan los valores de ambas direcciones en el mismo gráfico. Para los edificios con buen desempeño, se presenta el valor en la dirección menor, suponiéndola como la más vulnerable.

La figura 6.8 muestra los valores para la dirección donde no se encuentran daños en los edificios. Para los edificios con buen desempeño, se muestran los valores de la dirección x, suponiéndola como la menos vulnerable.

Según las gráficas, no se aprecia alguna correlación clara con el daño para esta variable ni con los niveles de desempeño alcanzados por los edificios. Existen algunos valores extremos tanto para el grupo de edificios con buen desempeño, como en el grupo de edificios con mal desempeño.

A modo de referencia, se presentan en las tablas 6.9 y 6.10 los valores promedios de esta variable para ambas direcciones principales, x e y, respectivamente. Se tienen promedios, por nivel de desempeño, por rango de pisos y globales.

Edificio	$M_{vol}$ [Tf-m] Sismo x	$M_{vol}$ [Tf-m] Sismo y	Longitud x [m]	Longitud y [m]	$M_{vol}/Long$ Sismo x	$M_{vol}/Long$ Sismo y	Dirección predominante del daño
N1	29807.9	31064.3	34.3	13.7	869.0	2267.5	y
A2	30020.4	41725.4	53.3	20.5	563.2	2035.4	x
A3	34292.6	76531.7	31.4	21.2	1092.1	3610.0	y
B4(*)	14112.1	13535.4	19.6	19.1	720.0	708.7	y
F5(*)	71088.7	52709.3	48.8	25.4	1456.7	2075.2	y
M6	10636.2	10302.3	33.0	13.4	322.3	768.8	y
M7	59488.6	96967.8	33.5	18.4	1775.8	5270.0	x
M8	18991.2	19544.3	27.8	17.8	683.1	1098.0	x
M9	5113.9	3856.2	29.8	9.7	171.6	397.5	y
R10	36999.6	26772.6	28.4	19.8	1302.8	1352.2	y
R11	29995.2	49202.2	29.5	18.7	1016.8	2631.1	y
T12(*)	12910.2	16081.7	25.9	19.2	498.5	837.6	x-y
T13(*)	20249.9	17030.4	38.2	14.6	530.1	1166.5	y
T14	33212.4	32356.9	37.8	15.2	878.6	2128.7	x-y
T15	8579.8	10006.0	28.6	14.9	300.0	671.5	y
P16	73284.2	124753.3	32.3	19.3	2268.9	6463.9	-
R17	11285.5	11343.1	23.6	19.1	478.2	593.9	-
S18	8755.5	6857.5	23.2	12.0	377.4	571.5	-
S19	24952.4	30047.2	38.4	12.6	649.8	2384.7	-
V20	26944.1	31079.0	26.1	12.6	1032.3	2466.6	-

Tabla 6.8 Momentos volcantes sobre longitudes en planta. (\*) Peligro de Colapso

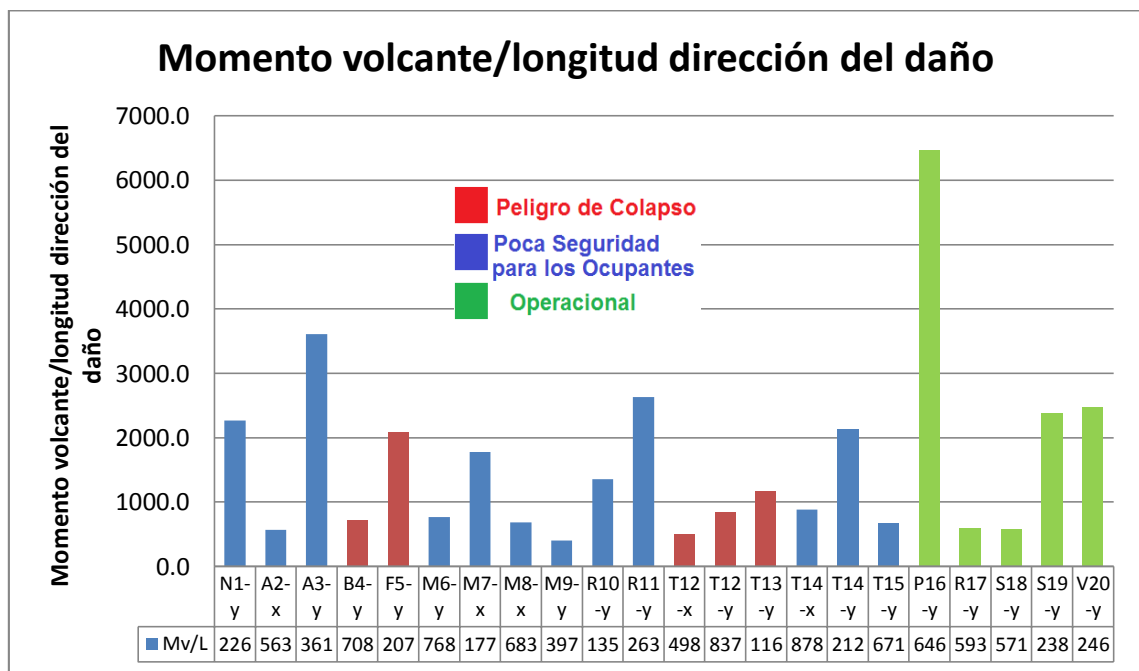
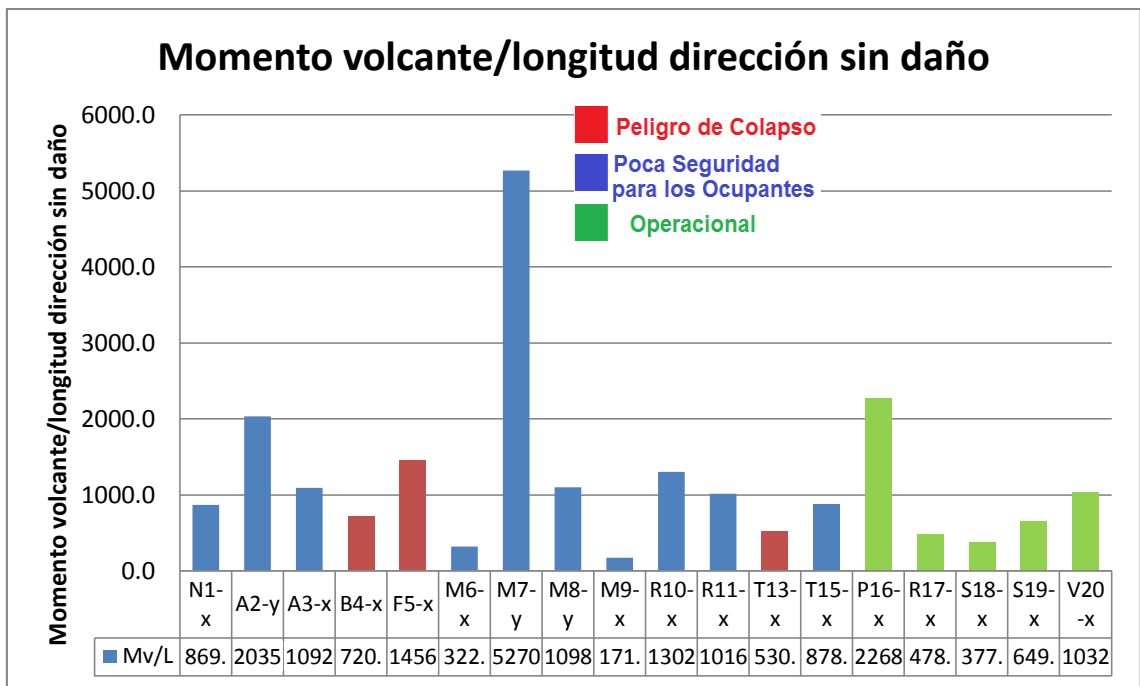


Figura 6.7 Momentos volcantes sobre longitud en planta dirección del daño



**Figura 6.8 Momentos volcantes sobre longitud en planta dirección sin daños**

Promedios por rango de altura del edificio: Momento volcante/longitud y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	171.6 (1)	478.2 (1)	324.9 (2)
11 a 14 pisos	568.4 (3)	435.1 (3)	377.4 (1)	484 (7)
15 a 18 pisos	1456.7 (1)	928.5 (6)	746.8 (2)	946.8 (9)
más de 19 pisos	-	1376.2 (1)	1604.8 (1)	1490.5 (2)
Promedios generales: H/T eje y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	790.5	765.8	790.8	777.0
Desviación estándar	457.9	404.8	490.8	412.6

**Tabla 6.9 Promedios de los momentos volcantes sobre longitud en planta dirección x**

Promedios por rango de altura del edificio: Momento volcante/longitud y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	397.5 (1)	593.9 (1)	495.7 (2)
11 a 14 pisos	904.2 (3)	846.1 (3)	571.5 (1)	831.8 (7)
15 a 18 pisos	2075.2 (1)	1787.3 (6)	1832.4 (2)	1829.3 (9)
más de 19 pisos	-	2405.9 (1)	2459.1 (1)	2432.5 (2)
Promedios generales: Momento volcante/longitud y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	1197.0	1460.5	1457.9	1407.1
Desviación estándar	616.4	704.1	925.4	716.1

**Tabla 6.10 Promedios de los momentos volcantes sobre longitud en planta dirección y**

### 6.2.2.3 Desplazamientos de diseño y nivel de desempeño

Los desplazamientos de diseño se determinaron en el Capítulo 4. En este capítulo se pretende determinar si existe alguna correlación de este parámetro con respecto al nivel de desempeño alcanzado. Para esto, el drift global asociado al desplazamiento de diseño se compara con los límites de los niveles de desempeño, según se indica en el ACI 374.2R-13 (ver la figura 6.9). Un drift menor a 0.5% implicaría un desempeño Operacional u Ocupación inmediata, entre 0.5% y 1% implicaría un desempeño de Poca Seguridad para los Ocupantes, y mayor que 1% implicaría un nivel de desempeño en Peligro de Colapso.

La Tabla 6.1111 contiene las alturas, los desplazamientos de diseño (Decreto 61 del 2011), el drift global demandado en cada edificio y la dirección predominante del daño en los edificios. En color rojo se indica los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso.

La figura 6.10 muestra los valores de esta variable en la dirección donde se encuentra la mayor cantidad de daños en los edificios. En aquellos edificios donde se encuentra el daño en ambas direcciones, se presentan los valores de ambas direcciones en el mismo gráfico. Para los edificios con buen desempeño, se presenta el valor en la dirección menor, suponiéndola como la más vulnerable.

La figura 6.11 muestra los valores para la dirección donde no se encuentran daños en los edificios. Para el caso de los edificios con buen desempeño, se muestra los valores de la dirección x, suponiéndola como la menos vulnerable.

En general, no se observa una correlación clara entre el valor del desplazamiento calculado para el edificio y el nivel de desempeño observado durante el sismo. La demanda calculada para los cuatro edificios que alcanzaron el nivel de desempeño Peligro de Colapso, predice para ellos una respuesta menor que no supera el nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes. De los once edificios que alcanzaron el nivel de desempeño de Poca Seguridad para los Ocupantes, cuatro muestran una demanda calculada menor, que no alcanza al 0.5%, seis aparecen con una demanda calculada en el tramo de 0.5-1.0% de deformación que coincide con el desempeño observado, y uno muestra una demanda calculada de deformación superior al 1%, es decir mayor que la observada.

Con respecto a los cinco edificios con buen desempeño, se tiene que sólo en un caso la demanda calculada (menor que 0.5%) concuerda con el desempeño observado. En dos de ellos

la demanda calculada se encuentra en el rango 0,5-1,0% que predice un nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes. Finalmente, los otros dos edificios quedan en el rango de deformación lateral mayor a 1.0%, que predice un nivel de desempeño de Peligro de Colapso.

Edificio	Altura H [m]	Desplazamiento de diseño $d_u$ Dir x [cm]	Desplazamiento de techo $d_u$ Dir y [cm]	$d_u/H$ [%] eje x	$d_u/H$ [%] eje y	Dirección predominante del daño	Tramo más desfavorable de la demanda
N1	46.5	18.91	26.48	0.41%	0.57%	y	0.5-1.0%
A2	44.0	45.66	64.24	1.04%	1.46%	x	>1.0%
A3	46.9	11.55	18.04	0.25%	0.38%	y	<0.5%
B4(*)	35.5	19.06	19.82	0.54%	0.56%	y	0.5-1.0%
F5(*)	44.2	19.42	23.57	0.44%	0.53%	y	0.5-1.0%
M6	31.0	6.27	12.41	0.20%	0.40%	y	<0.5%
M7	52.4	13.16	26.5	0.25%	0.51%	x	0.5-1.0%
M8	36.3	20.56	22.07	0.57%	0.61%	x	0.5-1.0%
M9	21.0	1.68	9.86	0.08%	0.47%	y	<0.5%
R10	43.8	23.25	41.23	0.53%	0.94%	y	0.5-1.0%
R11	48.9	14.49	22.78	0.30%	0.47%	y	<0.5%
T12(*)	34.4	27.22	17.54	0.79%	0.51%	x-y	0.5-1.0%
T13(*)	30.7	11.45	23.96	0.37%	0.78%	y	0.5-1.0%
T14	47.3	31.14	36.66	0.66%	0.78%	x-y	0.5-1.0%
T15	32.3	16.58	16.58	0.51%	0.51%	y	0.5-1.0%
P16	61.0	56.92	65.42	0.93%	1.07%	-	>1.0%
R17	23.5	11.56	9.06	0.49%	0.39%	-	<0.5%
S18	31.2	12.81	22.72	0.41%	0.73%	-	0.5-1.0%
S19	43.2	15.21	31.28	0.35%	0.72%	-	0.5-1.0%
V20	43.7	49.13	49.13	1.12%	1.12%	-	>1.0%

Tabla 6.11 Demanda de desplazamiento de techo según Decreto 61. (\*) Peligro de Colapso

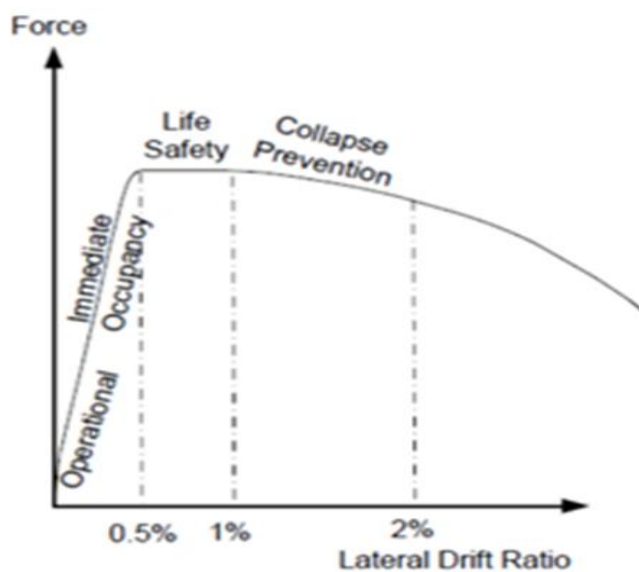


Figura 6.9 Nivel de desempeño en función del desplazamiento relativo global alcanzado en edificios de muros (ACI 374.2R, 2013)

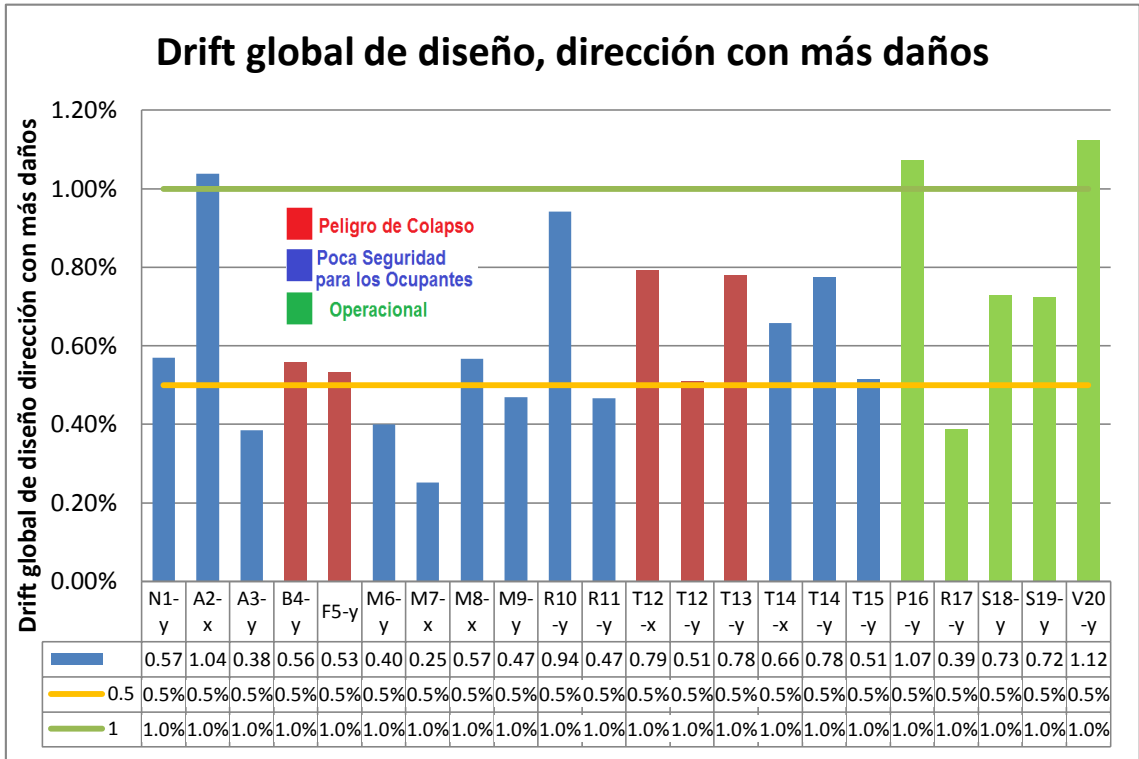


Figura 6.10 Drift global de diseño dirección con daños %

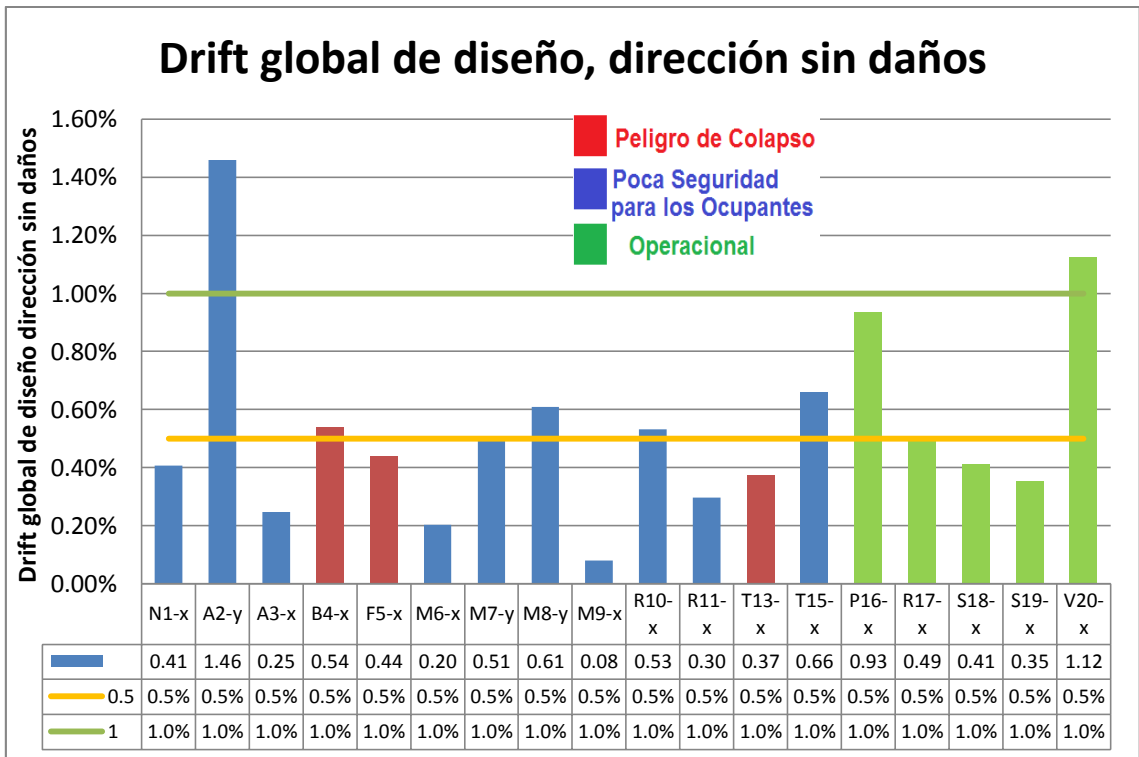


Figura 6.11 Drift global de diseño dirección sin daños %

## 6.3 Análisis de un posible acoplamiento entre los periodos del suelo y de las estructuras

### 6.3.1 General

En esta sección se intenta determinar un posible acoplamiento de periodos suelo-estructura y asociar dicho acoplamiento con la dirección predominante del daño observado en los edificios.

Entendiendo que este tema es más extenso y está directamente asociado a los efectos de sitio, es decir, de las transformaciones de las ondas sísmicas desde la roca a la superficie, en este apartado se pretende solo estudiar la relación entre los periodos naturales del suelo y los periodos naturales de los edificios con el objetivo de encontrar un posible acoplamiento entre dichos periodos, fenómeno conocido como resonancia.

### 6.3.2 Periodos naturales del suelo

En la Figura 6.12 se muestra un mapa de los isoperiodos del suelo propuesto por Carrasco y Nuñez (2013), el cual está basado en la medición de las microvibraciones del suelo (método de Nakamura). En dicho mapa se contempló la medición de 148 puntos, los cuales fueron seleccionados principalmente en el área urbana de la ciudad. Se observa que los periodos naturales del suelo son menores en sectores rocosos y gradualmente aumentan al acercarse a los suelos más blandos (sector Plan).

Interpolando las curvas de isoperiodos en dicho mapa, se determinan los periodos del suelo para el emplazamiento de cada edificio.

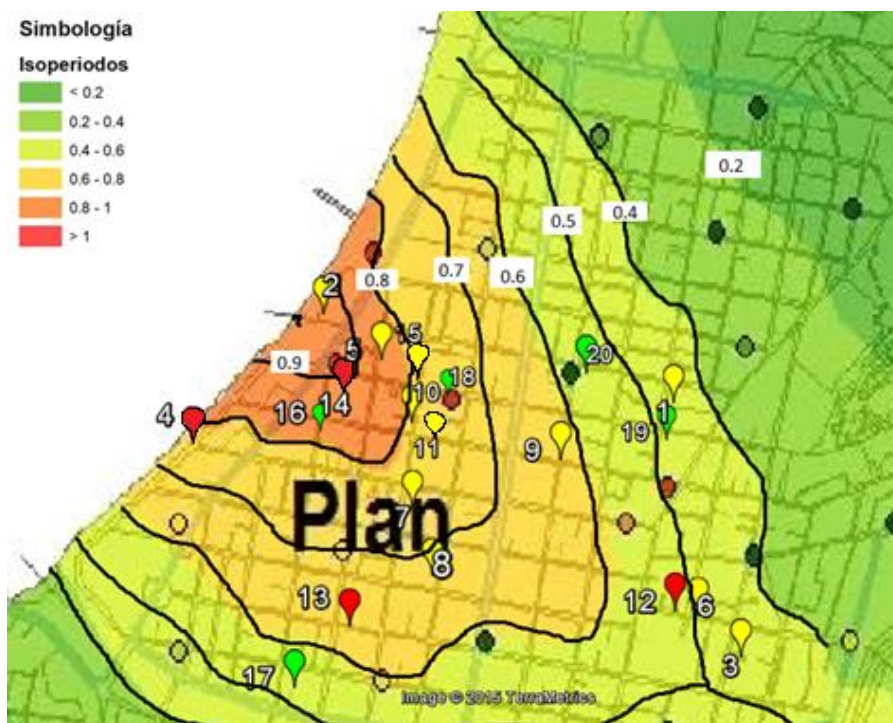


Figura 6.12 Mapa isoperiodos del suelo de Viña del Mar (Carrasco-Nuñez 2013)

### 6.3.3 Periodos fundamentales de los edificios

Como se explicó en el capítulo 4, el periodo de un edificio variará así lo haga su rigidez. Ante un sismo, el edificio progresivamente irá perdiendo rigidez debido al daño en sus elementos, dependiendo de la duración e intensidad del sismo. A medida que su rigidez disminuye, su periodo aumentará.

Para el análisis se consideran tanto los periodos no-agrietados, calculados con la sección bruta de los elementos, como los periodos calculados con las secciones agrietadas. El agrietamiento se considera en forma simplificada reduciendo la rigidez de los elementos en cierto porcentaje, 50% en este caso. Los periodos calculados con la rigidez reducida se denominarán periodos agrietados. Se considera los periodos no-agrietados como el límite inferior y los periodos agrietados como un límite superior al valor que puede alcanzar el periodo del edificio.

Los periodos se obtuvieron de los modelos ETABS 2015, y corresponden a aquellos periodos con mayor masa traslacional en cada dirección de análisis (NCh433of96 Mod2009). Los periodos fundamentales fueron calculados primeramente sin reducción en la rigidez de los elementos. Posteriormente, para dos edificios, se calculó los periodos fundamentales reduciendo la rigidez de los elementos a la mitad, obteniéndose un valor ligeramente menor que  $\sqrt{2}$  para la relación entre el periodo agrietado y el no-agrietado. Dados estos resultados, para el resto de los edificios se aproximó el periodo agrietado como  $\sqrt{2}$  veces el periodo no-agrietado.

En la Tabla 6.12 Periodos naturales del suelo y de los edificios, agrietados y no-agrietados Tabla 6.12 se presenta los valores estimados de los periodos naturales del suelo en los emplazamientos de los edificios y los periodos de las estructuras no-agrietadas y agrietadas para cada dirección de análisis.

Existen edificios en los cuales la mayor masa traslacional en ambas direcciones x e y está asociada al mismo periodo de vibración, por lo que sus periodos fundamentales son idénticos en ambas direcciones de análisis. Recordar que las direcciones principales de los edificios fueron definidas en el Capítulo 3, y mencionadas en otros capítulos, la dirección local x e y de cada edificio corresponde a la dirección de mayor y menor longitud en planta respectivamente. Se esperaría que los periodos en dirección y (por ser la de menor longitud) tengan un valor mayor, sin embargo los periodos dependen de la rigidez del edificio en cada dirección de análisis, y si a pesar de que la longitud en un eje es menor, podría ser más rígido. Por ese motivo existen dos edificios con periodos mayores en la dirección x. Estos edificios al mismo tiempo son los que tienen una forma en planta más cercana a un cuadrado.

Edificio	$T_{\text{suelo}}$ [s]	$T_x$ [s] No-agrietado	$T_y$ [s] No-agrietado	$T_{\text{ag } x}$ [s] Arietado	$T_{\text{ag } y}$ [s] Arietado
1	0.45	0.51	0.66	0.72	0.94
2	0.95	0.94	1.27	1.33	1.80
3	0.45	0.48	0.72	0.68	1.02
4(*)	0.75	0.52	0.53	0.73	0.75
5(*)	0.90	0.52	0.62	0.74	0.87
6	0.50	0.30	0.52	0.42	0.73
7	0.75	0.55	0.91	0.78	1.29
8	0.70	0.54	0.58	0.77	0.82
9	0.60	0.17	0.35	0.24	0.50
10	0.80	0.61	0.88	0.86	1.24
11	0.75	0.62	0.83	0.88	1.17
12(*)	0.50	0.93	0.71	1.31	1.00
13(*)	0.65	0.38	0.62	0.54	0.88
14	0.85	0.74	0.81	1.04	1.15
15	0.80	0.47	0.47	0.66	0.66
16	0.85	1.12	1.68	1.59	2.37
17	0.55	0.38	0.34	0.54	0.48
18	0.75	0.40	0.59	0.57	0.84
19	0.50	0.45	0.74	0.63	1.04
20	0.55	1.00	1.00	1.41	1.41

**Tabla 6.12 Periodos naturales del suelo y de los edificios, agrietados y no-agrietados. (\*)Peligro de Colapso**

### 6.3.4 Análisis de Periodos

A efectos de identificar un posible efecto de acoplamiento, se compara el periodo del suelo con el rango definido entre el periodo no-agrietado y el periodo agrietado del edificio. Dada la variabilidad en el grado de daño de los edificios, en este estudio se ha considerado un límite superior para el periodo agrietado igual al valor agrietado calculado incrementado en un 20%. Este incremento no ha sido considerado para los edificios sin daño. De igual forma, se ha considerado que el periodo calculado con las secciones brutas es un adecuado límite inferior para el periodo no-agrietado.

A efectos de verificar si el periodo del edificio queda dentro del rango anteriormente descrito, se ha considerado una tolerancia de en un 5% con respecto al límite. Los resultados de este análisis, que se entregan en la Tabla 6.13, muestran que para tres de los cuatro edificios que alcanzaron el nivel de desempeño Peligro de Colapso, el periodo del suelo queda dentro del rango de periodos del edificio en dirección x. Lo mismo ocurre para ocho de los once edificios con mal desempeño y para dos de los cinco edificios con buen desempeño. Para la dirección y se tiene que en ocho casos el periodo del suelo queda dentro del rango. De estos casos, tres corresponden a edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso. También existe un edificio con buen desempeño donde el periodo del suelo queda en el rango.

Se observa además en la tabla que siete edificios con mal desempeño tienen ambos periodos (dirección x e y) dentro del rango de acoplamiento, mientras que para los edificios con buen desempeño, en ningún caso ambos periodos quedan dentro del rango. Esta situación se presenta también en tres de los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso, donde ambos periodos fundamentales quedan dentro del rango.

Edificio	$T_{\text{suelo}}$	$T_x$ [s]		Rango	$T_y$ [s]		Rango
	[s]	No-agrietado	Agrietado		No-agrietado	Agrietado	
1	0.45	0.51	0.86	Fuera	0.66	1.13	Fuera
2	0.95	0.94	1.6	Dentro	1.27	2.16	Fuera
3	0.45	0.48	0.82	Fuera	0.72	1.22	Fuera
4(*)	0.75	0.52	0.88	Dentro	0.53	0.9	Dentro
5(*)	0.9	0.52	0.89	Dentro	0.62	1.04	Dentro
6	0.5	0.3	0.5	Dentro	0.52	0.88	Dentro
7	0.75	0.55	0.94	Dentro	0.91	1.55	Fuera
8	0.7	0.54	0.92	Dentro	0.58	0.98	Dentro
9	0.6	0.17	0.29	Fuera	0.35	0.6	Dentro
10	0.8	0.61	1.03	Dentro	0.88	1.49	Fuera
11	0.75	0.62	1.06	Dentro	0.83	1.4	Fuera
12(*)	0.5	0.93	1.57	Fuera	0.71	1.2	Fuera
13(*)	0.65	0.38	0.65	Dentro	0.62	1.06	Dentro
14	0.85	0.74	1.25	Dentro	0.81	1.38	Dentro
15	0.8	0.47	0.79	Dentro	0.47	0.79	Dentro
16	0.85	1.12	1.58	Fuera	1.68	2.36	Fuera
17	0.55	0.38	0.54	Dentro	0.34	0.48	Fuera
18	0.75	0.4	0.57	Fuera	0.59	0.83	Dentro
19	0.5	0.45	0.63	Dentro	0.74	1.03	Fuera
20	0.55	1	1.41	Fuera	1	1.41	Fuera

**Tabla 6.13 Verificación de la condición de pertenencia del periodo del suelo al rango definido por los periodos no-agrietados y agrietados de las estructuras. (\*) Peligro de Colapso. El límite superior de los edificios con buen desempeño no está multiplicado por 1.2.**

En la Figura 6.13 se presenta los valores de los periodos calculados de los edificios y del suelo en la dirección en donde se encuentra la mayor cantidad de daños en los edificios. En aquellos edificios donde se encuentra el daño en ambas direcciones, se presenta los valores de ambas direcciones en el mismo gráfico. Para los edificios con buen desempeño, se presenta el valor en la dirección menor, suponiéndola como la más vulnerable.

En la Figura 6.14 se presenta gráficamente los periodos de los edificios y del suelo para la dirección donde no se encuentran daños en los edificios. Para el caso de los edificios con buen desempeño, se muestra los valores de la dirección x, suponiéndola como la menos vulnerable.

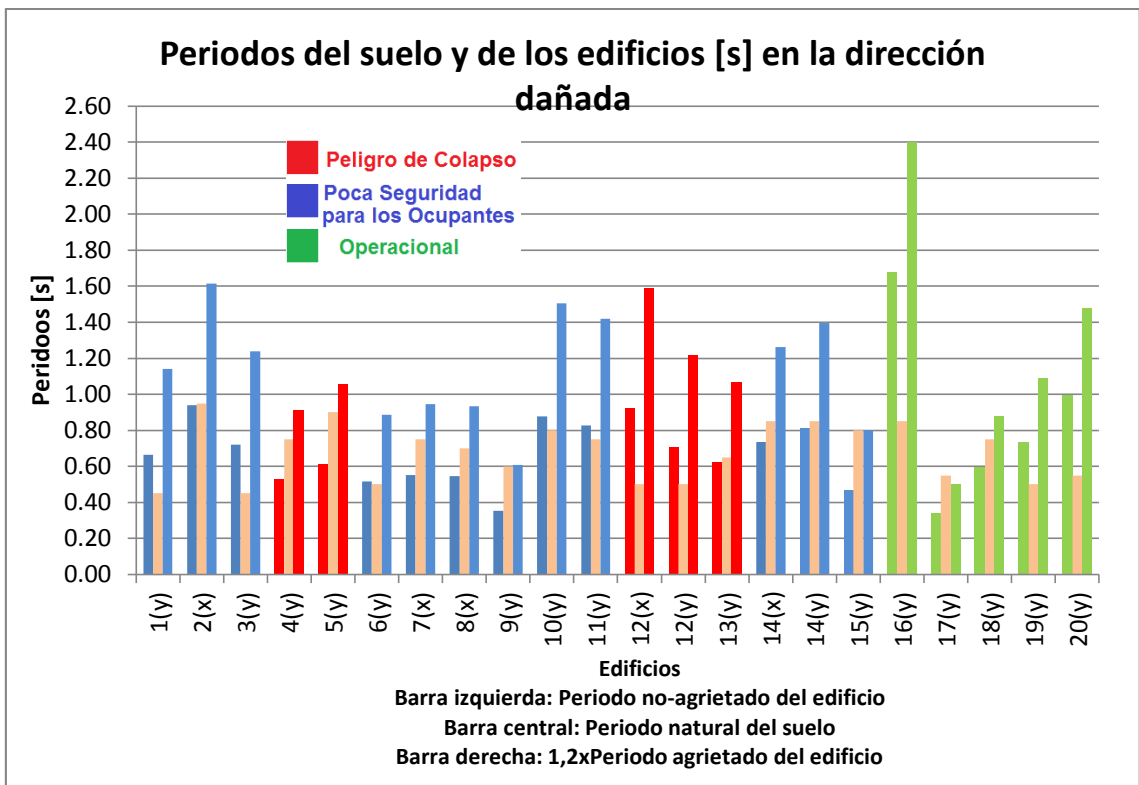


Figura 6.13 Periodos del suelo y de los edificios en la dirección con daños en los edificios. En paréntesis, dirección evaluada

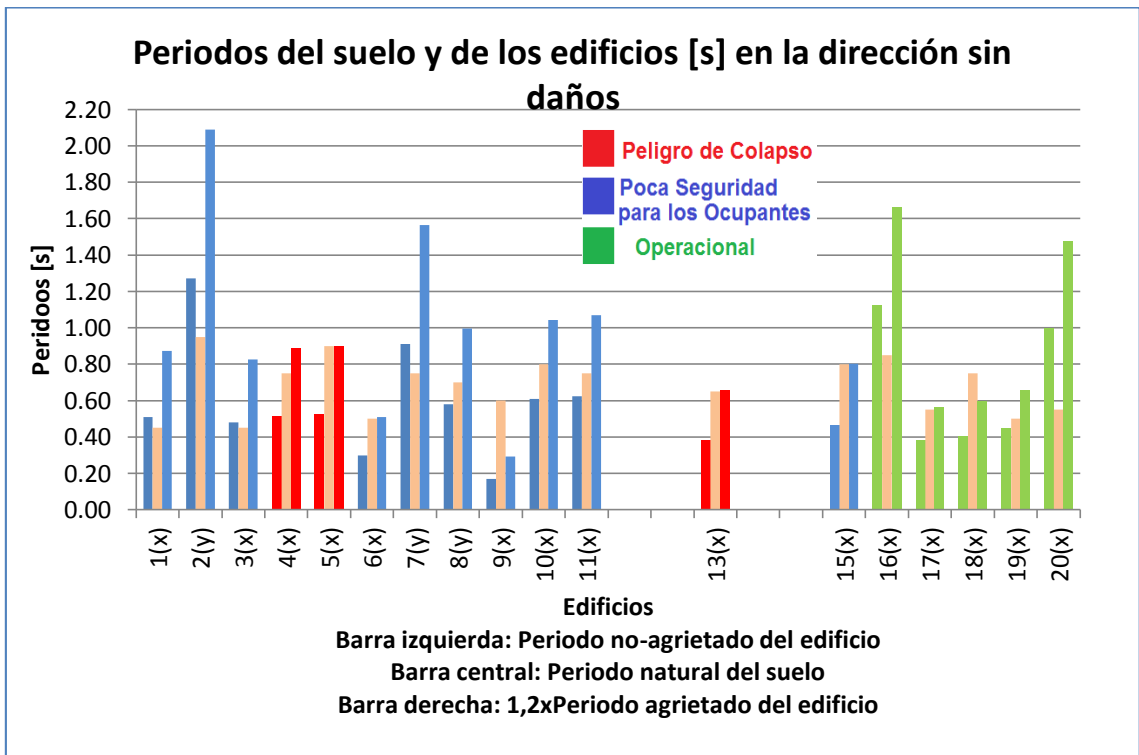


Figura 6.14 Periodos de los edificios y del suelo dirección sin daños en los edificios. En paréntesis, dirección evaluada

La Tabla 6.14 contiene los resultados para la dirección del daño observado en los edificios. En rojo se señala los edificios para los cuales el periodo del suelo queda en el rango. También en rojo, se destacan, en la última columna, solo las direcciones donde el periodo del suelo queda dentro del rango y a la vez coincide con la dirección del daño. Se tiene que diez edificios con mal desempeño tendrían posibles daños asociados a un acoplamiento en la misma dirección de los daños observados. Cuatro edificios podrían correlacionar sus daños con un acoplamiento de periodos en dirección x, y siete edificios (uno se repite en ambas direcciones) podrían correlacionar sus daños con un acoplamiento de periodos en dirección y. En tres de los cuatro edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso el periodo del suelo queda dentro del rango donde podría generarse el acoplamiento.

Edificio	$T_x \leq T_{\text{suelo}} \leq T_{\text{ag } x}$	$T_y \leq T_{\text{suelo}} \leq T_{\text{ag } y}$	Dirección del daño
1	Fuera	Fuera	y
2	Dentro	Fuera	x
3	Fuera	Fuera	y
4(*)	Dentro	Dentro	y
5(*)	Dentro	Dentro	y
6	Dentro	Dentro	y
7	Dentro	Fuera	x
8	Dentro	Dentro	x
9	Fuera	Dentro	y
10	Dentro	Fuera	y
11	Dentro	Fuera	y
12(*)	Fuera	Fuera	x-y
13(*)	Dentro	Dentro	y
14	Dentro	Dentro	x-y
15	Dentro	Dentro	y
16	Fuera	Fuera	-
17	Dentro	Fuera	-
18	Fuera	Dentro	-
19	Dentro	Fuera	-
20	Fuera	Fuera	-

**Tabla 6.14 Correlación del posible acoplamiento según el análisis con la dirección predominante del daño en los edificios**

### 6.3.5 Análisis de tendencias del periodo del suelo con respecto al rango definido por los periodos no-agrietados y agrietados de los edificios

Se pretende determinar alguna posible tendencia asociada a los periodos del suelo con respecto al rango definido por los periodos no-agrietado y agrietado de los edificios. Para ello, se consideran los valores de periodos del suelo y de las estructuras de la Tabla 6.13. Se realiza un análisis en dos nuevos escenarios posibles. El primer escenario corresponde a considerar que el periodo no-agrietado de los edificios se encuentra un 10% más abajo del valor inicialmente considerado, esto aumentaría el tamaño del rango de periodos de los edificios. El segundo escenario corresponde a reducir tanto el periodo no-agrietado como el periodo agrietado en un 15%, este escenario mantiene la misma extensión inicial del rango de periodos, pero ahora desplazado más abajo.

- **Primer escenario: Reducción del límite inferior de periodos no-agrietados en 10%**

Los resultados de este análisis, que se entregan en la Tabla 6.15, donde tanto en dirección x como en y, los periodos no-agrietado se reducen un 10%, aumentando levemente el tamaño del rango. Se tiene para la dirección x que en 15 edificios el periodo del suelo quedaría dentro del rango, de estos, hay 3 con nivel de desempeño Peligro de Colapso, y 2 edificios con buen desempeño. Para la dirección y, se tiene que en 11 edificios el periodo del suelo quedaría dentro del rango, de estos, los mismos 3 edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso y 1 edificio con buen desempeño.

En la Figura 6.15 se presenta los valores de los periodos calculados de los edificios y del suelo en la dirección en donde se encuentra la mayor cantidad de daños en los edificios, el periodo no-agrietado está reducido un 10%. En aquellos edificios donde se encuentra el daño en ambas direcciones, se presenta los valores de ambas direcciones en el mismo gráfico. Para los edificios con buen desempeño, se presenta el valor en la dirección menor, suponiéndola como la más vulnerable.

En la Figura 6.16 se presenta gráficamente los periodos de los edificios y del suelo para la dirección donde no se encuentran daños en los edificios, el periodo no-agrietado está reducido un 10%. Para el caso de los edificios con buen desempeño, se muestra los valores de la dirección x, suponiéndola como la menos vulnerable.

La Tabla 6.16 contiene los resultados para la dirección del daño observado en los edificios. En rojo se señala los edificios para los cuales el periodo del suelo queda en el rango. También en rojo, se destacan, en la última columna, las direcciones donde el periodo del suelo queda dentro del rango y a la vez coincide con la dirección del daño. Se tiene, para este primer escenario, que 12 edificios con mal desempeño tendrían posibles daños asociados a un acoplamiento en la misma dirección de los daños observados. 3 edificios podrían correlacionar sus daños con un acoplamiento de periodos en dirección x, y 9 edificios podrían correlacionar sus daños con un acoplamiento de periodos en dirección y (uno se repite en ambas direcciones). En 3 de los 4 edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso el periodo del suelo queda dentro del rango donde podría generarse el acoplamiento. Se observa también que en 9 edificios con mal desempeño el periodo del suelo queda dentro del rango en ambas direcciones.

Edificio	$T_{\text{suelo}}$	$0.9 \cdot T_x$ [s]	$1,2 \cdot T_{\text{ag } x}$ [s]	Rango	$0.9 \cdot T_y$ [s]	$1,2 \cdot T_{\text{ag } y}$ [s]	Rango
	[s]	No-agrietado	Agrietado		No-agrietado	Agrietado	
1	0.45	0.46	0.86	Dentro	0.59	1.13	Fuera
2	0.95	0.85	1.60	Dentro	1.14	2.16	Fuera
3	0.45	0.43	0.82	Dentro	0.65	1.22	Fuera
4(*)	0.75	0.47	0.88	Dentro	0.48	0.90	Dentro
5(*)	0.9	0.47	0.89	Dentro	0.56	1.04	Dentro
6	0.5	0.27	0.50	Dentro	0.47	0.88	Dentro
7	0.75	0.50	0.94	Dentro	0.82	1.55	Fuera
8	0.7	0.49	0.92	Dentro	0.52	0.98	Dentro
9	0.6	0.15	0.29	Fuera	0.32	0.60	Dentro
10	0.8	0.55	1.03	Dentro	0.79	1.49	Dentro
11	0.75	0.56	1.06	Dentro	0.75	1.40	Dentro
12(*)	0.5	0.84	1.57	Fuera	0.64	1.20	Fuera
13(*)	0.65	0.34	0.65	Dentro	0.56	1.06	Dentro
14	0.85	0.67	1.25	Dentro	0.73	1.38	Dentro
15	0.8	0.42	0.79	Dentro	0.42	0.79	Dentro
16	0.85	1.01	1.58	Fuera	1.51	2.36	Fuera
17	0.55	0.34	0.54	Dentro	0.31	0.48	Fuera
18	0.75	0.36	0.57	Fuera	0.53	0.83	Dentro
19	0.5	0.41	0.63	Dentro	0.67	1.03	Fuera
20	0.55	0.90	1.41	Fuera	0.90	1.41	Fuera

**Tabla 6.15 Verificación de la condición de pertenencia del periodo del suelo al rango definido por los periodos no-agrietados (reducidos un 10%) y agrietados de las estructuras. (\*) Peligro de Colapso. El límite superior de los edificios con buen desempeño no está multiplicado por 1.2.**

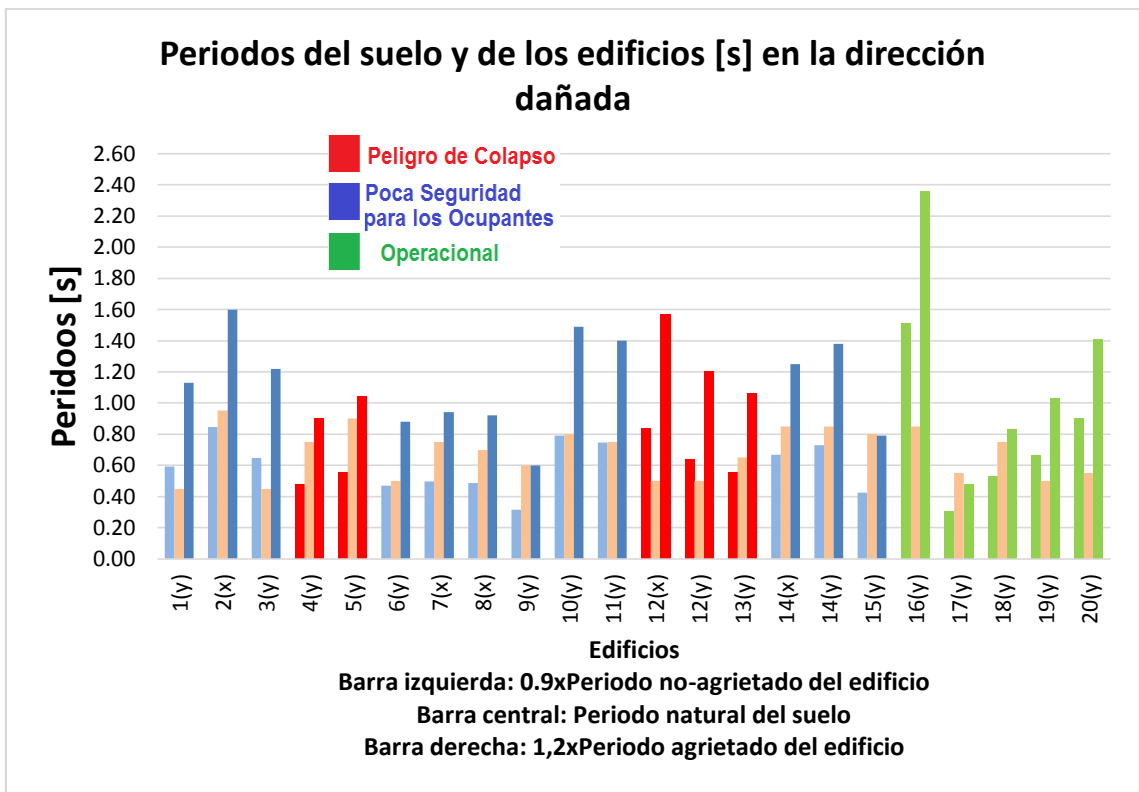


Figura 6.15 Periodos del suelo y de los edificios en la dirección con daños en los edificios. En paréntesis, dirección evaluada. Límite inferior reducido un 10%.

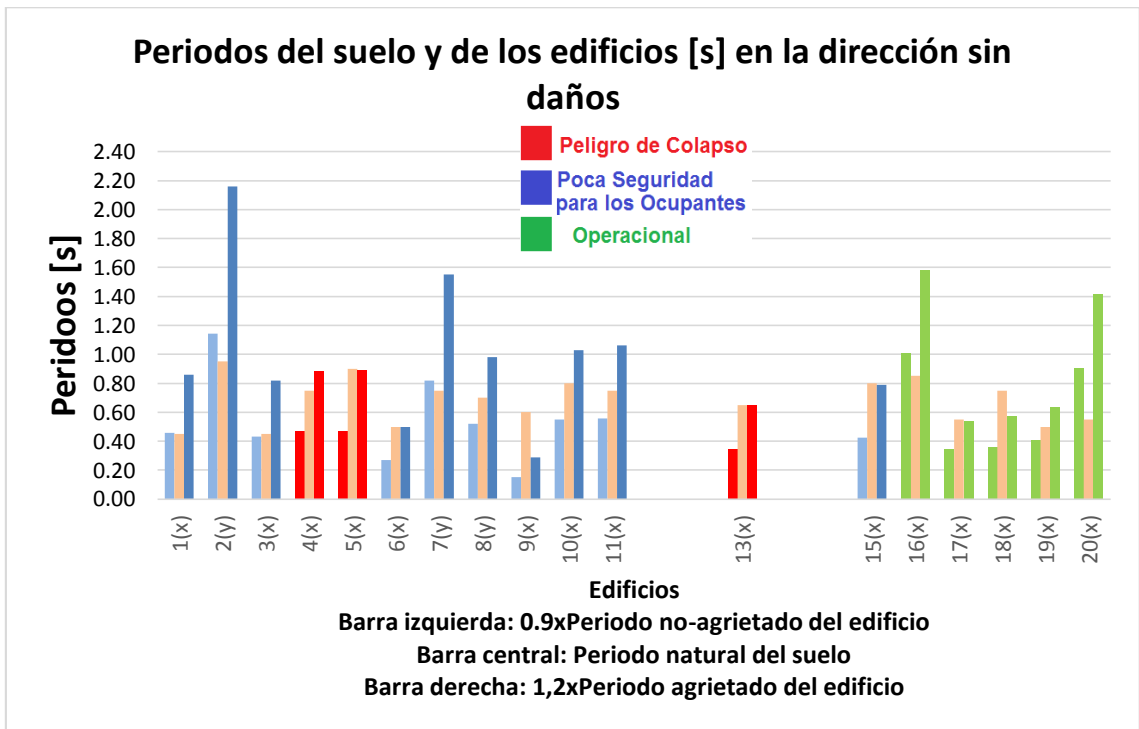


Figura 6.16 Periodos del suelo y de los edificios en la dirección sin daños en los edificios. En paréntesis, dirección evaluada. Límite inferior reducido un 10%.

Edificio	$0.9 \cdot T_x \leq T_{\text{suelo}} \leq T_{\text{ag } x}$	$0.9 \cdot T_y \leq T_{\text{suelo}} \leq T_{\text{ag } y}$	Dirección del daño
1	Dentro	Fuera	y
2	Dentro	Fuera	x
3	Dentro	Fuera	y
4(*)	Dentro	Dentro	y
5(*)	Dentro	Dentro	y
6	Dentro	Dentro	y
7	Dentro	Fuera	x
8	Dentro	Dentro	x
9	Fuera	Dentro	y
10	Dentro	Dentro	y
11	Dentro	Dentro	y
12(*)	Fuera	Fuera	x-y
13(*)	Dentro	Dentro	y
14	Dentro	Dentro	x-y
15	Dentro	Dentro	y
16	Fuera	Fuera	-
17	Dentro	Fuera	-
18	Fuera	Dentro	-
19	Dentro	Fuera	-
20	Fuera	Fuera	-

**Tabla 6.16 Correlación del posible acoplamiento según el análisis con la dirección predominante del daño en los edificios**

- **Segundo escenario: Reducción tanto del límite inferior de periodos (no-agrietados) y superior de periodos (agrietados) en 15%**

Los resultados de este análisis, que se entregan en la Tabla 6.17, donde tanto en dirección x como en y, los valores para el periodo no-agrietado y para el periodo agrietado se reducen un 15%. Se tiene en este segundo escenario, para la dirección x que en 10 edificios el periodo del suelo quedaría dentro del rango, de estos, hay 1 con nivel de desempeño Peligro de Colapso, y 1 edificio con buen desempeño. Para la dirección y, se tiene que en 9 edificios el periodo del suelo quedaría dentro del rango, de estos, los mismos 3 edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso anteriores y ningún edificio con buen desempeño.

En la Figura 6.17 se presenta los valores de los periodos calculados de los edificios y del suelo en la dirección en donde se encuentra la mayor cantidad de daños en los edificios, tanto el periodo no-agrietado como el periodo agrietado están reducidos un 15%. En aquellos edificios donde se encuentra el daño en ambas direcciones, se presenta los valores de ambas direcciones en el mismo gráfico. Para los edificios con buen desempeño, se presenta el valor en la dirección menor, suponiéndola como la más vulnerable.

En la Figura 6.16 se presenta gráficamente los periodos de los edificios y del suelo para la dirección donde no se encuentran daños en los edificios, tanto el periodo no-agrietado como el

periodo agrietado están reducidos un 15%. Para el caso de los edificios con buen desempeño, se muestra los valores de la dirección x, suponiéndola como la menos vulnerable.

La Tabla 6.18 contiene los resultados para la dirección del daño observado en los edificios. En rojo se señala los edificios para los cuales el periodo del suelo queda en el rango. También en rojo, se destacan, en la última columna, solo las direcciones donde el periodo del suelo queda dentro del rango y a la vez coincide con la dirección del daño. Se tiene, para este segundo escenario, que 10 edificios con mal desempeño tendrían posibles daños asociados a un acoplamiento en la misma dirección de los daños observados, donde 4 edificios podrían correlacionar sus daños con un acoplamiento de periodos en dirección x, y 7 edificios podrían correlacionar sus daños con un acoplamiento de periodos en dirección y (uno se repite en ambas direcciones). En 3 de los 4 edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso el periodo del suelo queda dentro del rango donde se observó el mayor daño. Se observa también que en 6 edificios con mal desempeño el periodo del suelo queda dentro del rango en ambas direcciones, de estos, solo 1 con nivel de desempeño Peligro de Colapso y ninguno con buen desempeño.

Edificio	$T_{\text{suelo}}$	$0.85 \cdot T_x$	$0.85 \cdot 1,2^*$	Rango	$0.85 \cdot T_y$	$0.85 \cdot 1,2^*$	Rango
	[s]	No-agrietado	$T_{\text{ag } x}$ [s]		No-agrietado	$T_{\text{ag } y}$ [s]	
1	0.45	0.43	0.73	Dentro	0.56	0.96	Fuera
2	0.95	0.80	1.36	Dentro	1.08	1.84	Fuera
3	0.45	0.41	0.70	Dentro	0.61	1.04	Fuera
4(*)	0.75	0.44	0.75	Dentro	0.45	0.77	Dentro
5(*)	0.9	0.44	0.76	Fuera	0.53	0.88	Dentro
6	0.5	0.26	0.43	Fuera	0.44	0.75	Dentro
7	0.75	0.47	0.80	Dentro	0.77	1.32	Dentro
8	0.7	0.46	0.78	Dentro	0.49	0.83	Dentro
9	0.6	0.14	0.25	Fuera	0.30	0.51	Fuera
10	0.8	0.52	0.88	Dentro	0.75	1.27	Dentro
11	0.75	0.53	0.90	Dentro	0.71	1.19	Dentro
12(*)	0.5	0.79	1.33	Fuera	0.60	1.02	Fuera
13(*)	0.65	0.32	0.55	Fuera	0.53	0.90	Dentro
14	0.85	0.63	1.06	Dentro	0.69	1.17	Dentro
15	0.8	0.40	0.67	Fuera	0.40	0.67	Fuera
16	0.85	0.95	1.34	Fuera	1.43	2.01	Fuera
17	0.55	0.32	0.46	Fuera	0.29	0.41	Fuera
18	0.75	0.34	0.48	Fuera	0.50	0.71	Fuera
19	0.50	0.38	0.54	Dentro	0.63	0.88	Fuera
20	0.55	0.85	1.20	Fuera	0.85	1.20	Fuera

Tabla 6.17 Verificación de la condición de pertenencia del periodo del suelo al rango definido por los periodos no-agrietados y agrietados de las estructuras (ambos reducidos un 15%). (\*) Peligro de Colapso. El límite superior de los edificios con buen desempeño no está multiplicado por 1.2.

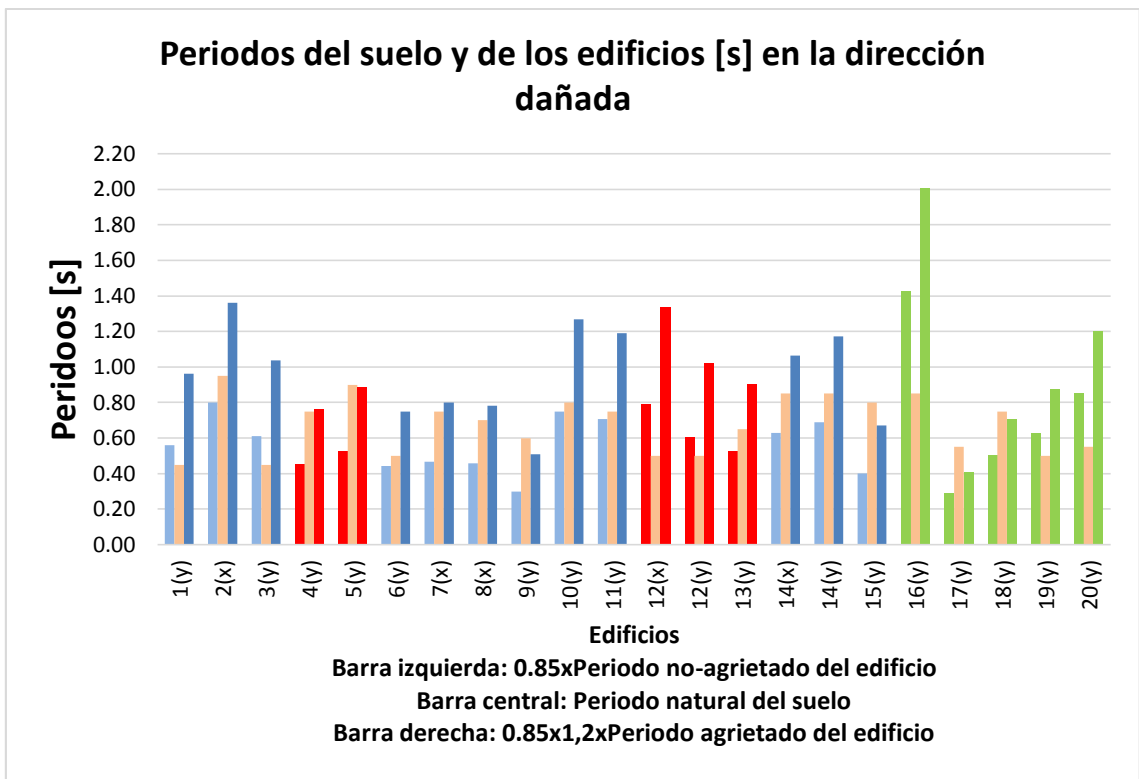


Figura 6.17 Periodos del suelo y de los edificios en la dirección con daños en los edificios. En paréntesis, dirección evaluada. Límites inferior y superior reducidos un 15%.

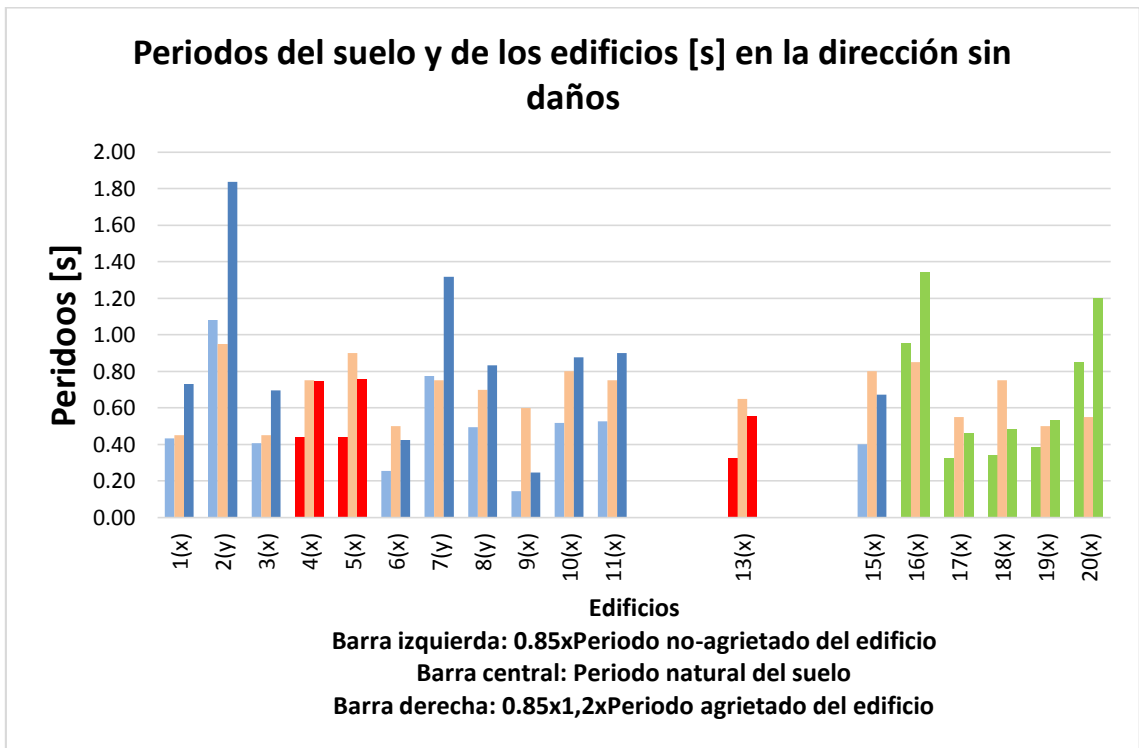


Figura 6.18 Periodos del suelo y de los edificios en la dirección sin daños en los edificios. En paréntesis, dirección evaluada. Límites inferior y superior reducidos un 15%.

Edificio	$0.85 \cdot T_x \leq T_{\text{suelo}} \leq 0.85 \cdot T_{\text{ag } x}$	$0.85 \cdot T_y \leq T_{\text{suelo}} \leq 0.85 \cdot T_{\text{ag } y}$	Dirección del daño
1	Dentro	Fuera	y
2	Dentro	Fuera	x
3	Dentro	Fuera	y
4(*)	Dentro	Dentro	y
5(*)	Fuera	Dentro	y
6	Fuera	Dentro	y
7	Dentro	Dentro	x
8	Dentro	Dentro	x
9	Fuera	Fuera	y
10	Dentro	Dentro	y
11	Dentro	Dentro	y
12(*)	Fuera	Fuera	x-y
13(*)	Fuera	Dentro	y
14	Dentro	Dentro	x-y
15	Fuera	Fuera	y
16	Fuera	Fuera	-
17	Fuera	Fuera	-
18	Fuera	Fuera	-
19	Dentro	Fuera	-
20	Fuera	Fuera	-

**Tabla 6.18 Correlación del posible acoplamiento según el análisis con la dirección predominante del daño en los edificios**

### 6.3.6 Comentarios

En el análisis inicial, se observó una gran cantidad de edificios con mal desempeño (12 de 15) donde el periodo asociado al suelo donde se emplazan se encuentra dentro del rango definido por el periodo no-agrietado y agrietado de los edificios en al menos una dirección de análisis, de estos, tres edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso. También hay tres edificios con buen desempeño donde el periodo del suelo queda dentro del rango correspondiente.

Se observó que en siete edificios con mal desempeño los periodos del suelo quedan dentro del rango en ambas direcciones del edificio (tanto en x como en y), en este grupo se encuentran los tres edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso. Esta observación no se encuentra en los edificios con buen desempeño. También se observa que en 10 edificios el posible acoplamiento se presenta en la misma dirección de los daños.

El análisis del primer escenario, mostró que al reducir el límite inferior de periodos del edificio un 10% se mejora la correlación de acoplamiento-daño, ya que en dicho escenario, 14 de 15 de edificios tendrían al menos en un eje analizado el periodo del suelo dentro del rango, de estos, 3 edificios con nivel Peligro de Colapso.

Este escenario mostró que en 9 edificios con mal desempeño los periodos del suelo quedan dentro del rango en ambas direcciones, incluyendo los 3 edificios con nivel Peligro de Colapso. En esta situación, 12 edificios presentan daños en la misma dirección del posible acoplamiento.

El análisis del segundo escenario donde se reduce tanto el límite inferior de periodos de los edificios como el superior en un 15%, se tiene que 12 de los 15 edificios con mal desempeño quedarían dentro del rango de periodos. En este escenario se tiene ahora solo 1 edificio con buen desempeño cuyo periodo del suelo queda dentro del rango de periodos de los edificios.

Este escenario mostró que en 6 edificios con mal desempeño los periodos del suelo quedan dentro del rango en ambas direcciones, incluyendo esta vez solo 1 edificio con nivel Peligro de Colapso. En esta situación, 10 edificios presentan daños en la misma dirección del posible acoplamiento.

Se tiene en general que los edificios con buen desempeño se encuentran predominantemente fuera de una situación de acoplamiento, lo que se observa más claramente al modificar el rango de periodos. En los edificios con mal desempeño la mayoría presentaría una posibilidad de algún grado de acoplamiento en la misma dirección de los daños, situación que se hace más clara al modificar el rango para el primer escenario.

### **6.3.7 Conclusiones**

Los resultados obtenidos muestran que existe una buena correlación entre un posible acoplamiento de periodos suelo-estructura con los daños observados, esto hace presumir que existió una alta posibilidad de que varios edificios presentasen un grado de acoplamiento entre periodos suelo-estructura en algún momento de lo que duró el sismo, situación que podría haber intensificado las solicitaciones y por consecuencia los daños en los edificios. Al cambiar los rangos límites se observa una correlación aún mejor, sin embargo, la correlación dependerá siempre del criterio usado para definir el rango de los periodos de los edificios, cuyos valores tendrá cierto grado de incertidumbre.

El análisis de esta sección no ha pretendido evaluar en forma rigurosa posibles efectos de resonancia en la respuesta de los edificios. Simplemente se ha pretendido tener alguna indicación de los posibles efectos que podrían haber existido.

# 7 ORIENTACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS EDIFICIOS

## 7.1 General

Con el objeto de estudiar la posible existencia de correlaciones entre el daño observado y las características de los edificios, se ha considerado analizar los efectos de parámetros relacionados con la orientación geográfica y con sus características geométricas.

En primer lugar se analizó el posible efecto de la orientación del edificio con respecto al norte geográfico, buscando una posible correlación con el nivel de daño observado en cada dirección principal de los edificios.

En segundo término se ha considerado analizar las principales características geométricas de los edificios, tanto en la altura como en la planta. Entre las primeras están las alturas de entrepiso, la altura total y el número de pisos. Entre las segundas están las dimensiones, la esbeltez de las plantas en la altura, y finalmente la esbeltez global de los edificios en ambos ejes.

Los edificios considerados para el estudio son estructuras de hormigón armado de entre 7 y 22 pisos con uno a dos subterráneos, a excepción de uno que no tiene subterráneos.

## 7.2 Orientación geográfica

Se estudiará la orientación geográfica de los edificios con respecto al norte, con el objeto de identificar si la orientación del mismo puede estar relacionada con el nivel de desempeño observado.

### 7.2.1 Direccionalidad del daño en los edificios

En la Tabla 7.1 se indica la dirección del daño principal en cada edificio. En la primera columna se identifica el edificio. En la segunda columna se indica la cantidad de elementos dañados que se disponen longitudinalmente en la dirección x del edificio, donde la dirección x es aquella de mayor longitud en planta. En la tercera columna se indica la cantidad de elementos dañados dispuestos longitudinalmente en la dirección y. En la cuarta columna se indica la cantidad total de elementos dañados en cada edificio. En la quinta columna se incluye un comentario sobre el daño observado en los edificios. En la sexta columna se indica la dirección predominante del daño.

La cantidad de elementos dañados que se menciona en la Tabla 7.1 corresponde a lo observado en los registros de daños, no descartándose que pudiera haber edificios con un mayor número de elementos dañados que no fueron registrados.

Se observa que diez de los quince edificios tienen el daño predominantemente en la dirección y, mientras que tres tienen el daño predominantemente en la dirección x, en los otros dos edificios restantes el daño está repartido en ambas direcciones.

En la Figura 7.1 se presenta una imagen satelital del sector Plan de Viña de Mar (Google Earth, 2016, mapa del año 2009), en la cual se indica la ubicación de los edificios. En color rojo se indican los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso, en amarillo los edificios con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes y en verde aquellos edificios con buen desempeño. Con una flecha blanca se indica la orientación del eje de mayor longitud en planta

(eje local x) y, con una flecha negra, la dirección predominante del daño observado en los edificios.



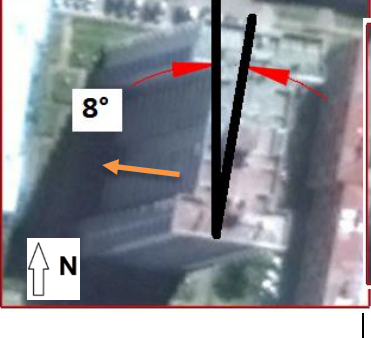
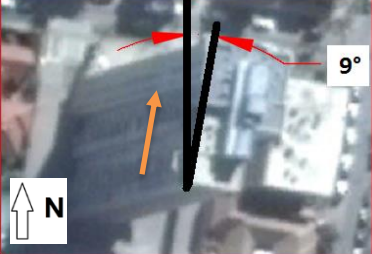
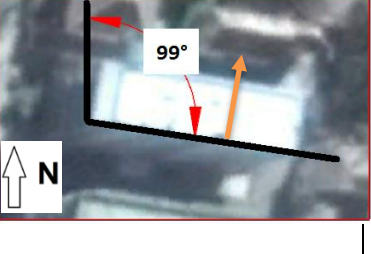
Edificio	Cantidad de elementos dañados en dirección x	Cantidad de elementos dañados en dirección y	Total de Elementos dañados	Comentario	Dirección predominante del daño
N1	0	1	1	Daño solo en eje y	y
A2	1	0	1	Daño solo en eje x	x
A3	2	2	4	Daño más extenso en eje y	y
B4(*)	1	3	4	Daño más extenso en eje y	y
F5(*)	2	4	6	Daño más extenso en eje y	y
M6	0	1	1	Daño solo en eje y	y
M7	2	0	2	Daño solo en eje x	x
M8	2	1	3	Daño más extenso en eje x	x
M9	0	1	1	Daño solo en eje y	y
R10	2	1	3	Daño más extenso en eje y	y
R11	0	2	2	Daño solo en eje y	y
T12(*)	2	1	3	Daño similar en ambos ejes	x-y
T13(*)	0	6	6	Daño solo en eje y	y
T14	2	2	4	Daño similar en ambos ejes	x-y
T15	0	2	2	Daño solo en eje y	y
P16	-	-	-	Sin daños	-
R17	-	-	-	Sin daños	-
S18	-	-	-	Sin daños	-
S19	-	-	-	Sin daños	-
V20	-	-	-	Sin daños	-

**Tabla 7.1 Direccionalidad de los elementos dañados en los edificios, (\*) Peligro de Colapso**

## 7.2.2 Orientación geográfica de los edificios

La orientación geográfica de los edificios se define en términos del ángulo que forma el eje en la dirección de mayor longitud de la planta, con respecto al norte geográfico, información que se presenta en las imágenes satelitales (Google Earth, 2016, mapa del año 2009) incluidas en la Tabla 7.2 y Tabla 7.3. En las mismas imágenes, con una flecha color naranja, se indica la dirección predominante del daño observado en los edificios. En la Figura 7.2 se presenta la distribución de los valores del ángulo con respecto al norte.

En la Tabla 7.4 se presenta la información anterior, combinando la orientación del daño en los edificios con la orientación geográfica del eje principal. Se indica además la cantidad de edificios que tienen el daño en dirección N-S, E-W y en ambas direcciones.

		
Edificio N1 Menor ángulo c/r norte: 79°	Edificio A2 Menor ángulo c/r norte: 49°	Edificio A3 Menor ángulo c/r norte: 83°
		
Edificio B4(*) Menor ángulo c/r norte: 51°	Edificio F5(*) Menor ángulo c/r norte: 8°	Edificio M6 Menor ángulo c/r norte: 82°
		
Edificio M7 Menor ángulo c/r norte: 9°	Edificio M8 Menor ángulo c/r norte: 10°	Edificio M9 Menor ángulo c/r norte: 81°
		
Edificio R10 Menor ángulo c/r norte: 84°	Edificio R11 Menor ángulo c/r norte: 82°	Edificio T12(*) Menor ángulo c/r norte: 80°

**Tabla 7.2 Orientación geográfica de los edificios N1 al T12, ángulo con respecto al norte y dirección principal del daño (flecha naranja). (\*) Peligro de Colapso**

		
Edificio T13(*) Menor ángulo c/r norte: 82°	Edificio T14 Menor ángulo c/r norte: 69°	Edificio T15 Menor ángulo c/r norte: 83°
		
Edificio P16 Menor ángulo c/r norte: 11°	Edificio R17 Menor ángulo c/r norte: 9°	Edificio S18 Menor ángulo c/r norte: 9°
		
Edificio S19 Menor ángulo c/r norte: 80°	Edificio V20 Menor ángulo c/r norte: 11°	

**Tabla 7.3 Orientación geográfica de los edificios T13 al V20, ángulo con respecto al norte y dirección principal del daño (flecha naranja). (\*) Peligro de Colapso**

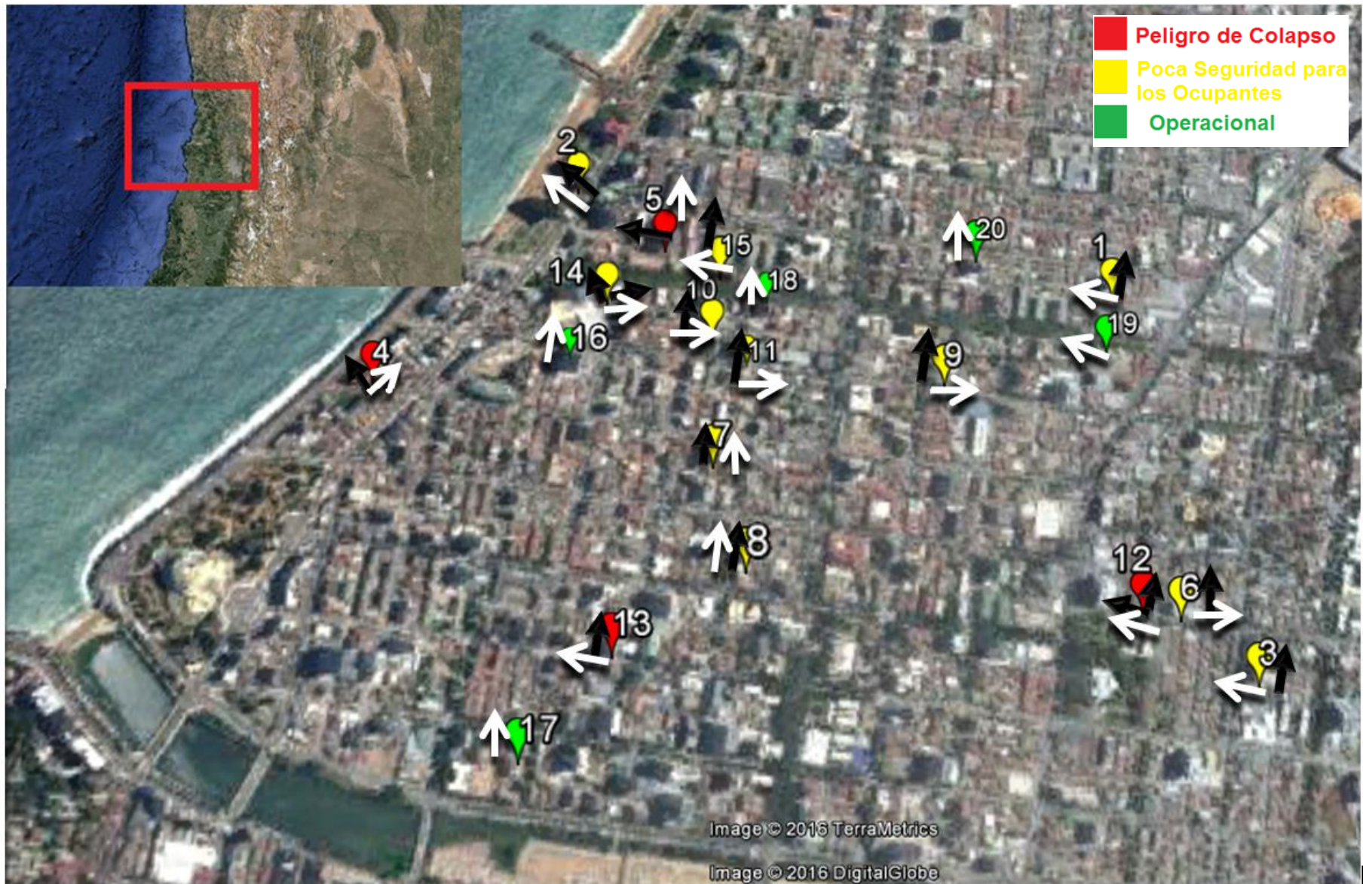


Figura 7.1 Ubicación geográfica de los edificios indicando la dirección del eje mayor (flecha blanca) y del daño (flecha negra)

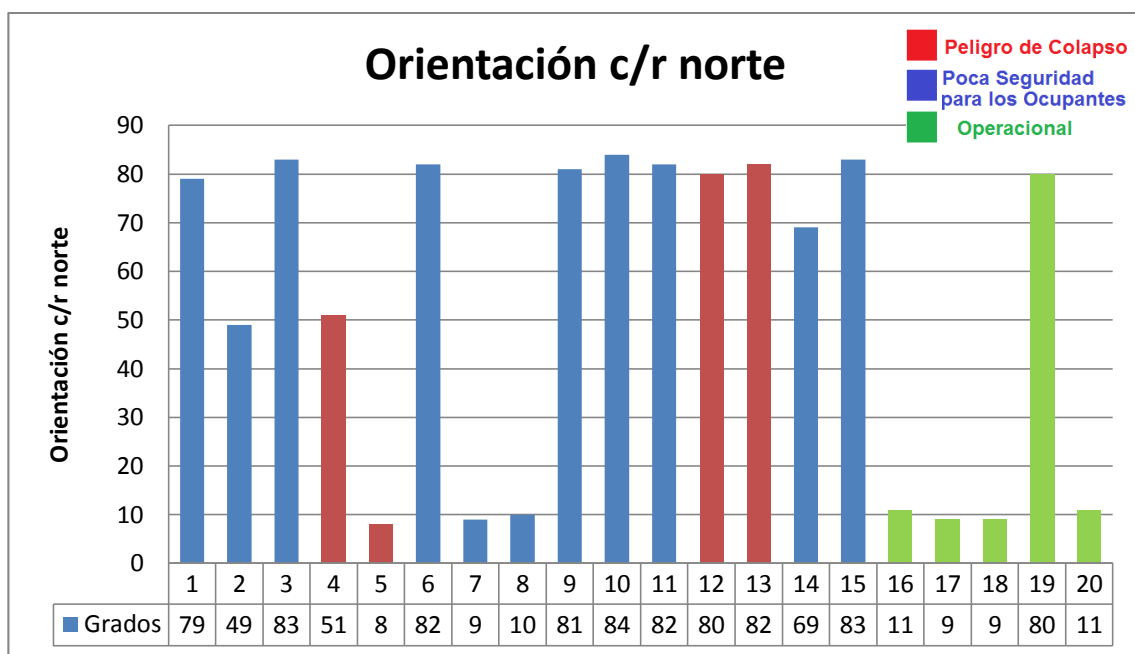


Figura 7.2 Representación gráfica del ángulo de la dirección principal del edificio con respecto al norte

Edificio	Dirección local del daño más importante en el edificio	Ángulo del eje mayor c/r al Norte en grados	Orientación geográfica principal del eje mayor	Dirección geográfica del daño predominante
N1	y	79	E-W	N-S
A2	x	49	E-W	E-W
A3	y	83	E-W	N-S
B4(*)	y	51	E-W	N-S
F5(*)	y	8	N-S	E-W
M6	y	82	E-W	N-S
M7	x	9	N-S	N-S
M8	x	10	N-S	N-S
M9	y	81	E-W	N-S
R10	y	84	E-W	N-S
R11	y	82	E-W	N-S
T12(*)	x-y	80	E-W	Ambas
T13(*)	y	82	E-W	N-S
T14	x-y	69	E-W	Ambas
T15	y	83	E-W	N-S
P16	Sin daños	11	N-S	Sin daños
R17	Sin daños	9	N-S	Sin daños
S18	Sin daños	9	N-S	Sin daños
S19	Sin daños	80	E-W	Sin daños
V20	Sin daños	11	N-S	Sin daños

Total N-S	11
Total E-W	2
Ambas	2
Total	15

Tabla 7.4 Orientación geográfica del daño observado en los edificios. (\*) Peligro de Colapso

### 7.2.3 Análisis de la relación entre la orientación del daño a nivel local y geográfico

Se pretende ahora determinar la existencia de alguna relación entre la dirección local del daño y la orientación geográfica del eje mayor del edificio, y para ello se presenta la Tabla 7.5 de doble entrada de datos. Esta tabla muestra la cantidad de edificios por dirección del daño principal y por orientación del eje mayor. Los rótulos de la dirección del daño son encabezados de fila y, los rótulos de orientación del eje mayor son encabezados de columna. La cantidad de edificios por dirección del daño y por orientación del eje mayor aparece en el cuerpo de la tabla.

Siguiendo el orden de la tabla, se tiene que tres edificios tienen su eje mayor en dirección N-S, de estos, dos tienen daño en dirección y, y uno en dirección x. Diez edificios tienen su eje mayor en dirección E-W, de estos, ocho edificios tienen daño en dirección y, y dos en ambas direcciones. Dos edificios tienen su eje mayor en dirección diagonal, de estos, un edificio presenta sus daños en dirección x y otro en dirección y.

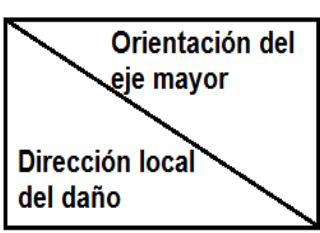
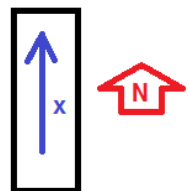
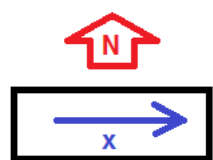
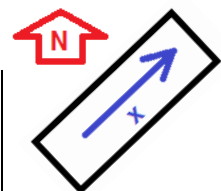
				Total
Daño en dirección local x	2 casos	0 casos	1 caso	3
Daño en dirección local y	1 caso	8 casos	1 caso	10
Daño en ambas direcciones locales	0 casos	2 casos	0 casos	2
Total	3	10	2	15

Tabla 7.5 Cantidad de edificios según orientación geográfica y dirección del daño

### 7.2.4 Comentarios

De las tablas y figuras anteriores se observa que:

- Diez de los quince edificios dañados muestran predominancia de daño en dirección y (eje de menor longitud en planta), tres muestran daño en dirección x, y dos en ambas direcciones.
- Excepto en un caso, el daño predominante en dirección N-S se aprecia en los edificios más alejados de la costa. En los edificios más cercanos de la costa se aprecia daño en dirección E-W, en ambas o en diagonal.
- Doce de los quince edificios dañados tienen su eje de mayor longitud en dirección predominantemente E-W, mientras que cuatro de los cinco edificios con buen desempeño, tienen dicha dirección en sentido N-S.
- Diez de los quince edificios dañados tienen su eje de mayor longitud en dirección E-W, y al mismo tiempo el daño observado está en dirección local y. Entre estos diez edificios, hay tres con nivel de desempeño Peligro de Colapso.

## 7.3 Análisis de las características geométricas de los edificios

En esta sección se analizan las características geométricas en los edificios divididas en dos grupos. En el primer grupo están las alturas de entrepiso, el número de pisos y la altura total. En el segundo grupo se encuentran las dimensiones en planta, la esbeltez de las plantas en la altura, y finalmente la esbeltez global de los edificios. Todas las características se analizan en ambas direcciones principales.

Se analiza, en cada caso, la posible existencia de correlaciones entre el daño observado y las características geométricas de los edificios.

### 7.3.1 Número de pisos y alturas

En la Tabla 7.6, en la segunda y tercera columnas, se presentan las alturas de entrepiso promedio, haciendo la diferencia entre pisos y subterráneos para cada edificio respectivamente. En la cuarta columna se presenta la altura total. En la quinta y sexta columnas, el número de pisos y subterráneos, respectivamente. La séptima columna contiene la altura desde la sección crítica hasta el último piso significativo, altura denominada como  $H_{sc}$ . En todos los casos se ha considerado como sección crítica la base del piso 1.

En la Figura 7.3 se presenta la altura de entrepiso, que es la diferencia de cota entre dos pisos consecutivos, esto sin considerar los subterráneos, su promedio es de 2.7 [m]. En cuanto a los subterráneos, el valor promedio de altura de entrepiso es de 3.0 [m] (ver Tabla 7.6).

En la Figura 7.4 se presenta el número de pisos y subterráneos en cada edificio, con valores que van de 9 a 24 pisos, incluyendo los subterráneos.

La Tabla 7.7 contiene los promedios de las alturas de entrepiso sin considerar los subterráneos.

En la Figura 7.5 se presenta la altura total  $H$  del edificio, definida como la diferencia de cota entre el último piso y la base. Para la muestra total, se tiene un promedio de altura de 40 [m].

En la Tabla 7.8 se presentan los edificios separados tanto por número de pisos como por su nivel de desempeño, se indica cuántos edificios quedan en cada rango definido.

Edificio	Altura entrepiso promedio pisos	Altura entrepiso promedio subterráneos	H [m] Atura total	Nº Pisos	Nº Subterráneos	Hsc[m] Altura sin subterráneos
N1	2.56	2.75	46.5	16	2	40.5
A2	2.75	-	44.0	15	0	44.0
A3	2.61	2.60	46.9	16	2	40.9
B4(*)	2.75	2.67	35.5	10	3	26.5
F5(*)	2.66	3.48	44.2	14	1	41.2
M6	2.55	3.00	31.0	11	1	28.0
M7	2.59	3.24	52.4	19	1	49.4
M8	2.59	2.65	36.3	13	1	33.3
M9	2.58	3.00	21.0	7	1	18.0
R10	2.58	2.58	43.8	16	1	40.8
R11	2.72	2.72	48.9	17	1	45.9
T12(*)	2.65	2.65	34.4	12	1	31.4
T13(*)	2.65	4.15	30.7	10	1	27.7
T14	2.58	3.00	47.3	16	2	41.3
T15	2.55	4.30	32.3	11	1	29.3
P16	2.53	2.70	61.0	22	2	55.0
R17	2.56	3.04	23.5	8	1	20.5
S18	2.60	2.60	31.2	11	1	28.2
S19	2.53	2.70	43.2	16	1	40.2
V20	2.55	2.88	43.7	16	1	40.7

Tabla 7.6 Altura total de cada edificio en metros. (\*) Peligro de Colapso

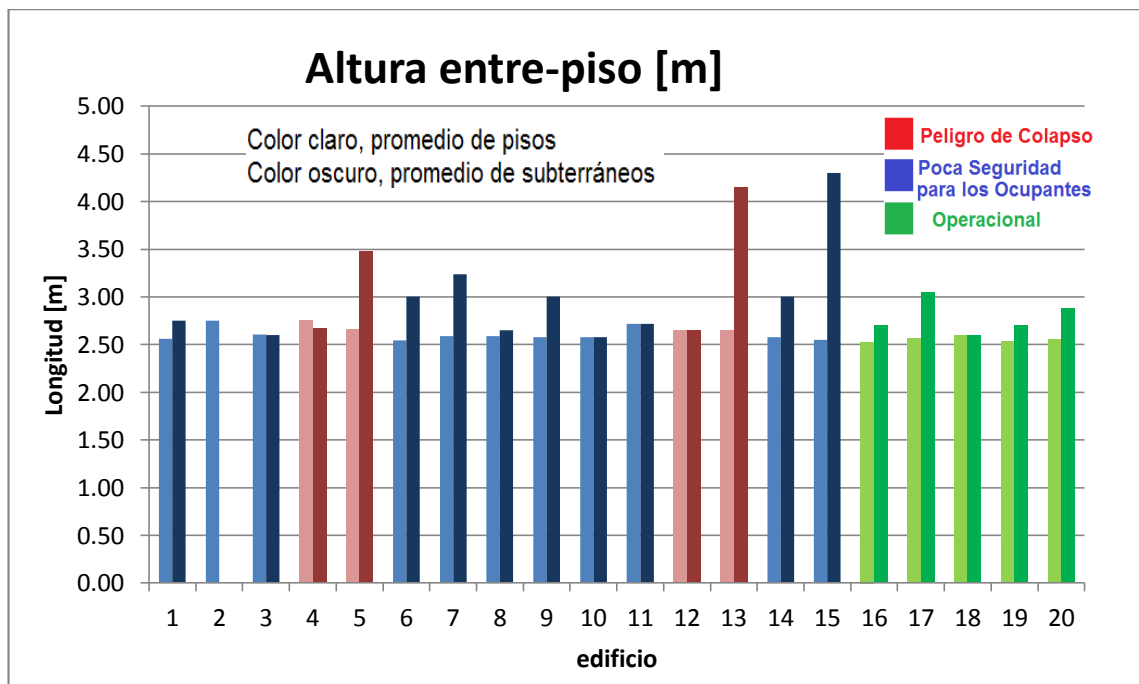


Figura 7.3 Alturas de entrepiso de los pisos y subterráneos de cada edificio

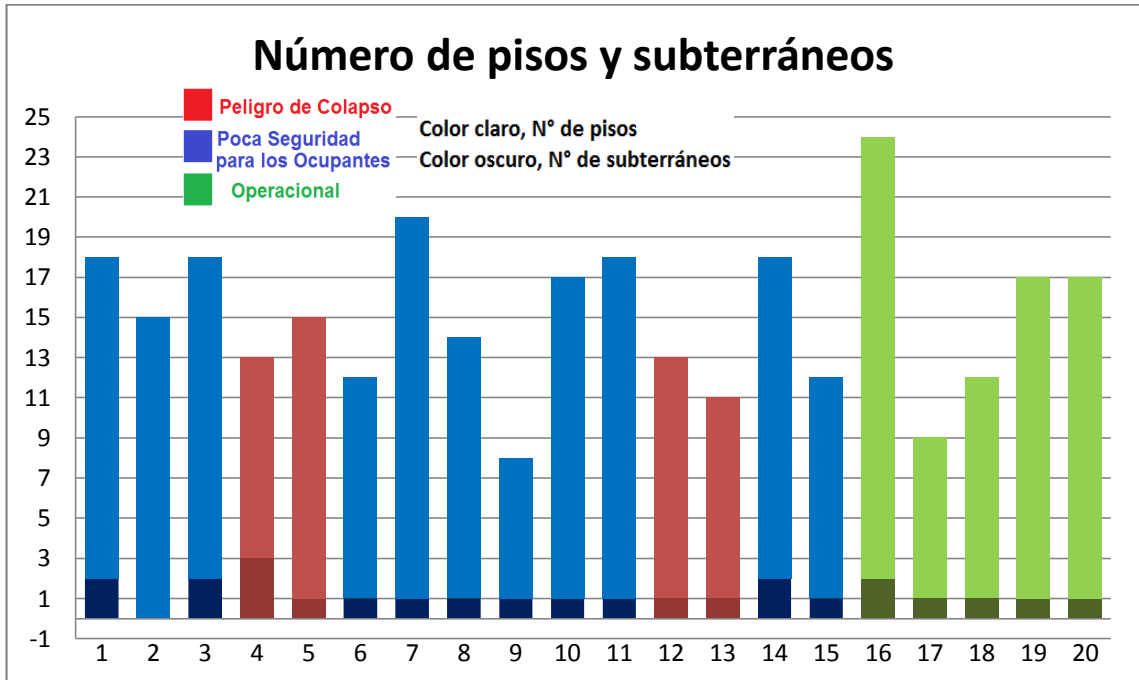


Figura 7.4 Número de pisos y subterráneos por edificio

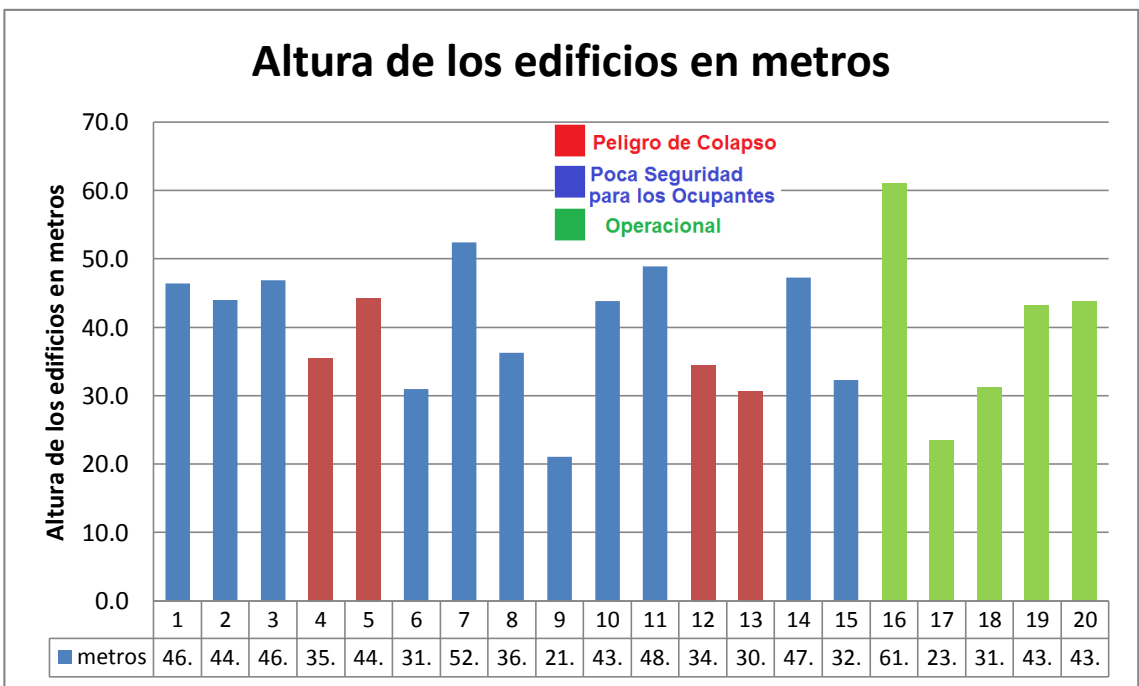


Figura 7.5 Altura de los edificios en metros

Promedios generales: Altura de entre pisos, sin subterráneos				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	2.7	2.6	2.6	2.6
Desviación estándar	0.0	0.1	0.0	0.1
Promedios generales: Altura de entre pisos, en subterráneos				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	3.2	3.0	2.8	3.0
Desviación estándar	0.7	0.5	0.2	0.5
Promedios generales: Altura de los edificios en metros				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	36.2	40.9	40.5	39.9
Desviación estándar	5.7	9.5	14.3	10.0

**Tabla 7.7 Para cada nivel de desempeño. Promedios de alturas de entrepiso, para pisos y subterráneos; y promedio de las alturas totales.**

Cantidad de edificios por rango de pisos y altura					
Rango [m]	Desempeño Rango pisos	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Cantidad edificios por rango
20-30 m	Menos de 10 pisos	-	1	1	2
30-40 m	11 a 14 pisos	3	3	1	7
40-50 m	15 a 18 pisos	1	6	2	9
50-62 m	más de 19 pisos	-	1	1	2
	Totales	4	11	5	20

**Tabla 7.8 Cantidad de edificios por rango de altura y de pisos**

- **Comentario**

En los pisos que están sobre los subterráneos, la altura de entrepisos es un valor bastante uniforme, con 2.6 [m] de promedio para la muestra total. En cuanto a la altura de entrepiso de los subterráneos, se tienen valores un poco mayores con 3 [m] en promedio.

El promedio de altura de los edificios de la muestra es de 40 [m] medida desde la base hasta el último piso significativo. Se tiene que para los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso, el valor del promedio es ligeramente menor que la media, con un valor de 36 [m], estos promedios son solo para referencia dada la gran desviación estándar.

Se puede observar que prácticamente todos, excepto uno, de los edificios con mal desempeño se encuentran en el rango de altura entre 30 y 50 [m]. Con respecto al número de pisos, 13 de 15 edificios están en el rango entre 11 y 18 pisos. Los edificios más gravemente dañados, con nivel de desempeño Peligro de Colapso, se hayan predominantemente en el rango 30-40 [m], entre 11 a 14 pisos (3 de 4).

No se observa ninguna tendencia clara entre estos parámetros y el nivel de desempeño observado.

### 7.3.2 Dimensiones en planta

Otro grupo de parámetros geométricos estudiados corresponde a la geometría de las plantas, caracterizada por las longitudes máximas en ambas direcciones principales de la planta y por la esbeltez en planta.

Los valores definidos como “representativos” de cada variable, corresponden a la moda de los datos en la altura, es decir, el valor que se repite una mayor cantidad de veces en cada piso del edificio, cabe mencionar que este valor en general no se diferencia en mayor medida de los valores obtenidos para el piso 1 del mismo edificio.

La altura normalizada, empleada en algunos gráficos, corresponde a la altura de cada piso sobre la altura total del edificio, partiendo del valor cero en la base y llegando al valor de 1 en el último piso.

La Tabla 7.9 contiene los valores representativos de las características geométricas analizadas, en dicha tabla se tiene la sigla del edificio, la altura desde la sección crítica al último piso significativo, el ancho máximo de la planta, el ancho mínimo de la planta, la esbeltez de la planta y la esbeltez global en dirección x e y, respectivamente para cada columna. La esbeltez global corresponde a la esbeltez en altura y se determina dividiendo la altura Hsc en la longitud de la planta, se explica cada análisis con mayor detalle en los apartados posteriores.

Edificio	Hsc[m] Altura sin subterráneos	Ancho máx Lx [m]	Ancho mín Ly [m]	Esbeltez en planta	Esbeltez global x	Esbeltez global y
N1	40.5	34.3	10.6	3.2	1.18	3.82
A2	44	53.3	20.5	2.6	0.82	2.15
A3	40.9	31.4	16.6	1.9	1.30	2.46
B4(*)	26.5	19.6	11.3	1.7	1.35	2.35
F5(*)	41.2	48.8	13.2	3.7	0.84	3.12
M6	28	33.0	8.6	3.8	0.85	3.26
M7	49.4	33.5	11.6	2.9	1.48	4.27
M8	33.3	27.8	13.4	2.1	1.20	2.49
M9	18	29.8	9.7	3.1	0.60	1.86
R10	40.8	28.4	12.6	2.3	1.44	3.24
R11	45.9	29.5	14.9	2.0	1.56	3.08
T12(*)	31.4	25.9	15.8	1.6	1.21	1.99
T13(*)	27.7	38.2	12.3	3.1	0.73	2.26
T14	41.3	37.8	13.8	2.7	1.09	3.00
T15	29.3	28.6	13.4	2.1	1.02	2.19
P16	55	32.3	16.2	2.0	1.70	3.40
R17	20.5	23.6	16.9	1.4	0.87	1.21
S18	28.2	23.2	12.0	1.9	1.22	2.35
S19	40.2	38.4	7.6	5.1	1.05	5.29
V20	40.7	26.1	12.3	2.1	1.56	3.32

Tabla 7.9 Valores geométricos representativos de los edificios

### 7.3.2.1 Longitudes máximas y mínimas en planta

Se presenta en la Figura 7.6, la distribución de la longitud máxima de la planta en la altura normalizada por la altura máxima. En la Figura 7.7 se grafican los valores representativos de esta variable para cada edificio. La longitud máxima de la planta,  $L_x$ , coincide, con el eje mayor, definido anteriormente como el eje x. La Tabla 7.10 contiene los promedios para este parámetro tanto por nivel de desempeño como por rango de pisos. Se observa que los promedios son bastante homogéneos para cada nivel de desempeño, el valor es cercano a los 30 [m].

Del mismo modo, se presenta en la Figura 7.8, la distribución de la longitud mínima de la planta en la altura normalizada y en la Figura 7.9 se grafican los valores representativos de esta variable. La longitud mínima de la planta,  $L_y$ , coincide, con el eje menor del edificio, definido anteriormente como el eje y, esta variable corresponde a la menor longitud del edificio en planta en dirección y. La Tabla 7.11 contiene los promedios para este parámetro tanto por nivel de desempeño como por rango de pisos. También se observa un promedio bastante homogéneo para todos los niveles de desempeño, el valor es cercano a los 13 [m].

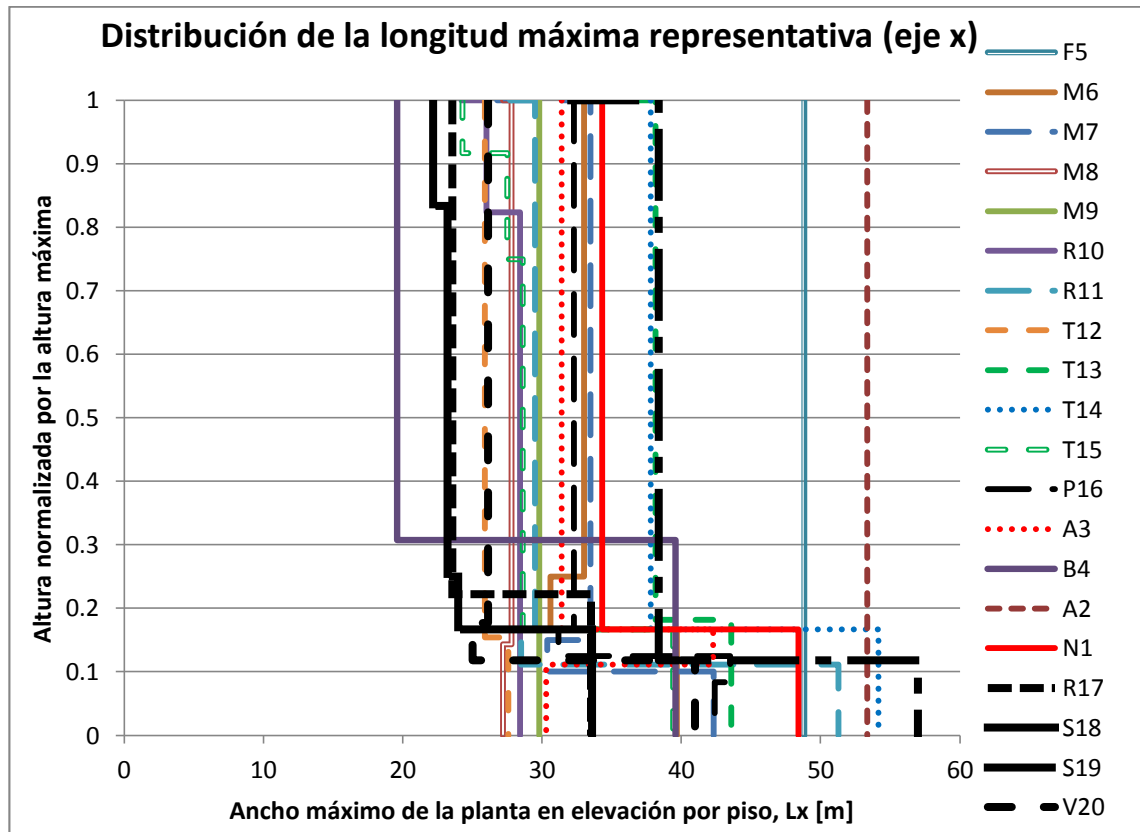
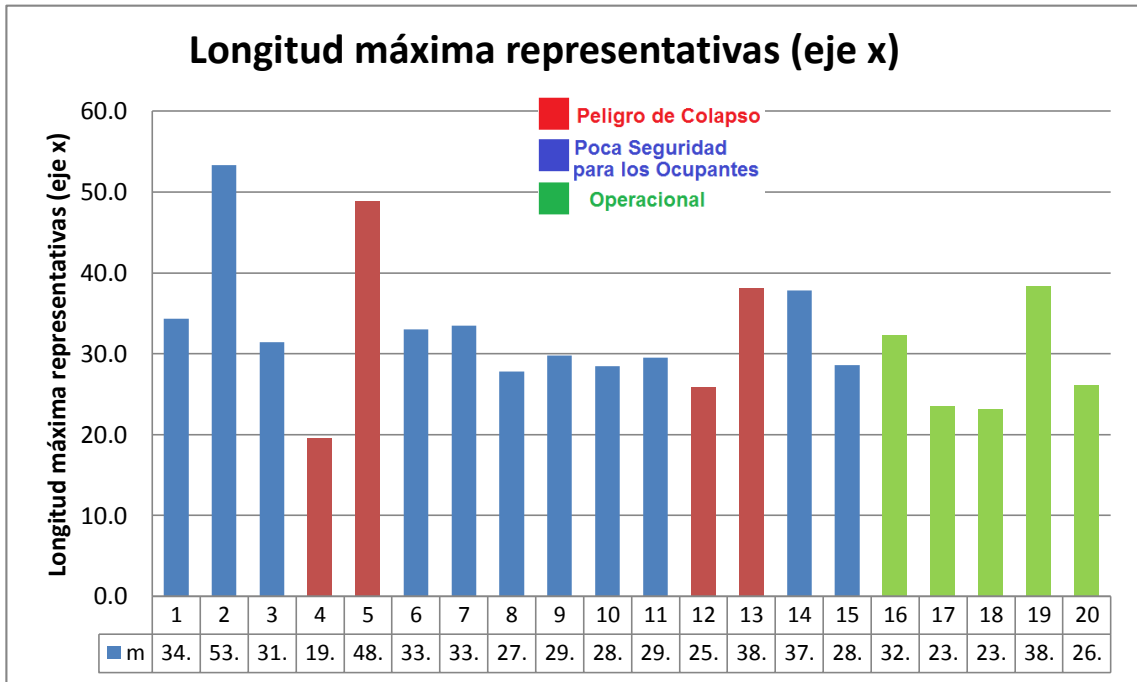


Figura 7.6 Distribución de longitudes máximas de piso en altura



**Figura 7.7 Longitud representativa máxima de la planta de los edificios Lx**

Promedios por rango de altura del edificio: Anchos máximos representativos (eje x)				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	29.8 (1)	23.6 (1)	26.7 (2)
11 a 14 pisos	27.9 (3)	29.8 (3)	23.2 (1)	28.0 (7)
15 a 18 pisos	48.8 (1)	35.8 (6)	32.3 (2)	36.5 (9)
más de 19 pisos	-	33.5 (1)	32.3 (1)	32.9 (2)
Promedios generales: Anchos máximos representativos (eje x)				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	33.1	33.4	28.7	32.2
Desviación estándar	13.0	7.3	6.5	8.2

**Tabla 7.10 Promedios de longitudes máximas representativas Lx**

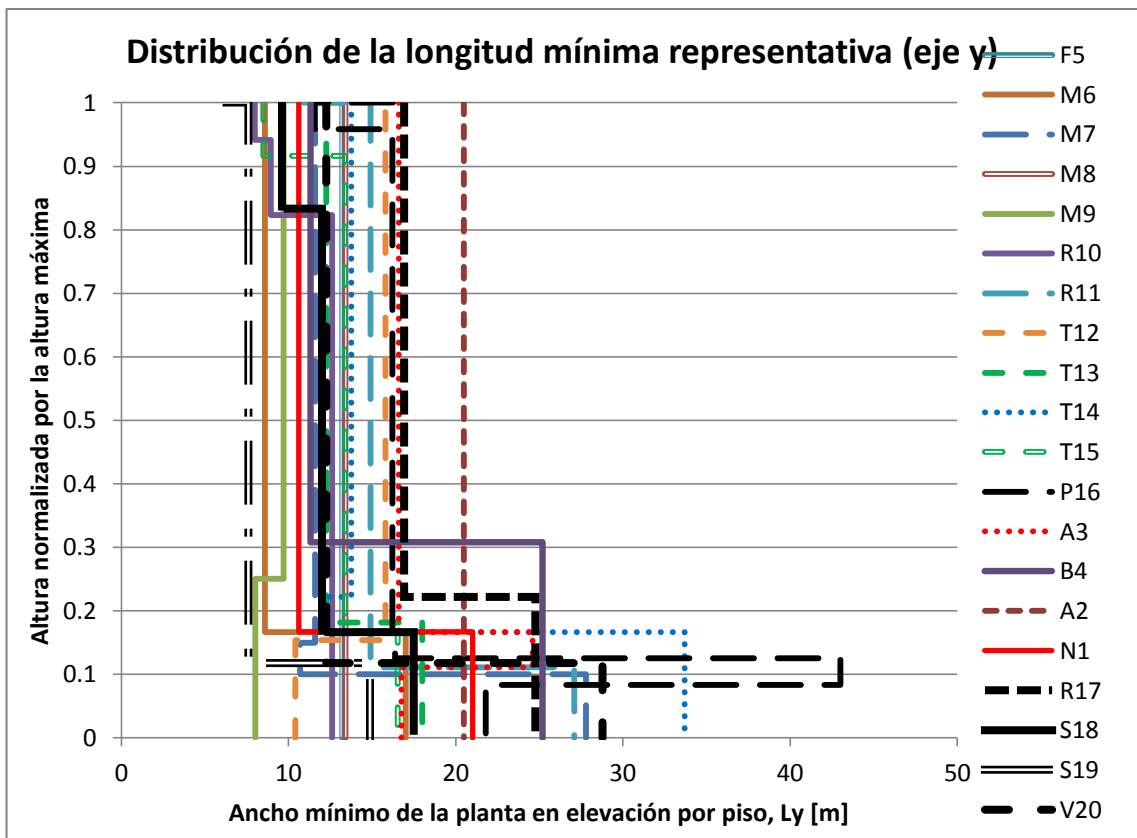


Figura 7.8 Distribución del ancho mínimo de la planta en altura Ly

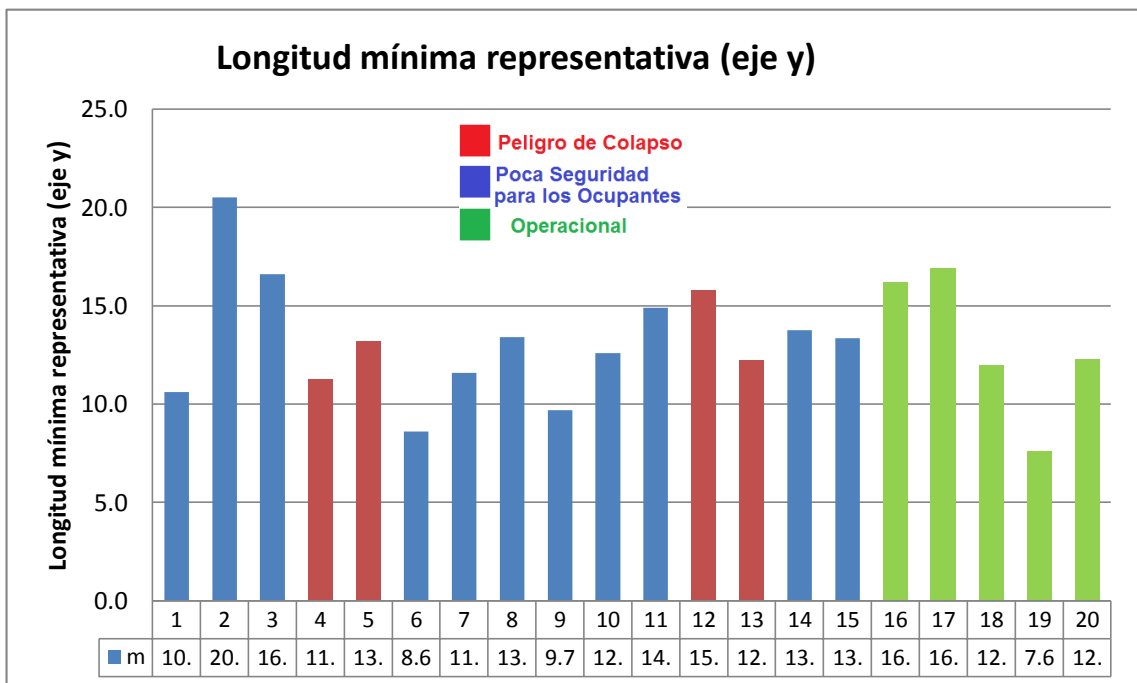


Figura 7.9 Longitud representativa mínima de la planta de los edificios Ly

Promedios por rango de altura del edificio: Anchos mínimos representativos (eje y)				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	9.7 (1)	16.9 (1)	13.3 (2)
11 a 14 pisos	13.1 (3)	11.8 (3)	12 (1)	12.4 (7)
15 a 18 pisos	13.2 (1)	14.8 (6)	9.9 (2)	13.6 (9)
más de 19 pisos	-	11.6 (1)	16.2 (1)	13.9 (2)
Promedios generales: Anchos mínimos representativos (eje y)				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	13.1	13.2	13.0	13.2
Desviación estándar	1.9	3.3	3.7	3.1

**Tabla 7.11 Promedios longitudes mínimas representativas Ly**

### 7.3.2.2 Esbelteces en planta

La esbeltez en planta se define como la longitud máxima de la planta ( $L_x$ ) sobre la longitud mínima ( $L_y$ ), para los cálculos se consideraron las longitudes máximas y mínimas representativas de cada edificio.

La Figura 7.10 muestra las esbelteces en planta distribuidas en la altura normalizada de los edificios, el rango está entre 1.5 y 5. En la Figura 7.11 se grafican los valores representativos de esta variable para cada edificio. La Tabla 7.12 contiene los promedios de las esbelteces en planta representativas, se puede observar que los valores son bastante homogéneos con un valor promedio del total de la muestra cercano a 2.5.

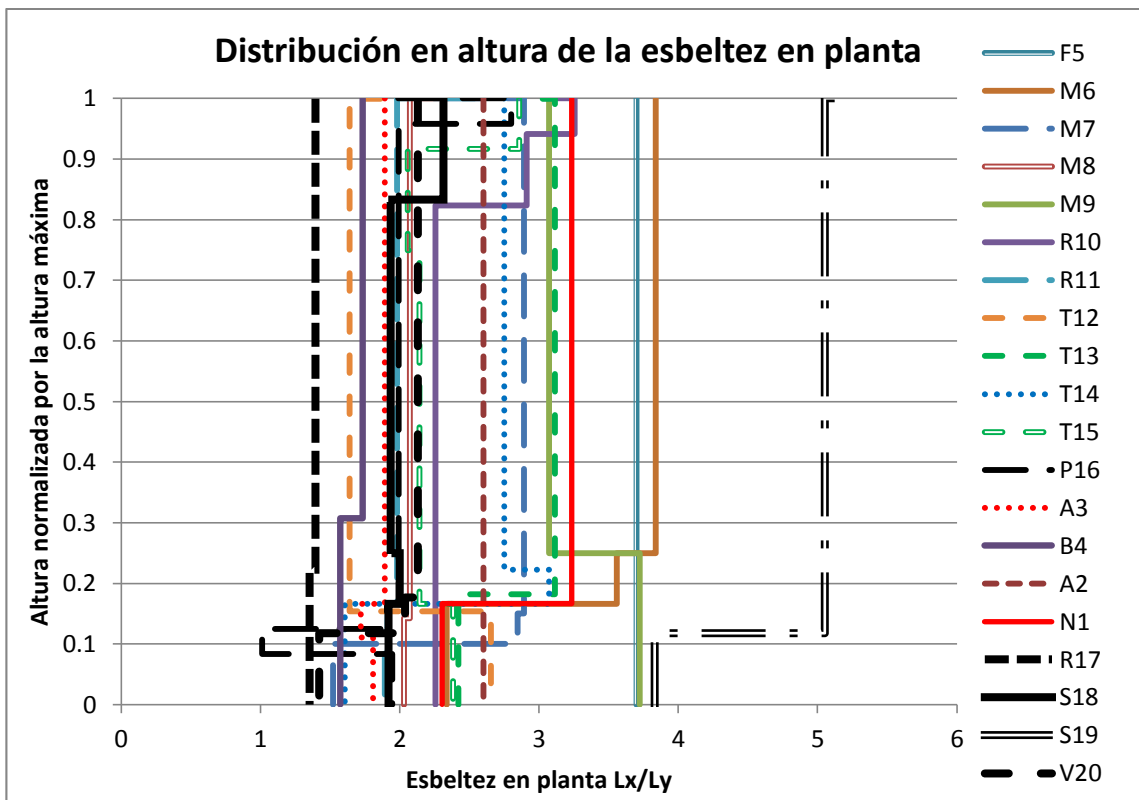


Figura 7.10 Distribución de la esbeltez de la planta en altura Lx/Ly

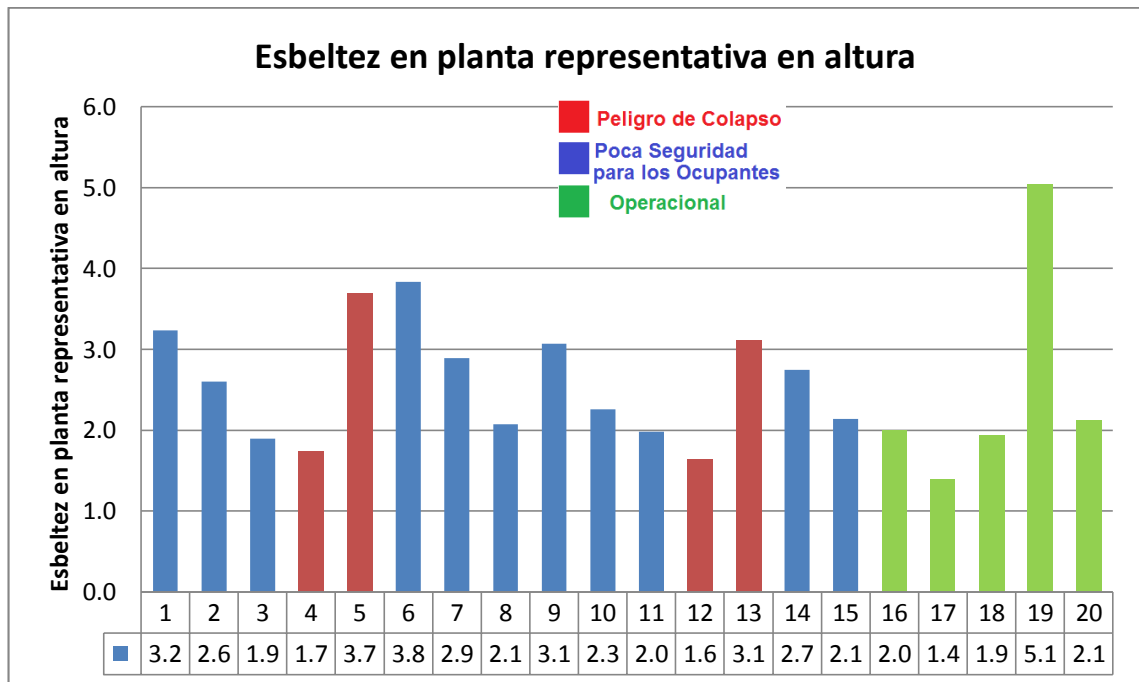


Figura 7.11 Esbeltez en planta representativa de los edificios Lx/Ly

Promedios por rango de altura del edificio: Esbeltez en planta representativa en altura				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	3.1 (1)	1.4 (1)	2.2 (2)
11 a 14 pisos	2.2 (3)	2.7 (3)	1.9 (1)	2.4 (7)
15 a 18 pisos	3.7 (1)	2.5 (6)	3.6 (2)	2.8 (9)
más de 19 pisos	-	2.9 (1)	2.0 (1)	2.4 (2)
Promedios generales: Esbeltez en planta representativa en altura				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	2.5	2.6	2.5	2.6
Desviación estándar	1.0	0.6	1.5	0.9

**Tabla 7.12 Promedios esbelteces en planta representativas Lx/Ly**

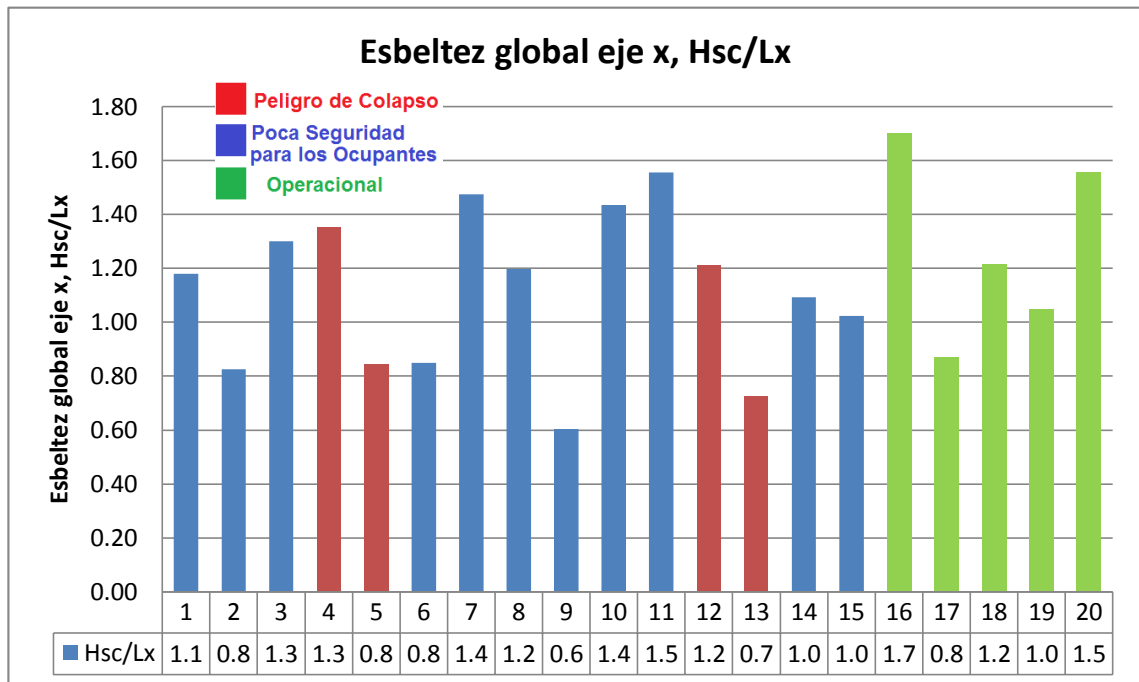
### 7.3.2.3 Esbelteces globales de los edificios

La esbeltez global del edificio será definida como la altura medida desde la sección crítica hasta el techo del edificio dividida por la longitud de la planta, tanto en la dirección x,  $Hsc/Lx$ , como en la dirección y,  $Hsc/Ly$ . Para el análisis se consideran los valores representativos de las longitudes de la planta.

En la Figura 7.12 se grafican las esbelteces globales calculadas con la longitud máxima representativa en dirección x,  $Hsc/Lx$ . En la Tabla 7.13 se tienen los promedios de esta variable para cada nivel de desempeño y rango de pisos. Se observa que el promedio es ligeramente mayor en los edificios con buen desempeño, y un poco menor para los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso con respecto a la media de la muestra, pero los promedios no son una medida muy representativa dada la gran desviación estándar en la muestra. El promedio de la muestra es cercano a 1.2 para esta dirección.

La Figura 7.13 grafica las esbelteces globales calculadas con la longitud mínima representativa en dirección y  $Hsc/Ly$ . En la Tabla 7.14 se tienen los promedios de esta variable para cada nivel de desempeño y rango de pisos. Se observa que este valor es ligeramente mayor en los edificios con buen desempeño, y un poco menor para los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso, esto con respecto a la media de la muestra. El promedio de la muestra es cercano a 3.0 para esta dirección, los promedios son solo una medida referencial debido a la gran desviación estándar de la muestra.

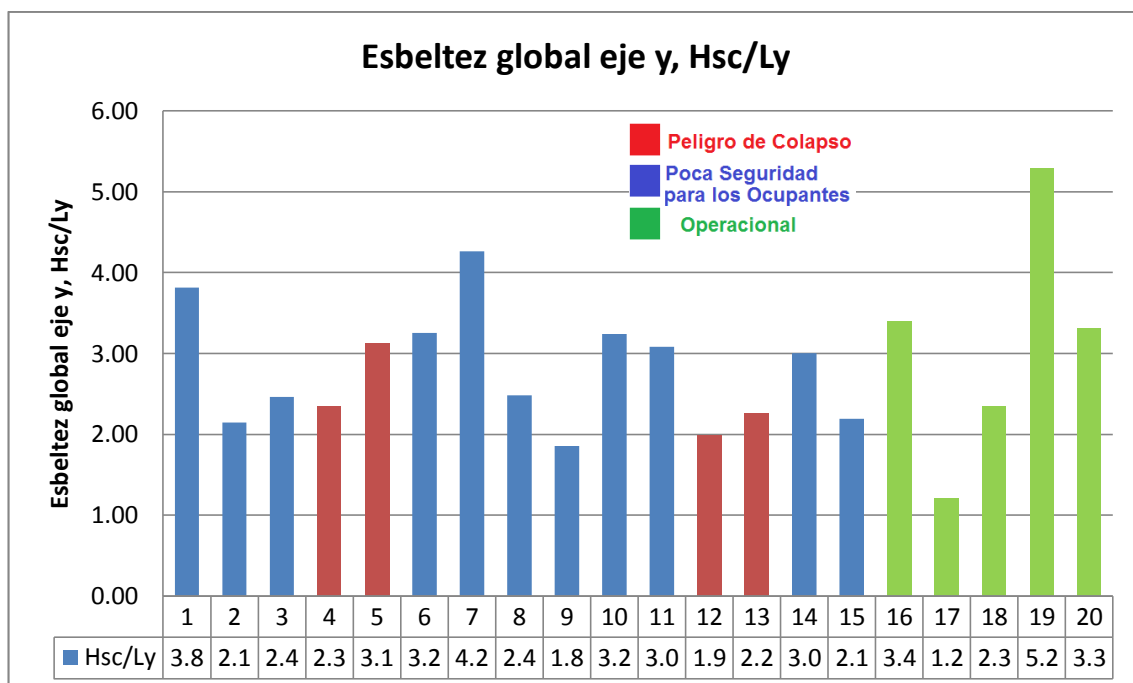
También se considera la esbeltez relacionada en ambos ejes con la relación  $Hsc/Lx/Ly$ , la Figura 7.14 grafica esta relación y en la Tabla 7.15 se presentan los promedios de esta variable en porcentajes. Se tiene que el promedio para esta variable en los edificios con nivel de desempeño Operacional es ligeramente mayor con respecto a la media de la muestra la cual tiene un valor de 9.1%.



**Figura 7.12 Esbeltez global eje x**

Promedios por rango de altura del edificio: Esbeltez global eje x Hsc/Lx				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	0.6 (1)	0.9 (1)	0.7 (2)
11 a 14 pisos	1.1 (3)	1 (3)	1.2 (1)	1.1 (7)
15 a 18 pisos	0.8 (1)	1.2 (6)	1.3 (2)	1.2 (9)
más de 19 pisos	-	1.5 (1)	1.7 (1)	1.6 (2)
Promedios generales: Esbeltez global eje x Hsc/Lx				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	1.0	1.1	1.3	1.2
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.3

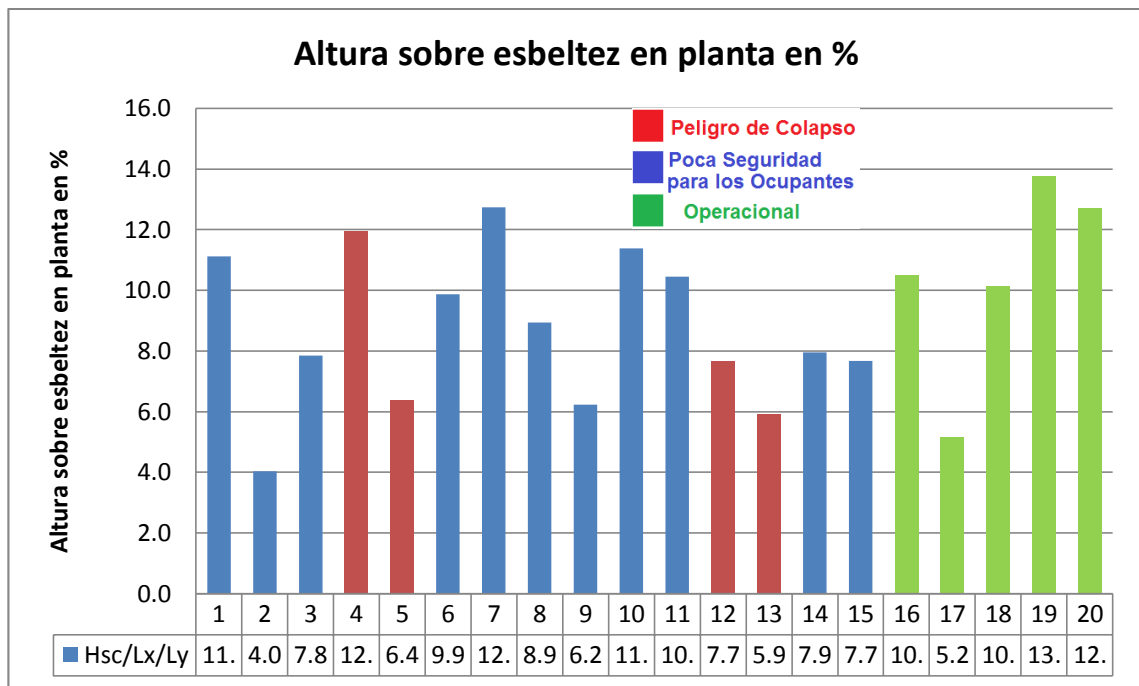
**Tabla 7.13 Promedios esbelteces globales eje x**



**Figura 7.13 Esbeltez global eje y**

Promedios por rango de altura del edificio: Esbeltez Global eje y Hsc/Ly				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	1.9 (1)	1.2 (1)	1.5 (2)
11 a 14 pisos	2.2 (3)	2.6 (3)	2.4 (1)	2.4 (7)
15 a 18 pisos	3.1 (1)	3 (6)	4.3 (2)	3.3 (9)
más de 19 pisos	-	4.3 (1)	3.4 (1)	3.8 (2)
Promedios generales: Esbeltez Global eje y Hsc/Ly				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	2.4	2.9	3.1	2.9
Desviación estándar	0.5	0.7	1.5	0.9

**Tabla 7.14 Promedios esbelteces globales eje y**



**Figura 7.14** Altura sobre esbeltez en planta Hsc/Lx/Ly

Promedios por rango de altura del edificio: Altura total sobre esbeltez en planta en %				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	6.2 (1)	5.2 (1)	5.7 (2)
11 a 14 pisos	8.5 (3)	8.8 (3)	10.1 (1)	8.9 (7)
15 a 18 pisos	6.4 (1)	8.8 (6)	13.2 (2)	9.5 (9)
más de 19 pisos	-	12.7 (1)	10.5 (1)	11.6 (2)
Promedios generales: Altura total sobre esbeltez en planta en %				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	8.0	8.9	10.5	9.1
Desviación estándar	2.8	2.5	3.3	2.8

**Tabla 7.15** Promedios de Altura total sobre esbeltez en planta en %

### 7.3.2.4 Comentarios

En general los edificios presentan características geométricas bastante homogéneas. Según el análisis, no existen diferencias que pudiesen considerarse como significativas o que pudiesen afectar el desempeño que alcanzaron los edificios en el sismo de Chile del 2010. Los promedios mencionados tienen el objetivo de entregar un orden de magnitud de los datos manejados.

Como referencia, las longitudes representativas máximas y mínimas para cada nivel de desempeño son bastante homogéneas con promedios cercanos a 30 y 13 [m], respectivamente. Los edificios con buen desempeño tienen valores ligeramente menores. No se observa alguna tendencia ni correlación en estas variables con respecto a los daños observados.

En cuanto a las esbelteces en planta, no se observa una tendencia clara que diferencie un nivel de desempeño de otro, en promedio, los valores para cada nivel de desempeño son bastante similares cercanos a 2.5, sin embargo, excluyendo un dato extremo de 5.1 en los edificios con nivel de desempeño Operacional, el promedio para este nivel de desempeño se reduce a 2.

En promedio las esbelteces globales son ligeramente mayores para los edificios con nivel de desempeño Operacional, esto es válido para todos los rangos de pisos en el eje x. Con respecto al eje y, se tiene que el promedio para los edificios con nivel de desempeño Operacional, es ligeramente mayor a la media de la muestra total. No se observa alguna correlación de las esbelteces globales con respecto al daño observado.

Con respecto a la relación de la altura con la esbeltez en planta  $H_{sc}/L_x/L_y$ , se tiene que para los edificios con nivel de desempeño Operacional los promedios son mayores con respecto a la media total, sin embargo, no es una diferencia clara y la desviación estándar es alta. Tampoco se puede determinar alguna correlación de esta variable con los daños observados en los edificios.

## 8 CARACTERÍSTICAS DE LAS PLANTAS DE PISO

### 8.1 General

En este capítulo se presenta las características de las plantas de piso de los edificios, a efectos de encontrar posibles correlaciones de éstas con los daños observados en los mismos.

El capítulo contiene dos partes, una asociada a las áreas en planta y la otra asociada a la distribución de los muros en planta.

### 8.2 Áreas

Como primera parte, dentro de las características evaluadas, se encuentra el área de las plantas, el área de los muros y la densidad de muros.

La Tabla 8.1 contiene los principales valores analizados en este capítulo. En la primera columna se indica la denominación del edificio. En la segunda, el área de la planta promedio: En la tercera, cuarta y quinta las áreas promedio de muros en ambas direcciones y total respectivamente. En las columnas sexta a octava las densidades de área de muro promedios en ambas direcciones y total respectivamente. La densidad de muros promedio corresponde al valor promedio entre todos los pisos, y no corresponde necesariamente a la división directa del área promedio de muros con el área promedio de la planta presente en la tabla. El análisis de cada parámetro geométrico se presenta más adelante en este mismo capítulo. También se analizan estas mismas propiedades de áreas en el piso 1 (como se explicará posteriormente) para determinar si existe alguna relación de estas propiedades con los daños observados.

#### 8.2.1 Áreas de las plantas

Se estudia el posible efecto del tamaño de las plantas de pisos, caracterizadas a través de sus áreas  $A_p$ , delimitadas por el perímetro de la planta. Para cada edificio estudiado se grafican los valores y calculan promedios globales y por rango de pisos.

En la Figura 8.1 se muestra la distribución de los valores del área de planta en la altura de los edificios, que no considera los subterráneos. En la Figura 8.2 se presentan los promedios de dicho parámetro. En la Tabla 8.2 se indican los promedios globales y por rango de altura. La altura normalizada, mencionada en algunos gráficos, corresponde a la altura de un piso cualquiera del edificio dividido por la altura total del edificio.

Edificio	Área de planta promedio $A_p$ [m <sup>2</sup> ]	Área de muros promedio $A_x$ [m <sup>2</sup> ]	Área de muros promedio $A_y$ [m <sup>2</sup> ]	Área de muros total promedio $A_t$ [m <sup>2</sup> ]	Densidad de muros promedio $p_x$	Densidad de muros promedio $p_y$	Densidad total de muros promedio $p_t$
N1	411.8	11.6	12.8	24.4	2.8	3.1	5.9
A2	750.3	27.1	22.7	49.8	3.6	3.0	6.6
A3	544.8	22.4	13.1	35.5	4.1	2.4	6.5
B4(*)	344.6	9.8	7.3	17.1	2.9	2.1	5.0
F5(*)	924.4	24.2	24.6	48.8	2.6	2.7	5.3
M6	359.3	10.7	11.6	22.3	3.0	3.3	6.3
M7	485.4	16.6	14.1	30.7	3.4	2.9	6.3
M8	420.3	8.9	13.3	22.2	2.1	3.2	5.3
M9	303.5	9.5	7.8	17.3	3.1	2.6	5.7
R10	519.4	12.4	12.6	25	2.7	2.7	5.4
R11	487.1	9.1	10.6	19.7	2.2	2.5	4.7
T12(*)	391.0	7.5	11.2	18.7	2.0	3.0	5.0
T13(*)	508.9	11.5	11.9	23.4	2.3	2.4	4.7
T14	548.5	9.4	18.3	27.7	1.7	3.3	5.0
T15	348.4	6.7	10.0	16.7	1.9	2.9	4.8
P16	584.9	17.4	19.2	36.6	3.0	3.3	6.3
R17	419.8	6.7	11.2	17.9	1.6	2.7	4.3
S18	259.0	7.0	5.6	12.6	2.7	2.1	4.8
S19	418.3	12.4	16.4	28.8	3.0	3.9	6.9
V20	318.9	7.4	9.0	16.4	2.3	2.8	5.1

Tabla 8.1 Valores de las áreas de planta, de muros y densidades de muros de los edificios

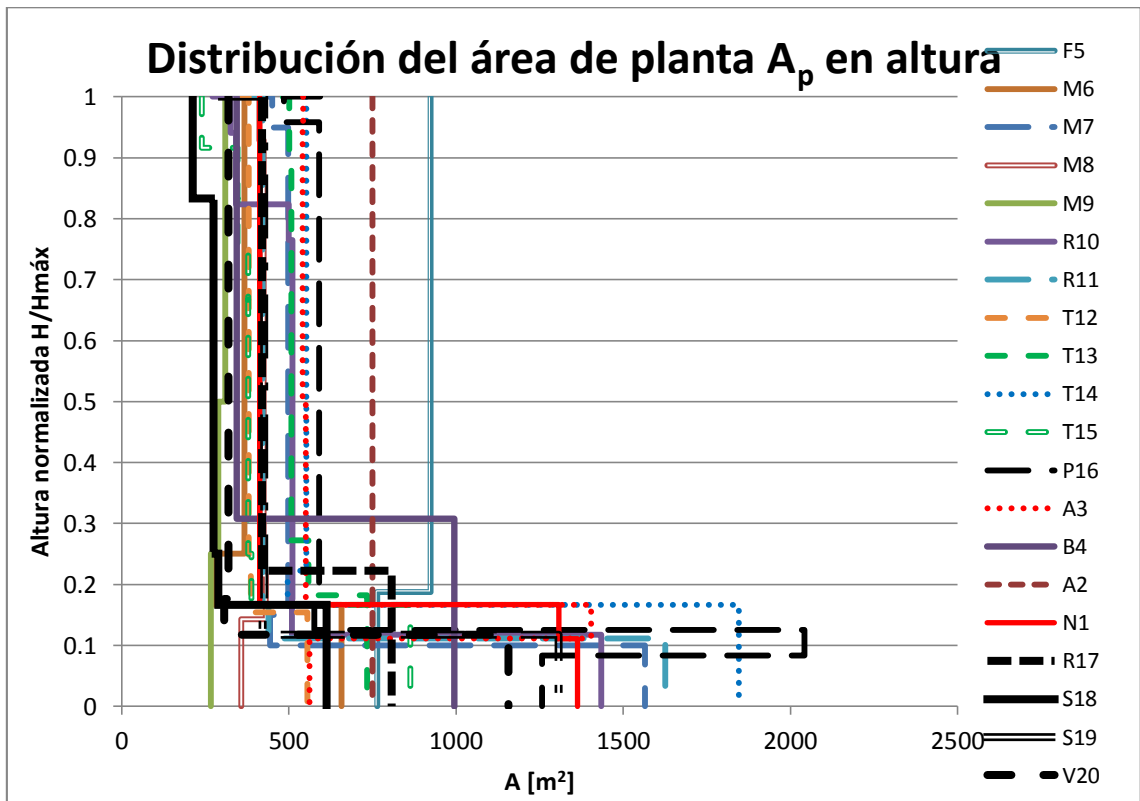
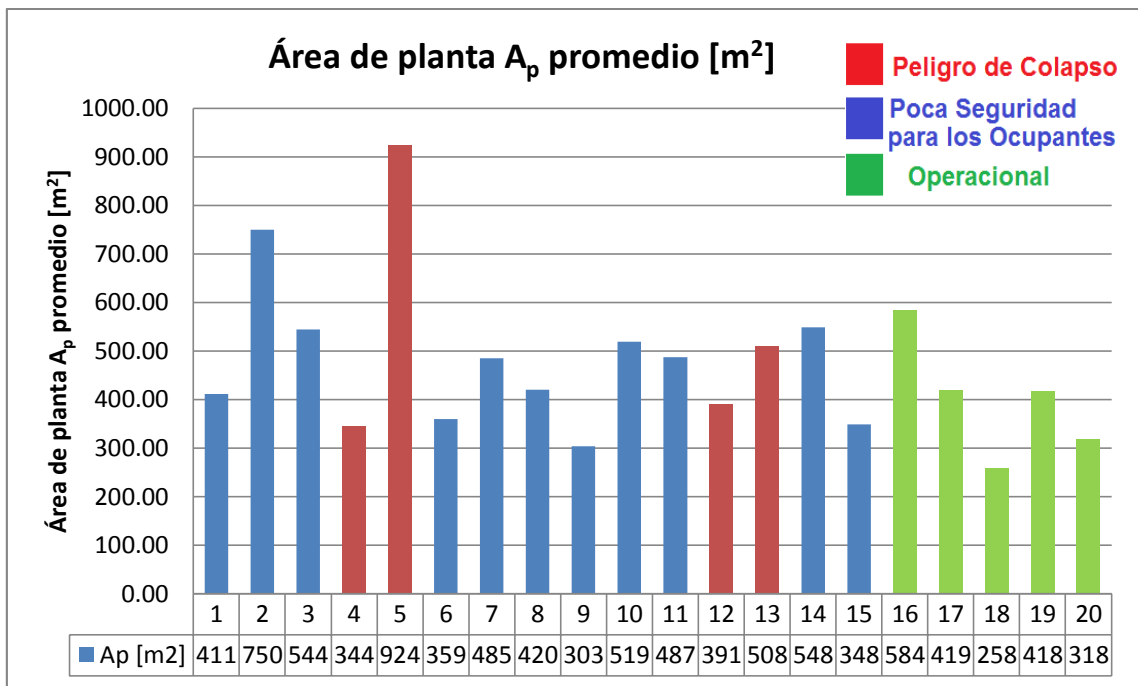


Figura 8.1 Distribución en altura del área de la planta del piso [m<sup>2</sup>]



**Figura 8.2 Área promedio de planta de piso (se excluyen subterráneos) [m<sup>2</sup>]**

Promedios por rango de altura del edificio: Área de planta promedio. En paréntesis, cantidad de datos en el rango				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	303.5 (1)	419.8 (1)	361.6 (2)
11 a 14 pisos	414.9 (3)	376 (3)	259 (1)	375.9 (7)
15 a 18 pisos	924.4 (1)	543.6 (6)	368.6 (2)	547 (9)
más de 19 pisos	-	485.4 (1)	584.9 (1)	535.1 (2)
Promedios generales: Área de planta promedio				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	542.2	470.8	400.2	467.4
Desviación estándar	264.0	124.1	123.9	157.2

**Tabla 8.2 Promedios área de planta por rango de pisos (se excluyen subterráneos) [m<sup>2</sup>]**

- **Comentario**

Si bien de las figuras se observa que las áreas de planta son ligeramente menores para los edificios con buen desempeño y que existe un edificio con mal desempeño que se escapa considerablemente de la media, no se observa una correlación directa de los daños observados y el área de las plantas.

## 8.2.2 Áreas de muro

Se estudia el posible efecto de la cantidad total de muros en la planta, medida a través del área total de las secciones transversales de estos elementos. Se distingue el área de muros en ambas direcciones de la planta. Se grafican los valores y calculan promedios globales y por rango de pisos.

Con respecto a los espesores de muro en los edificios, se tiene que el promedio de espesor es de 20 [cm] para todos los edificios, con una desviación estándar mínima.

El área de muros corresponde a la suma de áreas seccionales en planta de los muros emplazados en la dirección de cada eje del edificio. Cada sección de muro se considera aportando en la dirección de su eje mayor. El área total de muros en dirección x será denotada por  $A_x$ , mientras que el área total de muros en dirección y será denotada por  $A_y$ . La sigla  $A_t$  corresponde al área total de muros en la planta.

En la Figura 8.3 y Figura 8.5 se muestra la distribución en altura del área de muro para las direcciones x e y (distribuciones de  $A_x$  y  $A_y$ ) respectivamente. En la Figura 8.4, Figura 8.6 y Figura 8.7 se grafica los promedios de estas variables en los pisos (excluyendo subterráneos) en dirección x, dirección y y la suma de ambas direcciones respectivamente. En la Tabla 8.3, Tabla 8.4, y Tabla 8.5 se presenta los promedios para  $A_x$ ,  $A_y$ , y  $A_t$  respectivamente, tanto por rango de altura como por nivel de desempeño, excluyendo subterráneos.

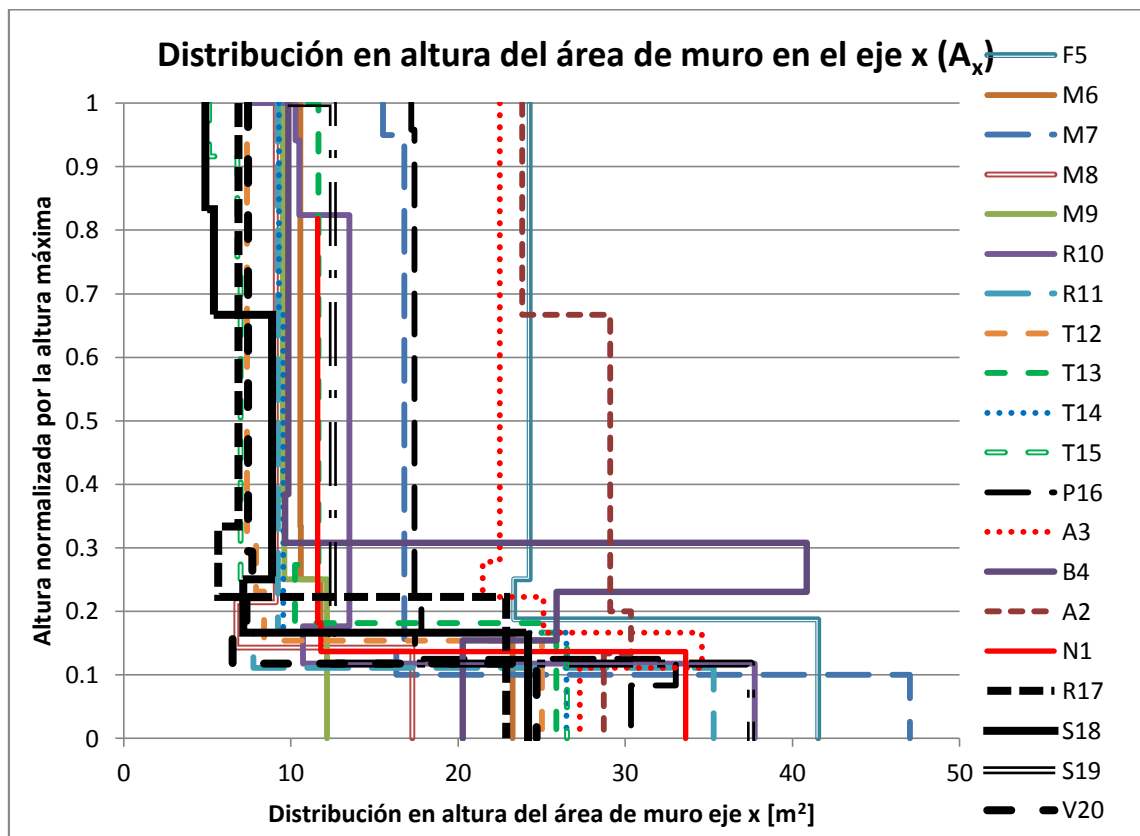


Figura 8.3 Distribución en altura del área de muros en el eje x [ $m^2$ ]

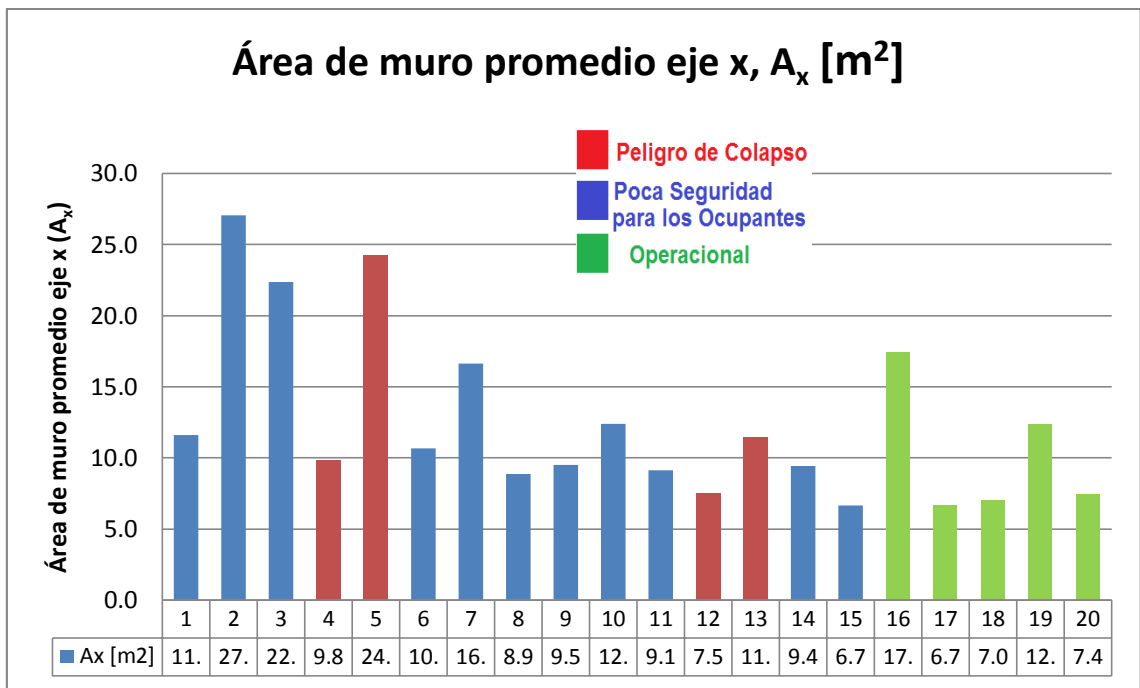


Figura 8.4 Área promedio de muro en altura eje x (se excluyen subterráneos) [m<sup>2</sup>]

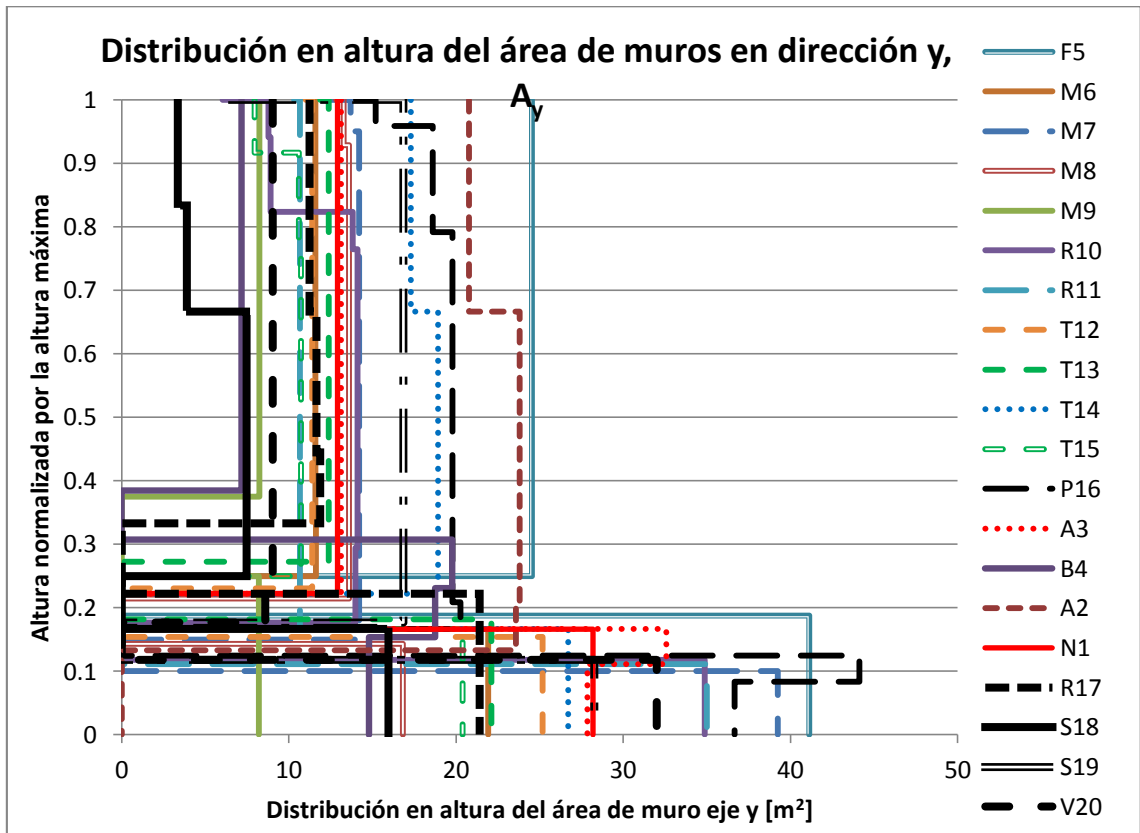


Figura 8.5 Distribución en altura del área de muros en el eje y [m<sup>2</sup>]

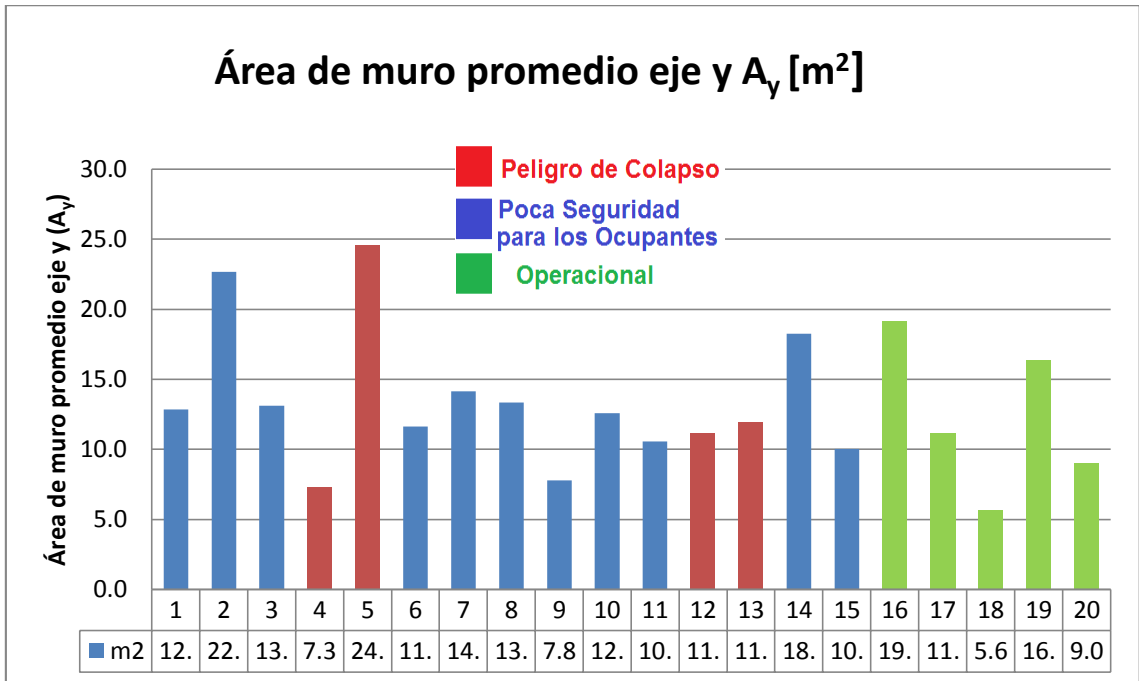


Figura 8.6 Área promedio de muro en altura eje y (se excluyen subterráneos) [m<sup>2</sup>]

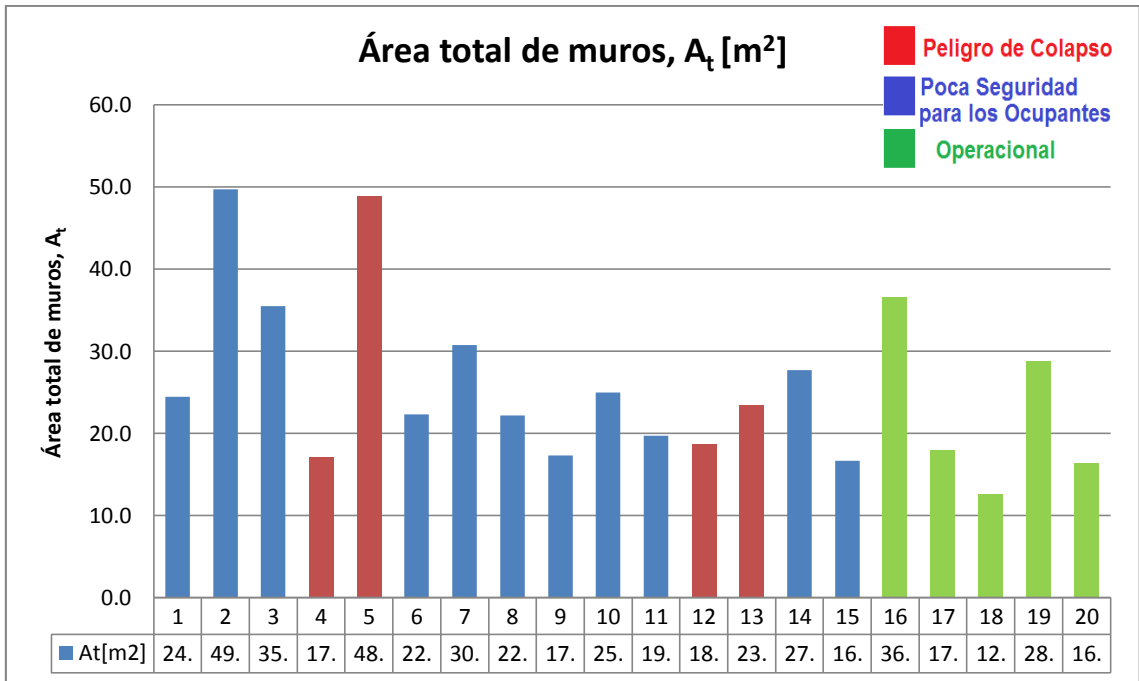


Figura 8.7 Área promedio de muro total en altura (se excluyen subterráneos) [m<sup>2</sup>]

Promedios por rango de altura del edificio: Área de muro promedio eje x $A_x$ [m <sup>2</sup> ] En paréntesis, cantidad de datos en el rango				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	9.5 (1)	6.7 (1)	8.1 (2)
11 a 14 pisos	9.6 (3)	8.7 (3)	7 (1)	8.9 (7)
15 a 18 pisos	24.2 (1)	15.3 (6)	9.9 (2)	15.1 (9)
más de 19 pisos	-	16.6 (1)	17.4 (1)	17 (2)
Promedios generales: Área de muro promedio eje x $A_x$				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	13.3	13.1	10.2	12.4
Desviación estándar	7.5	6.4	4.7	6.0

**Tabla 8.3 Promedios áreas de muro eje x (se excluyen subterráneos) [m<sup>2</sup>]**

Promedios por rango de altura del edificio: Área de muro promedio eje y $A_y$ [m <sup>2</sup> ] En paréntesis, cantidad de datos en el rango				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	7.8 (1)	11.2 (1)	9.5 (2)
11 a 14 pisos	10.1 (3)	11.7 (3)	5.6 (1)	10.1 (7)
15 a 18 pisos	24.6 (1)	15 (6)	12.7 (2)	15.6 (9)
más de 19 pisos	-	14.1 (1)	19.2 (1)	16.6 (2)
Promedios generales: Área de muro promedio eje y $A_y$ [m <sup>2</sup> ]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	13.7	13.4	12.3	13.2
Desviación estándar	7.5	4.1	5.5	4.9

**Tabla 8.4 Promedios áreas de muro eje y (se excluyen subterráneos) [m<sup>2</sup>]**

Promedios por rango de altura del edificio: Área total promedio de muros En paréntesis, cantidad de datos en el rango				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	17.3 (1)	17.9 (1)	17.6 (2)
11 a 14 pisos	19.7 (3)	20.4 (3)	12.6 (1)	19 (7)
15 a 18 pisos	48.8 (1)	30.3 (6)	22.6 (2)	30.7 (9)
más de 19 pisos	-	30.8 (1)	36.6 (1)	33.7 (2)
Promedios generales: Área total promedio de muros				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	27.0	26.5	22.4	25.6
Desviación estándar	14.8	9.5	9.9	10.3

**Tabla 8.5 Promedios áreas de muro (se excluyen subterráneos) [m<sup>2</sup>]**

- **Comentario**

Se observa que, contrario a lo esperado, en las direcciones x e y los valores para los edificios con buen desempeño, en general, son menores comparados con los edificios con mal desempeño. Como referencia, los promedios de área de muros, para la muestra de 20 edificios son similares en ambas direcciones, con valores cercanos a 13 [m<sup>2</sup>] en cada dirección.

A simple vista no es posible correlacionar esta variable con los daños observados en los edificios.

### 8.3 Densidad de muros

La densidad de muros en cada dirección de la planta corresponde al cociente entre el área de muros en la dirección respectiva y el área de piso:

$$\rho_x = \frac{A_x}{A_p} * 100 \quad y \quad \rho_y = \frac{A_y}{A_p} * 100$$

Donde  $\rho_x$  es la densidad de muros en dirección x,  $\rho_y$  es la densidad de muros en dirección y.  $A_x$ ,  $A_y$  y  $A_p$  fueron descritos anteriormente. Para para resultados más representativos en los promedios, éstos se calculan excluyendo los subterráneos.

La Tabla 8.1 mencionada con anterioridad contiene los valores de la densidad de muros para ambas direcciones y la suma de ambas direcciones.

La Figura 8.8 y la Figura 8.9, grafican la distribución de los valores de la densidad de muros en la altura normalizada para la dirección x e y, respectivamente.

La Figura 8.10, Figura 8.11, y Figura 8.12, grafican los promedios de las densidades de muros en dirección x, dirección y y totales respectivamente. Se excluyen subterráneos.

La Tabla 8.6, Tabla 8.7, y Tabla 8.8, contienen los promedios de la densidad de muros en dirección x, dirección y y densidades totales, respectivamente; esto para cada nivel de desempeño y rango de pisos.

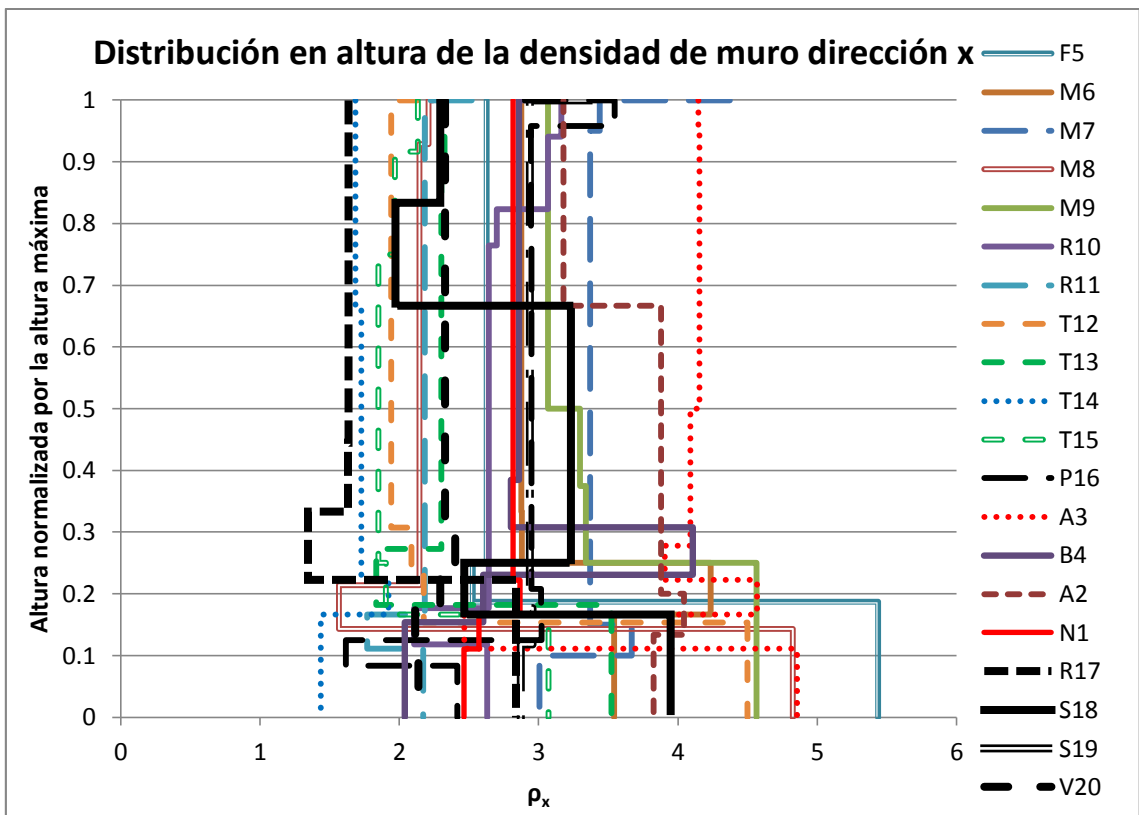


Figura 8.8 Distribución en altura de la densidad de muros dirección x ( $\rho_x$  [%])

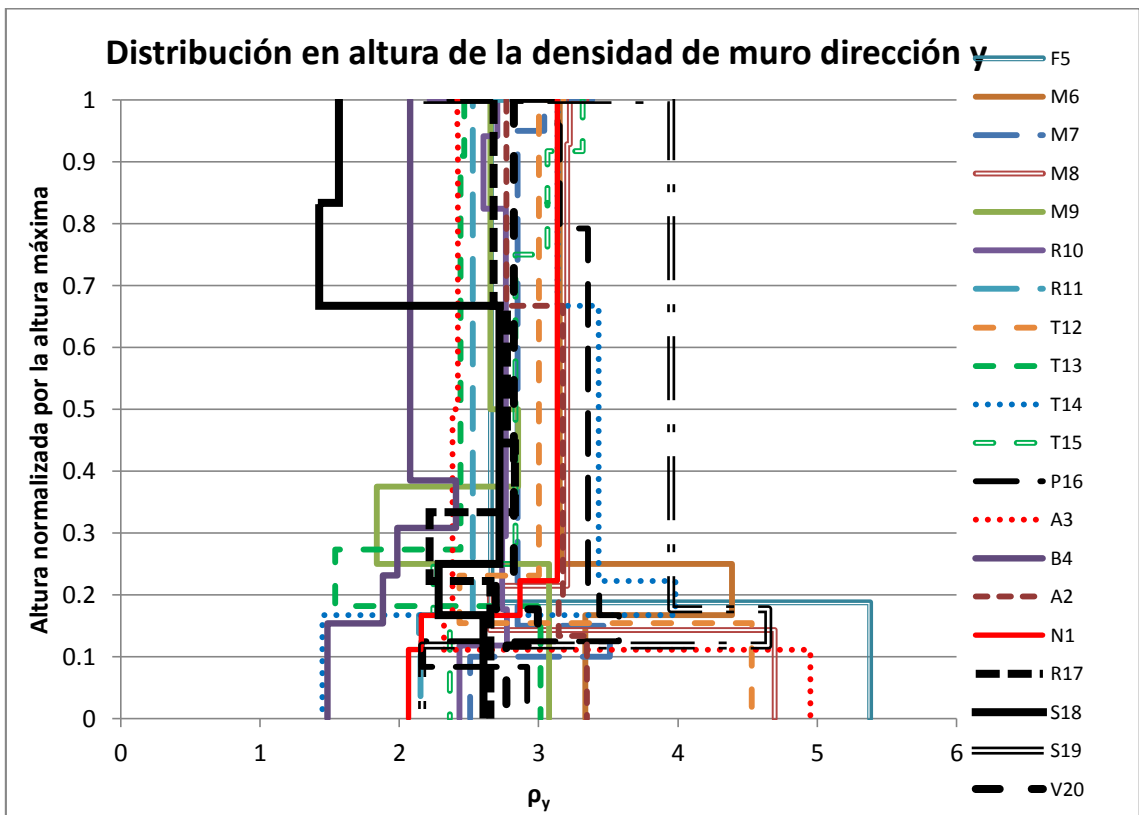


Figura 8.9 Distribución en altura de la densidad de muros dirección y ( $\rho_y$  [%])

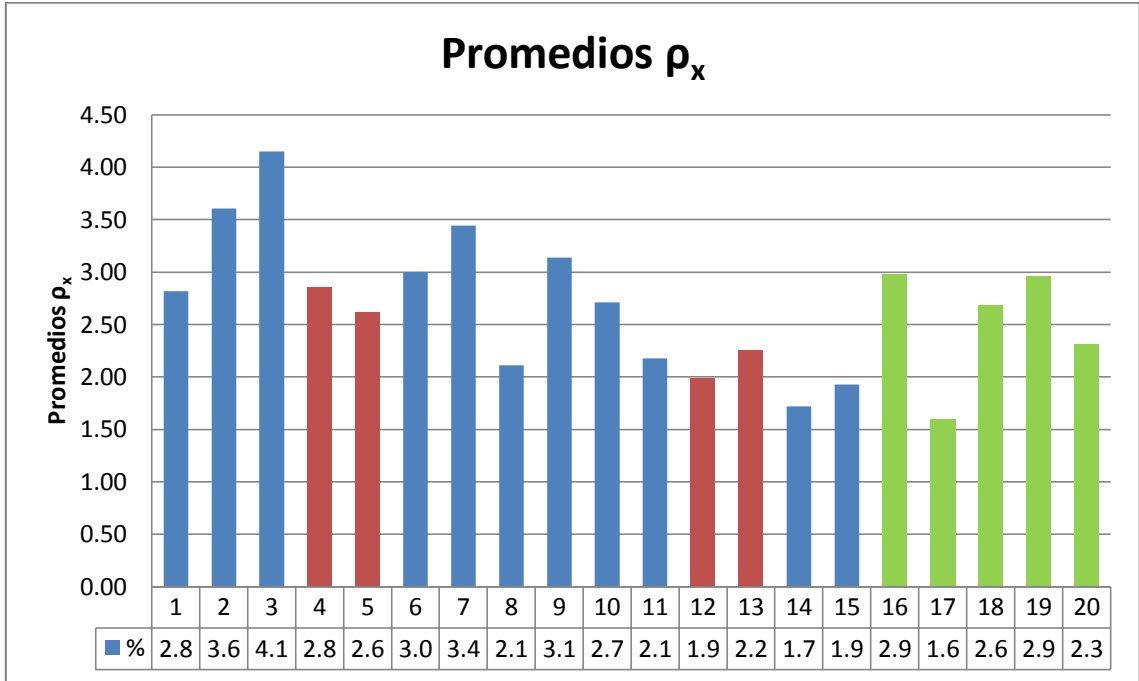


Figura 8.10 Densidad de muros promedio dirección x (se excluyen subterráneos) [%]

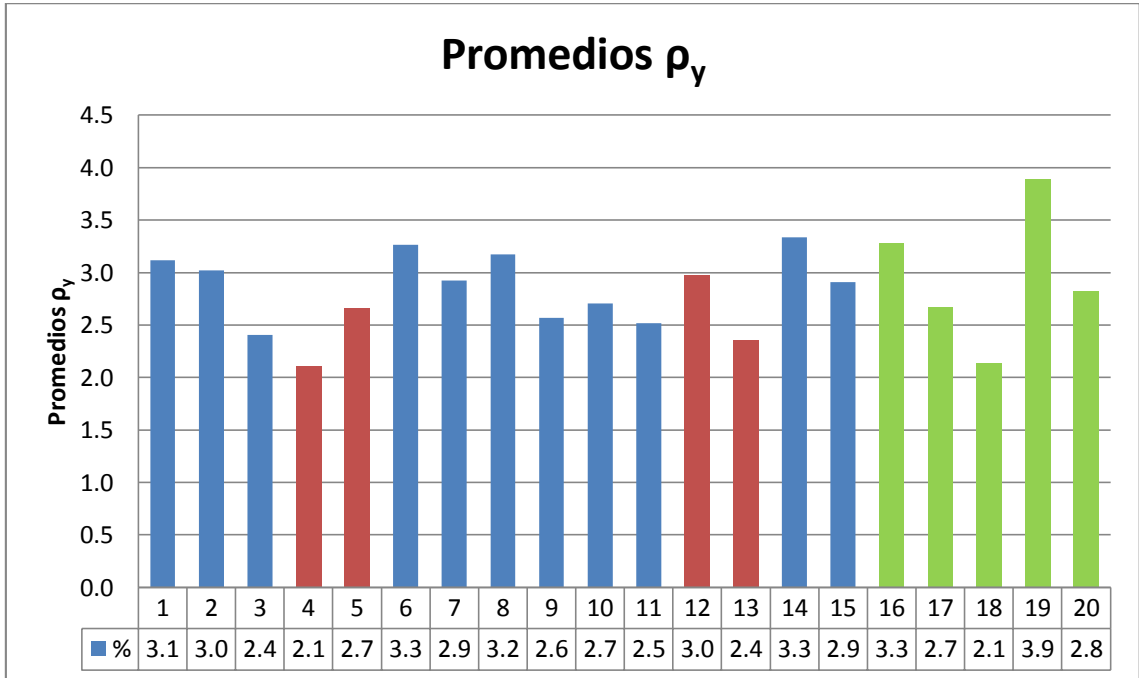
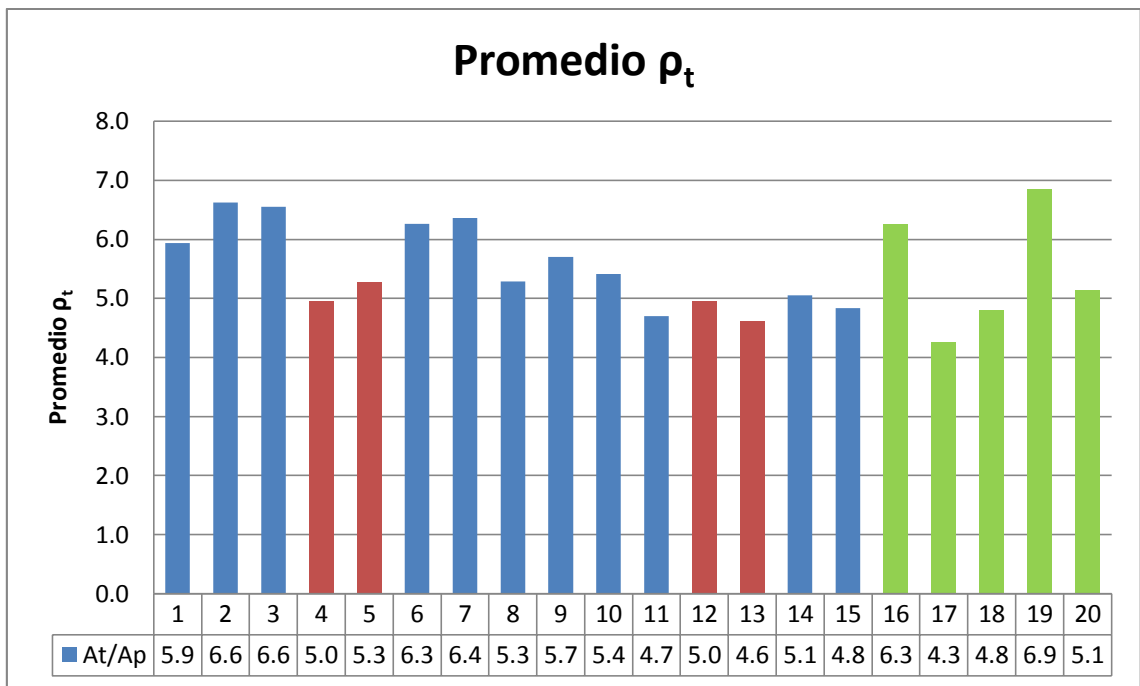


Figura 8.11 Densidad de muros promedio eje y (se excluyen subterráneos) [%]



**Figura 8.12 Densidad de muros total promedio (se excluyen subterráneos) [%]**

Promedios por rango de altura del edificio: Promedios $\rho_x$				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	3.1 (1)	1.6 (1)	2.4 (2)
11 a 14 pisos	2.4 (3)	2.3 (3)	2.7 (1)	2.4 (7)
15 a 18 pisos	2.6 (1)	2.9 (6)	2.6 (2)	2.8 (9)
más de 19 pisos	-	3.4 (1)	3 (1)	3.2 (2)
Promedios generales: Promedios $\rho_x$				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	2.4	2.8	2.5	2.7
Desviación estándar	0.4	0.8	0.6	0.7

**Tabla 8.6 Promedios de la densidad de muros eje x (se excluyen subterráneos) [%]**

Promedios por rango de altura del edificio: Promedios $\rho_y$				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	2.6 (1)	2.7 (1)	2.6 (2)
11 a 14 pisos	2.5 (3)	3.1 (3)	2.1 (1)	2.7 (7)
15 a 18 pisos	2.7 (1)	2.9 (6)	3.4 (2)	2.9 (9)
más de 19 pisos	-	2.9 (1)	3.3 (1)	3.1 (2)
Promedios generales: Promedios $\rho_y$				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	2.5	2.9	3.0	2.8
Desviación estándar	0.4	0.3	0.7	0.4

**Tabla 8.7 Promedios de la densidad de muros eje y (se excluyen subterráneos) [%]**

Promedios por rango de altura del edificio: Promedio $\rho_t$				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	5.7 (1)	4.3 (1)	5.0 (2)
11 a 14 pisos	4.8 (3)	5.5 (3)	4.8 (1)	5.1 (7)
15 a 18 pisos	5.3 (1)	5.7 (6)	6 (2)	5.7 (9)
más de 19 pisos	-	6.4 (1)	6.3 (1)	6.3 (2)
Promedios generales: Promedio $\rho_t$				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	5.0	5.7	5.5	5.5
Desviación estándar	0.3	0.7	1.1	0.8

**Tabla 8.8 Promedios de la densidad de muros (se excluyen subterráneos) [%]**

- **Comentario**

La distribución de los valores de densidad de muros es muy homogénea entre los distintos edificios. Su valor en promedio es cercano a 2.7% en ambas direcciones, con una desviación estándar de datos baja. La densidad total en promedio para la muestra es de 5.5%.

Considerando la baja desviación estándar de los datos, se puede observar que los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso tienen promedios de densidad de muros menores (5.0%) que aquellos con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes (5.7%) y que aquellos con buen desempeño (5.5%), dando un indicio que una densidad de muros reducida podría jugar un papel importante en el desempeño.

## 8.4 Densidad de muros en el piso crítico y dirección del daño observado

Se estudia ahora la densidad de muros en el piso crítico de los edificios, el que se consideró corresponde al piso 1 en todos los casos. Se trata de detectar posibles correlaciones entre la densidad de muros en el piso crítico con la dirección principal de los daños observados en los edificios.

La Tabla 8.9, en la columna 2, contiene el área de la planta del piso crítico. Las columnas 3 y 4 contienen las áreas de muro del piso crítico en dirección x e y, respectivamente. Las columnas 5 y 6 contienen la densidad de muros del piso crítico en ambas direcciones. En la última columna se indica la dirección predominante del daño en los edificios.

Bajo el supuesto de que una menor densidad de muros es menos favorable en el desempeño, se toman dos consideraciones para el análisis. La primera es destacar en negrita en la Tabla 8.9 aquellos valores donde el daño se encuentra en la misma dirección de la menor densidad de muros del edificio, y la segunda es destacar en rojo aquellos edificios cuya densidad de muros es menor a 2%.

La Figura 8.13 y Figura 8.14 muestran en gráficos de barras los valores de las densidades de muros para el piso crítico en ambas direcciones

Edificio	$A_{psc}$ [m <sup>2</sup> ]	$A_{xsc}$ [m <sup>2</sup> ]	$A_{yxc}$ [m <sup>2</sup> ]	$\rho_{xsc}$	$\rho_{yxc}$	Dirección del daño
1	411.8	11.8	11.9	2.9%	2.9%	y
2	750.3	28.7	25.1	3.8%	3.3%	x
3	550.0	25.1	13.1	4.6%	<b>2.4%</b>	y
4(*)	344.6	9.7	8.3	2.8%	<b>2.4%</b>	y
5(*)	924.4	23.4	24.6	2.5%	2.7%	y
6	278.1	11.8	12.2	4.2%	4.4%	y
7	444.2	16.3	15.6	3.7%	3.5%	x
8	430.4	6.7	11.4	<b>1.6%</b>	2.7%	<b>x</b>
9	288.2	9.6	5.3	3.3%	<b>1.8%</b>	<b>y</b>
10	508.3	10.7	14.1	2.1%	2.8%	y
11	438.9	7.8	9.4	<b>1.8%</b>	2.1%	y
12(*)	386.3	8.4	9.4	<b>2.2%</b>	<b>2.4%</b>	<b>x-y</b>
13(*)	558.3	10.2	8.6	<b>1.8%</b>	<b>1.5%</b>	<b>y</b>
14	497.1	9.6	19.8	<b>1.9%</b>	4.0%	<b>x-y</b>
15	387.9	7.4	8.7	<b>1.9%</b>	2.3%	y
16	576.0	17.4	20.6	3.0%	3.6%	-
17	419.8	5.7	9.3	<b>1.3%</b>	2.2%	-
18	289.4	7.1	6.6	2.5%	2.3%	-
19	421.7	12.5	19.6	3.0%	4.6%	-
20	307.3	6.5	9.2	2.1%	3.0%	-

Tabla 8.9 Densidad de muros del piso crítico [%]. (\*) Peligro de Colapso

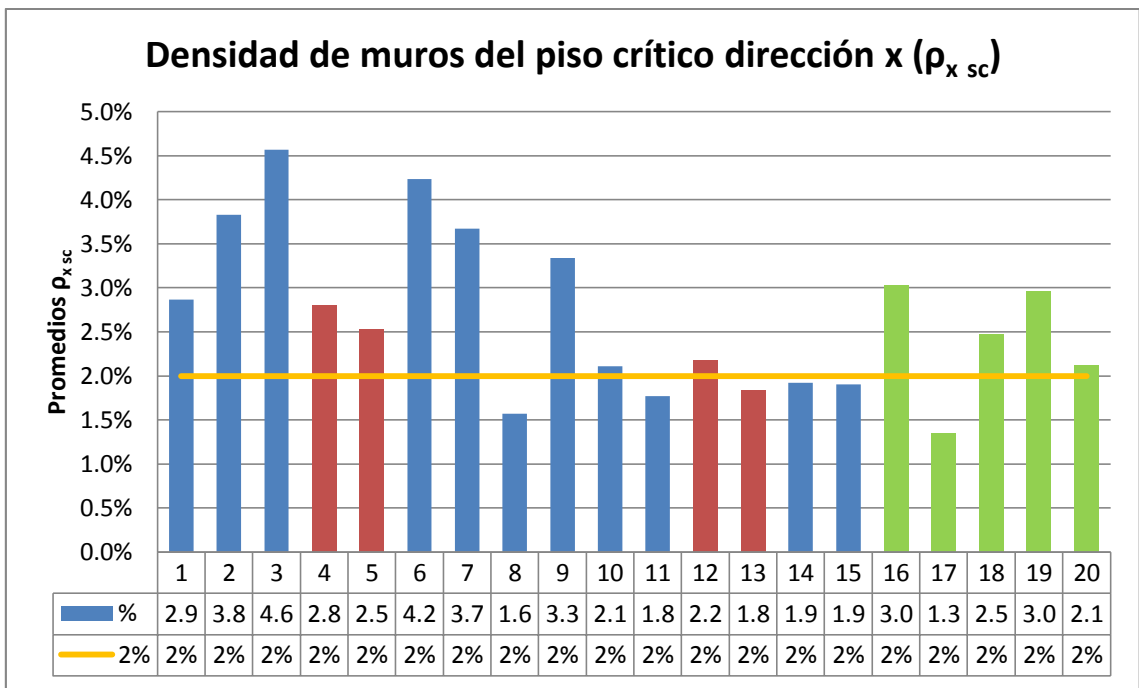


Figura 8.13 Densidad de muros del piso crítico dirección x [%]

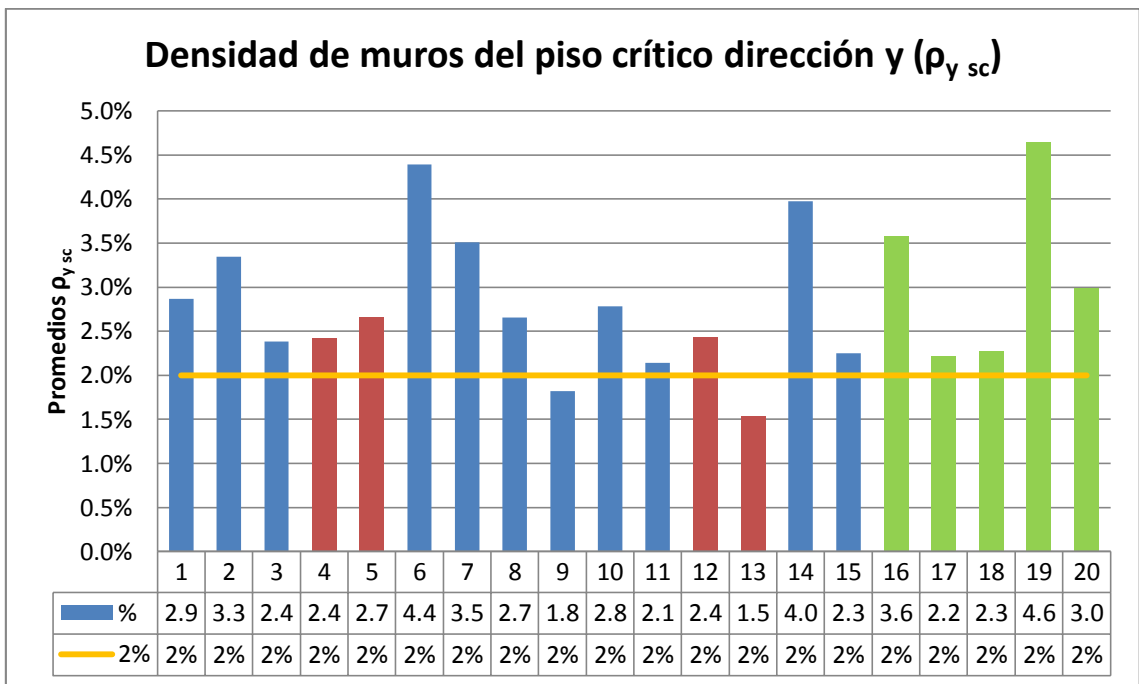


Figura 8.14 Densidad de muros del piso crítico dirección y [%]

- **Comentario**

Con respecto al análisis, se tiene que siete edificios tienen densidades de muro menor que 2% a lo menos en una dirección, entre ellos uno con buen desempeño. También se observa que

siete edificios tienen su menor densidad de muros coincidente con la dirección del daño, pero de éstos, solo cuatro tienen densidades de muro menores al 2%.

Si bien podría existir alguna correlación de la densidad de muros con los daños, no parece ser una correlación generalizada. Podría, tal vez, asociarse a casos particulares, como podría serlo para el edificio T13, el cual tuvo un nivel de desempeño Peligro de colapso y tiene una densidad de muros menor al 2% en ambas direcciones. Sin embargo no es una tendencia clara en los demás edificios.

## 8.5 Distribución de Muros en Planta

### 8.5.1 General

Como segunda parte en este capítulo se analiza la distribución de muros en la planta, la cual será medida mediante las inercias y radios de giro de la distribución de las secciones de muros en planta.

Se pretende determinar de qué modo podría haber influido la disposición de los muros en la planta en el desempeño de los edificios. Determinar si una distribución de elementos más equilibrada, más periférica o central, mejora o empeora el desempeño del edificio ante un sismo. Para determinar la distribución de muros en planta, se utilizan las inercias que proporcionan las secciones de muro en la planta. Las inercias también son relacionadas con algunos otros parámetros, como lo son el radio de giro y las longitudes en planta. Se tratará de determinar alguna correlación de esta propiedad con los daños y la direccionalidad de los mismos.

Las inercias y radios de giro se determinan en el piso crítico de cada edificio, correspondiente en todos los casos al piso 1.

### 8.5.2 Momentos de Inercia de las secciones de muro en planta

El momento de inercia refleja la distribución de masa de un cuerpo o de un sistema de partículas respecto a un eje de giro. Esta propiedad sólo depende de la geometría del cuerpo y de la ubicación del eje de giro.

El momento de inercia de área de una sección transversal de muro rectangular con respecto al eje perpendicular a su eje principal que pasa por su centro de masa, denominado para efectos de notación como inercia local  $I_{loc}$  es:

$$I_{loc} = \frac{bh^3}{12}$$

Donde  $b$  es la longitud de la sección en sentido del eje de giro, y  $h$  es la longitud de la sección en sentido perpendicular al eje (ver Figura 8.15).

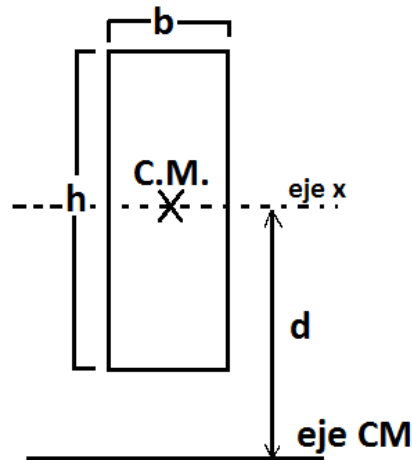
Ahora, para determinar el efecto de la inercia local a una distancia “ $d$ ” de un eje paralelo al eje local, se debe emplear la expresión:

$$I' = I_{loc} + Ad^2$$

Donde  $A$  es el área de la sección y  $d$  la distancia entre los ejes paralelos (ver Figura 8.15). El valor de “ $d$ ” que se considerará para el análisis, será la distancia entre el eje del centro de masas de la sección y el eje del centro de masas de la planta del edificio, para cada dirección de análisis. La suma de todas las inercias con respecto al eje que pasa por el centro de masas del piso se denominará Inercia Global  $I_{global}$ .

$$I_{global} = \sum I_{cm-i}$$

Donde  $I_{cm-i}$  es la inercia de la  $i$ -ésima sección de la planta del edificio con respecto al eje que pasa por el centro de masas del piso. Se tendrán entonces dos inercias globales, una con respecto al eje  $x$  y otra con respecto al eje  $y$ , para cada edificio. Para el cálculo de las inercias, se consideran todas las secciones de muro, independiente de su dirección, es decir, cada sección de muro aporta a la inercia de ambos ejes.



**Figura 8.15 Esquema de sección rectangular y su disposición con respecto al eje del centro de masas del piso**

Para los efectos sísmicos, la Inercia con respecto al eje  $y$ , se asocia al sismo en dirección  $x$ , mientras que la inercia con respecto al eje  $x$  se asocia al sismo en dirección  $y$ .

La Tabla 8.10 contiene la suma total de todas las inercias aportadas por cada sección de muro en la planta del piso crítico. Las columnas 2, 3 y 4 contienen las sumas de las inercias locales con respecto al eje  $y$ , al eje  $x$  y la suma de ellas en ambos ejes (inercias totales). Las columnas 5, 6 y 7, contienen la inercia global con respecto a cada dirección, y para la suma de ellas en ambos ejes (inercia global total), respectivamente.

La Figura 8.16 y Figura 8.17 muestran la suma de las inercias locales de la planta para el eje  $x$  e  $y$ , respectivamente, mientras que la Figura 8.18 y Figura 8.19 muestran las inercias globales en cada dirección respectiva.

Edificio	Inercia local c/r eje x (sismo y) [m <sup>4</sup> ]	Inercia local c/r eje y (sismo x) [m <sup>4</sup> ]	Inercia local total [m <sup>4</sup> ]	Inercia global c/r eje x (sismo y) [m <sup>4</sup> ]	Inercia global c/r eje y (sismo x) [m <sup>4</sup> ]	Inercia global total [m <sup>4</sup> ]
1	22.9	32.7	55.6	336.8	2312.2	2649.0
2	60.2	90.1	150.3	1148.9	11801.5	12950.4
3	24.9	148.8	173.7	1299.6	2950.4	4250.0
4(*)	16.4	18.8	35.2	360.6	640.6	1001.2
5(*)	44.6	94.2	138.8	1297.8	10436.4	11734.2
6	10.7	31.4	42.1	204.5	2108.6	2313.0
7	88.9	57.1	146.0	867.4	2608.0	3475.4
8	22.4	15.7	38.0	438.4	1191.6	1629.9
9	5.0	47.0	52.0	124.6	1060.9	1185.6
10	14.5	10.3	24.8	877.1	1474.4	2351.4
11	8.5	3.6	12.1	373.7	964.7	1338.4
12(*)	9.8	8.7	18.5	382.5	561.9	944.4
13(*)	11.0	26.0	37.0	203.5	1755.0	1958.5
14	56.6	14.8	71.4	385.7	3921.4	4307.1
15	11.7	28.5	40.2	162.7	1151.4	1314.1
16	45.5	41.1	86.6	992.3	3402.1	4394.4
17	21.6	8.9	30.5	264.6	693.4	958.0
18	5.6	9.8	15.5	100.3	646.6	746.9
19	12.7	19.2	32.0	405.4	3291.2	3696.6
20	38.3	6.0	44.3	196.4	833.7	1030.1

Tabla 8.10 Inercias locales y globales en ambas direcciones. (\*) Peligro de Colapso

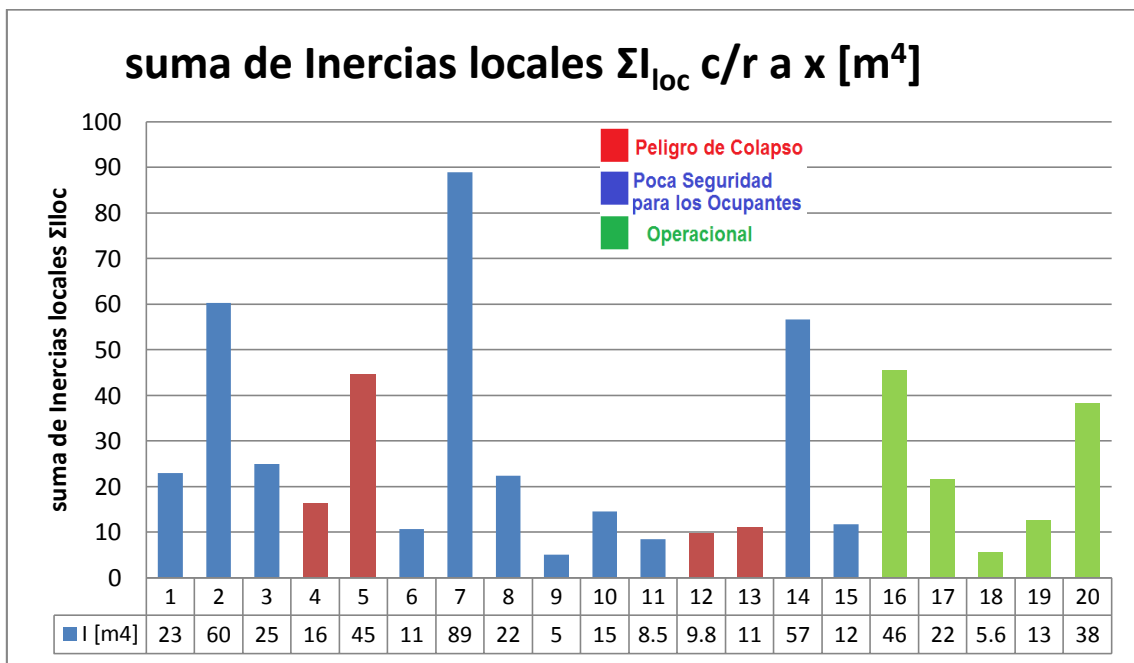


Figura 8.16 suma de Inercias locales  $\Sigma I_{loc}$  con respecto a x (sismo y) [m<sup>4</sup>]

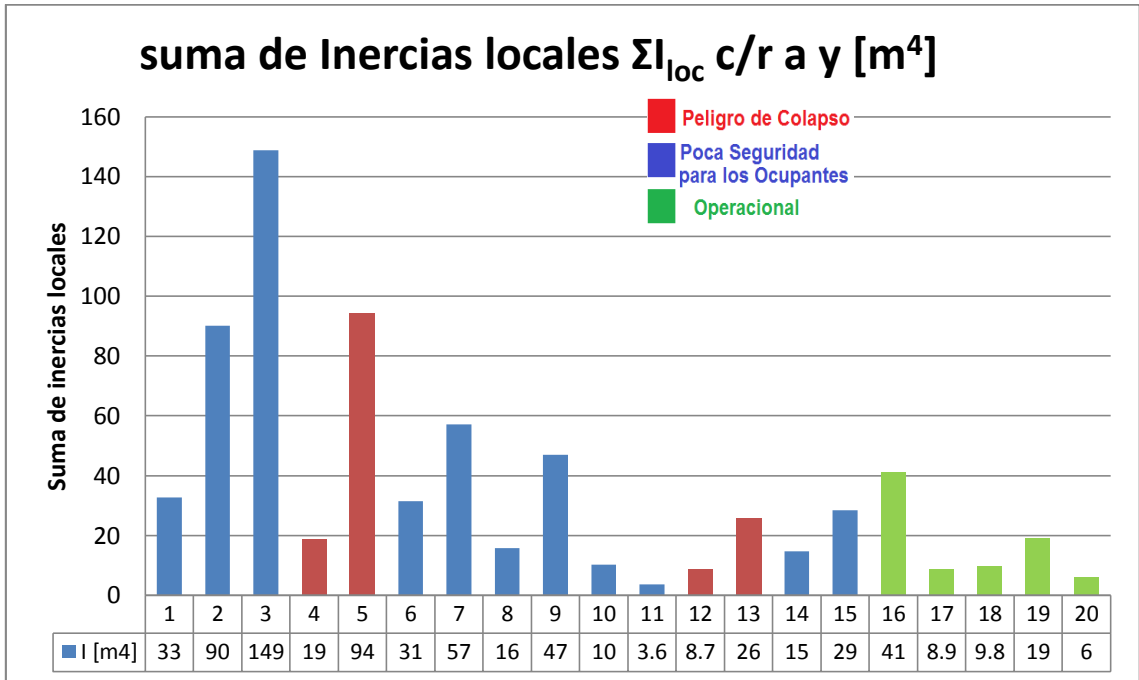


Figura 8.17 suma de Inercias locales  $\Sigma I_{loc}$  con respecto a y (sismo x) [m<sup>4</sup>]

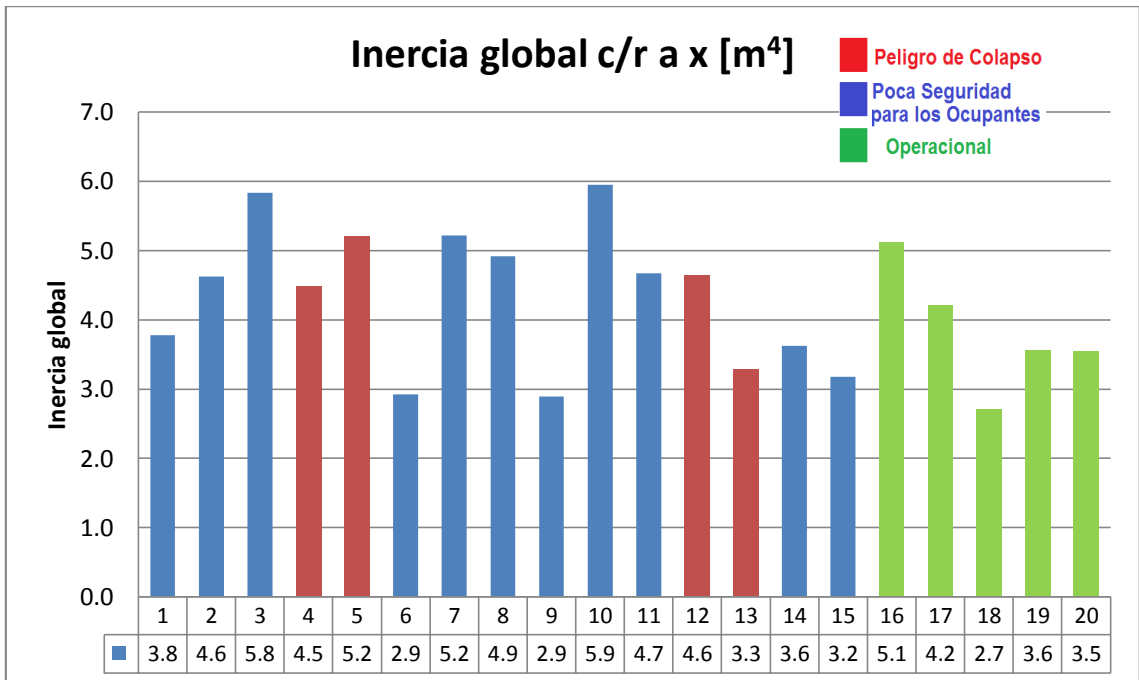


Figura 8.18 suma de Inercias globales  $\Sigma I_{glob}$  con respecto a x (sismo y) [m<sup>4</sup>]

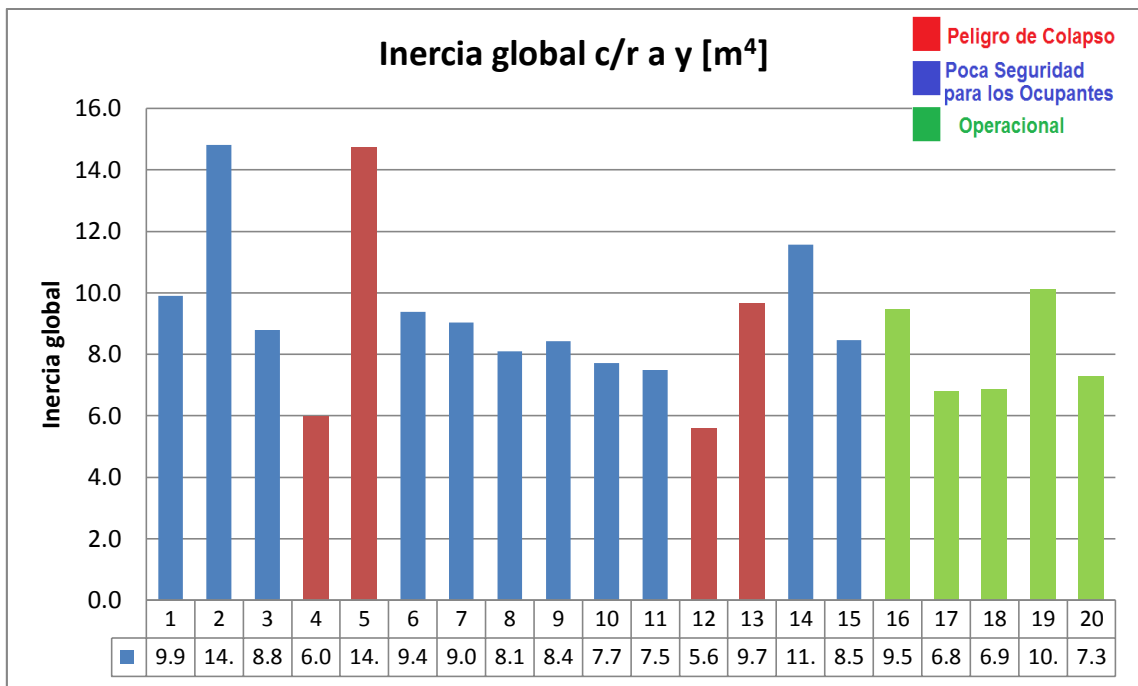


Figura 8.19 suma de Inercias globales  $\Sigma I_{glob}$  con respecto a y (sismo x) [ $m^4$ ]

- **Comentario**

Debido a la gran dispersión en los datos, no es posible detectar tendencias de manera clara, por ello es necesario buscar una forma por medio de la cual sea posible comparar las inercias en una misma escala. Para ello se emplea el radio de giro.

### 8.5.3 Radio de giro de muros en planta

El radio de giro describe la forma en la cual el área transversal o una distribución de masa se distribuye alrededor de su eje centroidal. El radio de giro de un área con respecto a un eje particular es igual a la raíz cuadrada del cociente del segundo momento de área dividido por el área:

$$i_g = \sqrt{\frac{I_{global}}{A_{tm}}}$$

Donde  $I_{global}$  corresponde a la inercia global calculada anteriormente para cada edificio en cada dirección y  $A_{tm}$  (área total de muros) es la suma total de las áreas en planta de cada sección de muro en el edificio.

Se tienen entonces dos valores para el radio de giro en los edificios, uno para cada eje. Además se tiene el radio de giro total, el cual se calcula considerando la inercia total como la suma de inercias en ambos ejes.

En la Tabla 8.11 se presentan los valores de las inercias globales, en ambas direcciones y las totales, respectivamente para las columnas 2, 3 y 4. Se presenta también, el área total de muros en la planta del piso crítico en análisis, esto en la columna 5. En las columnas 6 a 8, se presentan los valores de los radios de giro, con respecto al eje x, eje y, y los totales.

Las Figura 8.20, Figura 8.21 y Figura 8.22 muestran los valores de los radios de giro con respecto al eje x, eje y y totales, respectivamente. La Tabla 8.12, Tabla 8.13 y Tabla 8.14, contienen los promedios por rango de pisos y por nivel de desempeño de los radios de giro con respecto al eje x, eje y y totales, respectivamente (recordar que los radios de giro totales no son la suma directa de aquellos con respecto a los ejes)

Edificio	Inercia global c/r eje x [m <sup>4</sup> ]	Inercia global c/r eje y [m <sup>4</sup> ]	Inercia global total [m <sup>4</sup> ]	Área total de muros sc [m <sup>2</sup> ]	$i_g c/r$ eje x [m]	$i_g c/r$ eje y [m]	$i_g c/r$ total [m]	Dirección del daño
1	336.8	2312.2	2649	23.60	3.8	9.9	10.6	y
2	1148.9	11801.5	12950.4	53.81	4.6	14.8	15.5	x
3	1299.6	2950.4	4250	38.22	5.8	8.8	10.5	y
4(*)	360.6	640.6	1001.2	17.95	4.5	6.0	7.5	y
5(*)	1297.8	10436.4	11734.2	47.97	5.2	14.7	15.6	y
6	204.5	2108.6	2313	23.98	2.9	9.4	9.8	y
7	867.4	2608	3475.4	31.90	5.2	9.0	10.4	x
8	438.4	1191.6	1629.9	18.15	4.9	8.1	9.5	x
9	124.6	1060.9	1185.6	14.92	2.9	8.4	8.9	y
10	877.1	1474.4	2351.4	24.82	5.9	7.7	9.7	y
11	373.7	964.7	1338.4	17.16	4.7	7.5	8.8	y
12(*)	382.5	561.9	944.4	17.80	4.6	5.6	7.3	x-y
13(*)	203.5	1755	1958.5	18.84	3.3	9.7	10.2	y
14	385.7	3921.4	4307.1	29.35	3.6	11.6	12.1	x-y
15	162.7	1151.4	1314.1	16.08	3.2	8.5	9.0	y
16	992.3	3402.1	4394.4	38.01	5.1	9.5	10.8	-
17	264.6	693.4	958	14.95	4.2	6.8	8.0	-
18	100.3	646.6	746.9	13.74	2.7	6.9	7.4	-
19	405.4	3291.2	3696.6	32.06	3.6	10.1	10.7	-
20	196.4	833.7	1030.1	15.70	3.5	7.3	8.1	-

**Tabla 8.11 Radio de giro  $i_g$  de muros en planta. (\*) Peligro de Colapso**

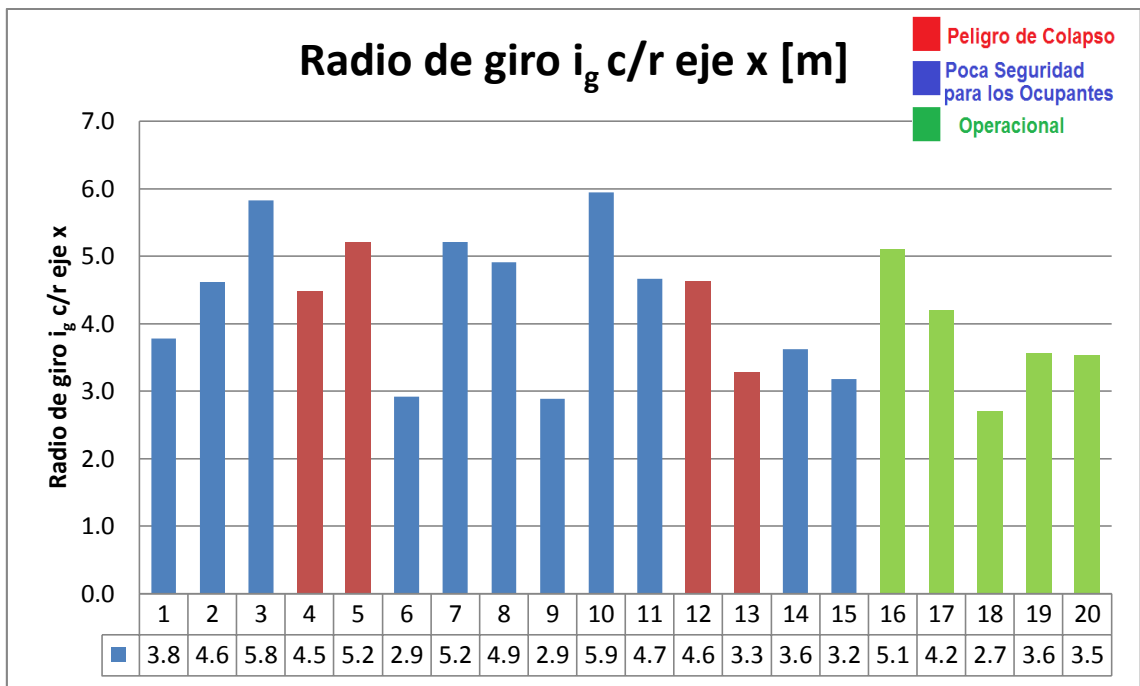


Figura 8.20 Radio de giro  $i_g$  con respecto al eje x

Promedios por rango de altura del edificio: Radio de giro $i_g$ c/r eje x [m]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	2.9 (1)	4.2 (1)	3.5 (2)
11 a 14 pisos	4.1 (3)	3.7 (3)	2.7 (1)	3.7 (7)
15 a 18 pisos	5.2 (1)	4.7 (6)	3.5 (2)	4.5 (9)
más de 19 pisos	-	5.2 (1)	5.1 (1)	5.2 (2)
Promedios generales: Radio de giro $i_g$ c/r eje x [m]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	4.4	4.3	3.8	4.2
Desviación estándar	0.8	1.1	0.9	1.0

Tabla 8.12 Promedios del radio de giro  $i_g$  con respecto al eje x

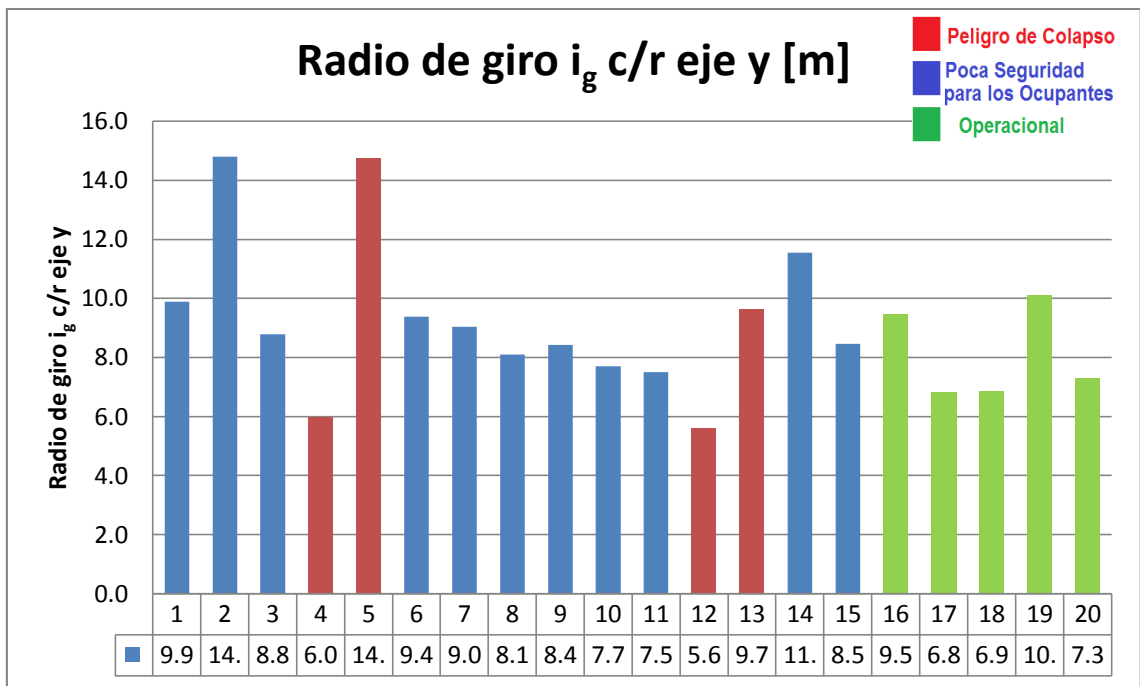


Figura 8.21 Radio de giro  $i_g$  con respecto al eje y

Promedios por rango de altura del edificio: Radio de giro c/r eje y [m]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	8.4 (1)	6.8 (1)	7.6 (2)
11 a 14 pisos	7.1 (3)	8.6 (3)	6.9 (1)	7.7 (7)
15 a 18 pisos	14.7 (1)	10 (6)	8.7 (2)	10.3 (9)
más de 19 pisos	-	9 (1)	9.5 (1)	9.3 (2)
Promedios generales: Radio de giro c/r eje y [m]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	9.0	9.4	8.1	9.0
Desviación estándar	4.2	2.1	1.6	2.5

Tabla 8.13 Promedios del radio de giro  $i_g$  con respecto al eje y

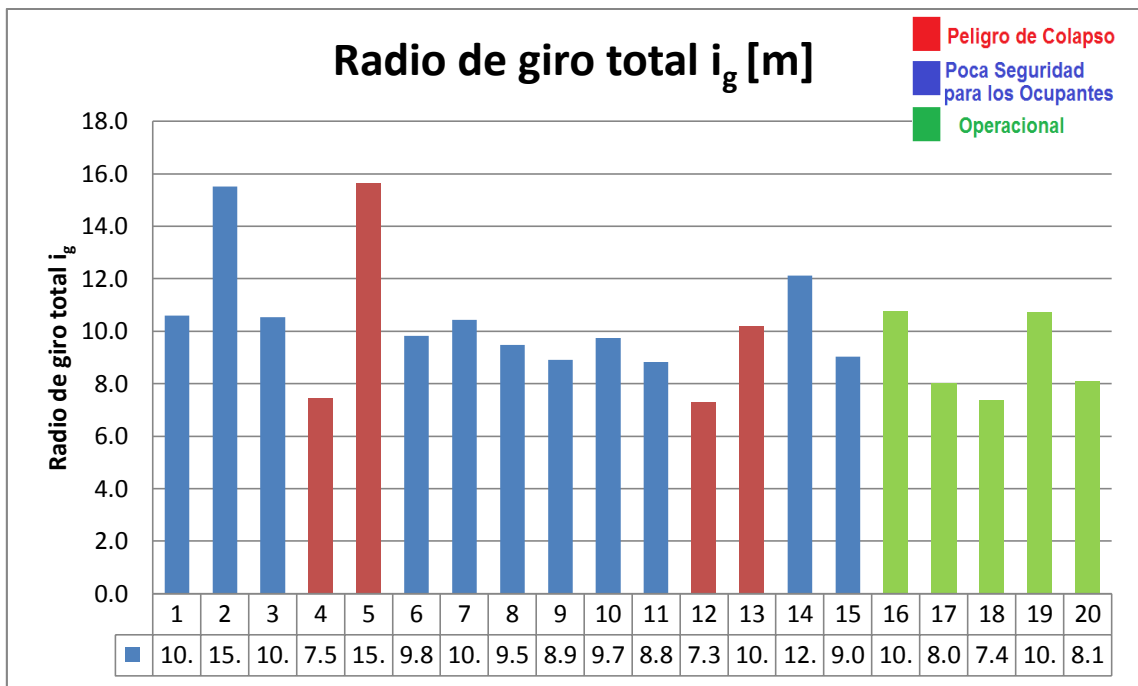


Figura 8.22 Radio de giro  $i_g$  total

Promedios por rango de altura del edificio: Radio de giro total [m]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	8.9 (1)	8 (1)	8.5 (2)
11 a 14 pisos	8.3 (3)	9.4 (3)	7.4 (1)	8.7 (7)
15 a 18 pisos	15.6 (1)	11.2 (6)	9.4 (2)	11.3 (9)
más de 19 pisos	-	10.4 (1)	10.8 (1)	10.6 (2)
Promedios generales: Radio de giro total [m]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	10.1	10.5	9.0	10.0
Desviación estándar	3.9	1.9	1.6	2.3

Tabla 8.14 Promedios del radio de giro  $i_g$  total

- **Comentario**

El radio de giro es una buena medida de la distribución de los muros en la planta, y además permite compararlos con valores mucho más manejables en una misma escala.

Todos los radios de giro son mayores con respecto al “eje y” asociado al sismo en x, lo que habría de esperarse, ya que los valores de inercias globales serán mayores mientras más alejado se halle la sección del eje de giro, y al ser la dirección x la de mayor longitud, permite a los elementos más alejados del centro de masas en dicho eje, generar una distancia mayor con respecto al eje perpendicular que pasa por el centro de masas del piso.

Con respecto a los promedios, se observa una relativa homogeneidad en los valores, se tienen promedios de 4.2, 9.0 y 10.0 para los radios de giro con respecto al eje x, con respecto al eje y, y total, respectivamente. Cabe mencionar que la desviación estándar es baja.

Con respecto a la correlación con los daños, no se observa una tendencia clara.

#### 8.5.4 Radio de giro sobre la altura del edificio

Se analiza ahora la relación del radio de giro con la altura del edificio, también se pretende buscar alguna correlación con los daños observados en los edificios. Se analizan ambos ejes del edificio.

La Tabla 8.15 contiene los radios de giro con respecto a ambos ejes, la altura de los edificios, la relación entre los radios de giro y las alturas, y la dirección predominante del daño en los edificios, respectivamente para cada columna.

La Figura 8.23 y Figura 8.24 grafican la relación de radios de giros y alturas, con respecto al eje x e y, respectivamente.

La Tabla 8.16 y Tabla 8.17 contienen los promedios por rango de pisos y por nivel de desempeño para esta variable.

Se esperaría que valores mayores para esta variable, sean más favorables para los edificios.

Edificio	$i_g c/r$ eje x	$i_g c/r$ eje y	Altura H [m]	$i_g c/r$ eje x /H <sub>t</sub> [m/m]	$i_g c/r$ eje y /H <sub>t</sub> [m/m]	Dirección del daño
1	3.8	9.9	46.5	8.1	21.3	y
2	4.6	14.8	44.0	10.5	33.7	x
3	5.8	8.8	46.9	12.4	18.7	y
4(*)	4.5	6.0	35.5	12.6	16.8	y
5(*)	5.2	14.7	44.2	11.8	33.4	y
6	2.9	9.4	31.0	9.4	30.3	y
7	5.2	9.0	52.4	10.0	17.3	x
8	4.9	8.1	36.3	13.5	22.3	x
9	2.9	8.4	21.0	13.7	40.1	y
10	5.9	7.7	43.8	13.6	17.6	y
11	4.7	7.5	48.9	9.5	15.3	y
12(*)	4.6	5.6	34.4	13.5	16.3	x-y
13(*)	3.3	9.7	30.7	10.7	31.5	y
14	3.6	11.6	47.3	7.7	24.5	x-y
15	3.2	8.5	32.3	9.8	26.2	y
16	5.1	9.5	61.0	8.4	15.5	-
17	4.2	6.8	23.5	17.9	29.0	-
18	2.7	6.9	31.2	8.7	22.0	-
19	3.6	10.1	43.2	8.2	23.5	-
20	3.5	7.3	43.7	8.1	16.7	-

Tabla 8.15 Radio de giro  $i_g$  sobre la altura H<sub>t</sub>

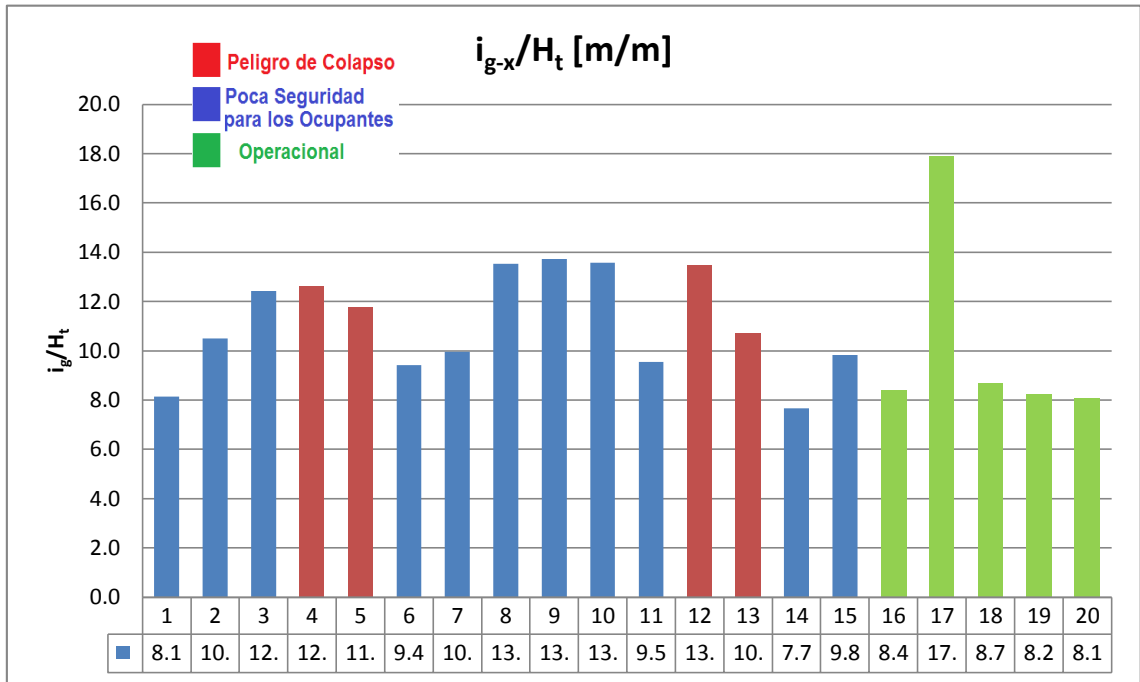


Figura 8.23 Radio de giro  $i_g$  c/r al eje x sobre la altura del edificio

Promedios por rango de altura del edificio: $i_{gx}/H_t$ [m/m]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	13.7 (1)	17.9 (1)	15.8 (2)
11 a 14 pisos	12.3 (3)	10.9 (3)	8.7 (1)	11.2 (7)
15 a 18 pisos	11.8 (1)	10.3 (6)	8.2 (2)	10 (9)
más de 19 pisos	-	10 (1)	8.4 (1)	9.2 (2)
Promedios generales: $i_{gx}/H_t$ [m/m]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	12.1	10.8	10.3	10.9
Desviación estándar	1.2	2.2	4.3	2.7

Tabla 8.16 Radio de giro  $i_g$  con respecto al eje x sobre la altura

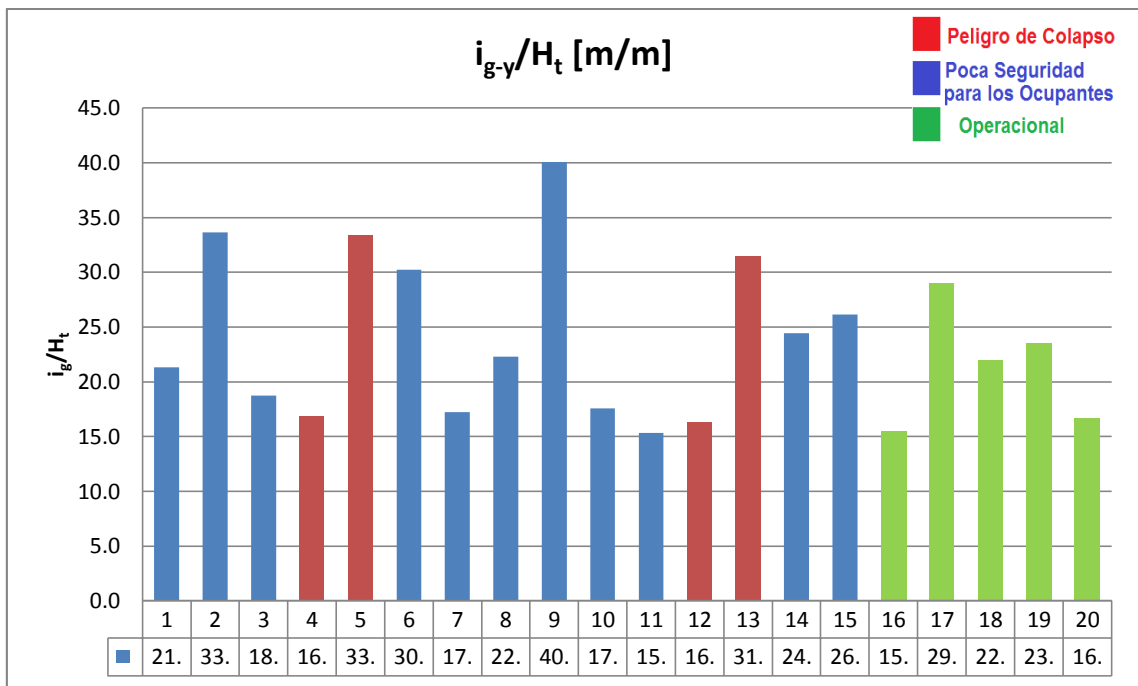


Figura 8.24 Radio de giro c/r al eje y sobre la altura del edificio

Promedios por rango de altura del edificio: $i_{gy}/H_t$ [m/m]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	40.1 (1)	29 (1)	34.5 (2)
11 a 14 pisos	21.5 (3)	26.2 (3)	22 (1)	23.6 (7)
15 a 18 pisos	33.4 (1)	21.8 (6)	20.1 (2)	22.7 (9)
más de 19 pisos	-	17.3 (1)	15.5 (1)	16.4 (2)
Promedios generales: $i_{gy}/H_t$ [m/m]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	24.5	24.3	21.3	23.6
Desviación estándar	9.2	7.7	5.5	7.3

Tabla 8.17 Radio de giro  $i_g$  con respecto al eje y sobre la altura

- **Comentario**

En todos los casos el valor de esta variable es mayor con respecto al eje y. Los promedios son menores para los edificios con buen desempeño. La desviación estándar de los datos no es tan alta.

Se observa que los promedios son 10.9 y 23.6 para la relación entre el radio de giro y la altura con respecto al eje x e y, respectivamente. No se observa alguna diferencia significativa entre los diferentes niveles de desempeño. Se tiene que los valores de los edificios con buen desempeño, son ligeramente menores. Tampoco se observa alguna correlación con la dirección del daño.

### 8.5.5 Radio de giro sobre el ancho de planta

Se pretende ahora, realizar el mismo análisis anterior, pero considerando la relación entre el radio de giro y la longitud de la planta en ambas direcciones. El radio de giro con respecto al eje x, será dividido por la longitud de la planta en dirección y, ya que ese eje analizado y esa dirección se asocian a la misma dirección del sismo en “y”. Lo mismo para el radio de giro con respecto al eje y, se divide por la longitud en dirección x. Las longitudes consideradas son las máximas en cada dirección.

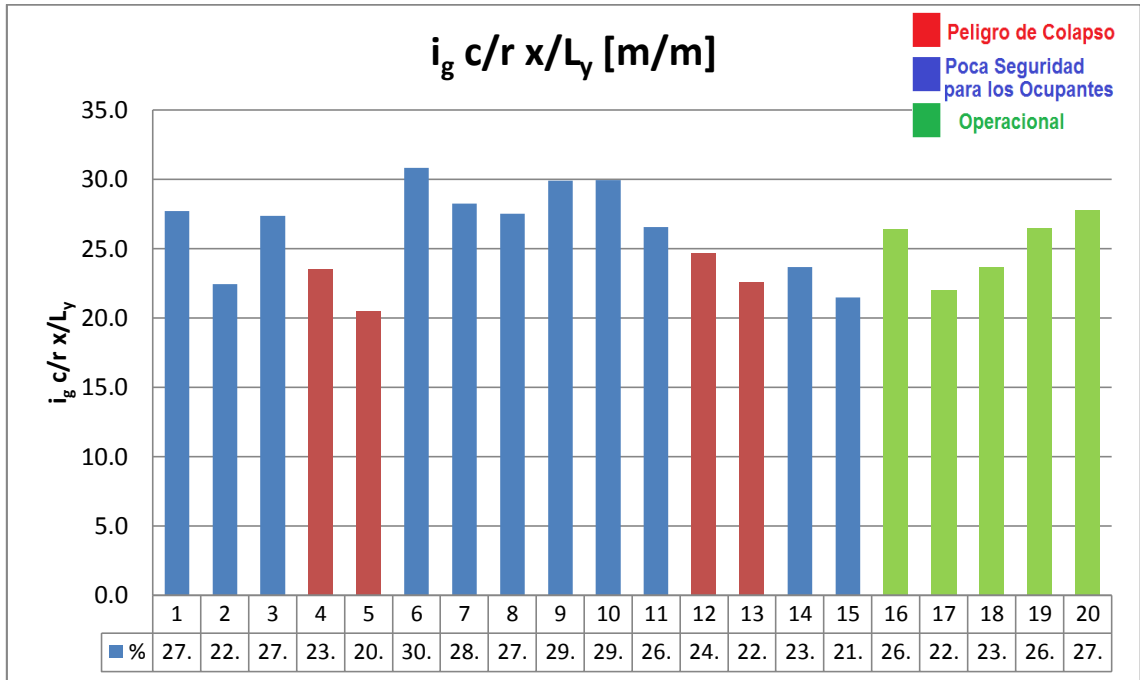
La Tabla 8.18 contiene los radios de giro con respecto a ambos ejes, la longitud en planta de los edificios en ambos ejes, la relación entre los radios de giro y longitudes, y la dirección predominante del daño en los edificios, respectivamente para cada columna. Se destacan los menores valores.

La Figura 8.25 y Figura 8.26 muestran los valores del cociente entre los radios de giros y las longitudes de las plantas para ambas direcciones.

La Tabla 8.19 y Tabla 8.20 contienen los promedios por rango de pisos y por nivel de desempeño para esta variable.

Edificio	$i_g$ c/r eje x [m]	$i_g$ c/r eje y [m]	Longitud dirección y [m]	Longitud dirección x [m]	$i_g$ c/r eje x /Ly [m/m]	$i_g$ c/r eje y /Lx [m/m]	Dirección del daño
1	3.8	9.9	13.7	34.3	0.28	0.29	y
2	4.6	14.8	20.5	53.3	0.22	0.28	x
3	5.8	8.8	21.2	31.4	0.27	0.28	y
4(*)	4.5	6.0	19.1	19.6	0.24	0.31	y
5(*)	5.2	14.7	25.4	48.8	0.20	0.30	y
6	2.9	9.4	9.4	30.6	0.31	0.31	y
7	5.2	9.0	18.4	33	0.28	0.27	x
8	4.9	8.1	17.8	27.8	0.28	0.29	x
9	2.9	8.4	9.7	29.8	0.30	0.28	y
10	5.9	7.7	19.7	27.7	0.30	0.28	y
11	4.7	7.5	17.7	29.3	0.27	0.26	y
12(*)	4.6	5.6	18.6	25.9	0.25	0.22	x-y
13(*)	3.3	9.7	14.6	38	0.23	0.26	y
14	3.6	11.6	15.2	37.8	0.24	0.31	x-y
15	3.2	8.5	14.9	27.6	0.21	0.31	y
16	5.1	9.5	19.3	32.3	0.26	0.29	-
17	4.2	6.8	19.1	23.6	0.22	0.29	-
18	2.7	6.9	11.4	23	0.24	0.30	-
19	3.6	10.1	13.6	38	0.26	0.27	-
20	3.5	7.3	12.6	26.1	0.28	0.28	-

Tabla 8.18 Radio de giro  $i_g$  sobre la longitud en planta



**Figura 8.25** Radio de giro  $i_g c/r$  al eje x sobre la longitud en dirección y

Promedios por rango de altura del edificio: $i_g c/r x/L_y$ [m/m]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	29.9 (1)	22 (1)	25.9 (2)
11 a 14 pisos	23.6 (3)	26.6 (3)	23.7 (1)	24.9 (7)
15 a 18 pisos	20.5 (1)	26.3 (6)	27.1 (2)	25.8 (9)
más de 19 pisos	-	28.3 (1)	26.4 (1)	27.3 (2)
Promedios generales: $i_g c/r x/L_y$ [m/m]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	22.8	26.9	25.3	25.7
Desviación estándar	1.8	3.1	2.4	3.1

**Tabla 8.19** Promedios del radio de giro  $i_g$  con respecto al eje x sobre la longitud en planta en eje y

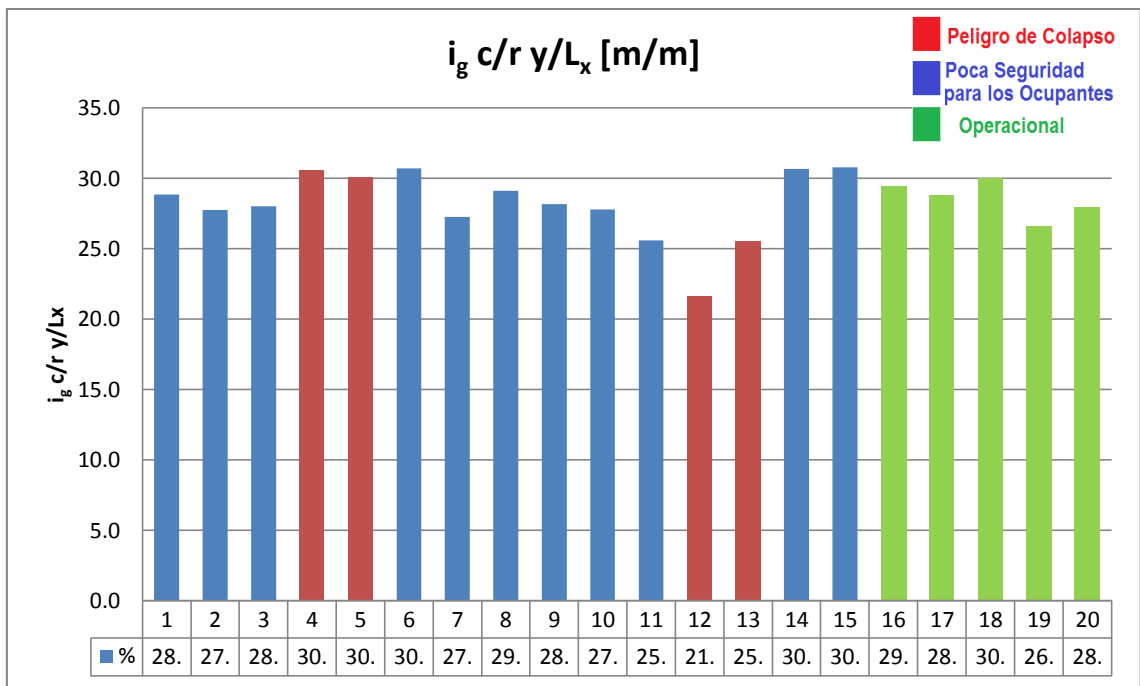


Figura 8.26 Promedios del radio de giro  $i_g c/r$  al eje  $y$  sobre la longitud en dirección  $x$

Promedios por rango de altura del edificio: $i_g c/r y/L_x$ [m/m]				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	28.2 (1)	28.8 (1)	28.5 (2)
11 a 14 pisos	25.9 (3)	30.2 (3)	30 (1)	28.3 (7)
15 a 18 pisos	30.1 (1)	28.1 (6)	27.3 (2)	28.2 (9)
más de 19 pisos	-	27.3 (1)	29.4 (1)	28.3 (2)
Promedios generales: $i_g c/r y/L_x$ [m/m]				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	27.0	28.6	28.6	28.3
Desviación estándar	4.2	1.6	1.3	2.3

Tabla 8.20 Radio de giro  $i_g$  con respecto al eje  $y$  sobre la longitud en planta en eje  $x$

- Comentario

Se observa que la relación entre los radios de giro sobre las longitudes es bastante homogénea entre los edificios. Se tiene que el radio de giro con respecto al eje  $x$  sobre la longitud en dirección  $y$  presenta un promedio para la muestra de 0.26 [m/m], mientras que para los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso se tiene un promedio un poco menor igual a 0.23 [m/m]. Los radios de giro con respecto al eje  $y$  sobre la longitud en dirección  $x$ , tienen en promedio para la muestra un valor de 0.28, y para los edificios con nivel de desempeño Peligro de colapso, nuevamente el promedio es ligeramente menor. La desviación estándar de los datos es baja.

La dirección más débil está asociada a la dirección y. Se esperaba que valores menores para esta variable puedan ser asociados al daño, sin embargo no existe una diferencia muy significativa entre los diferentes niveles de desempeño.

Se observa que cinco edificios tienen el valor de esta relación igual o menor a 0.22, cuatro en dirección y, y uno en dirección x. Dos de estos cinco edificios tienen nivel de desempeño Peligro de Colapso, otros dos, Poca Seguridad para los Ocupantes y el otro, Operacional.

No hay mucho que mencionar con respecto a la direccionalidad del daño relacionada con esta variable.

Si bien es cierto, dos edificios con nivel de desempeño Peligro de colapso tienen un valor menor en esta relación, no es una diferencia muy significativa y no se podría asociar directamente a los daños observados.

### **8.5.6 Conclusiones**

En general, la correlación de las variables estudiadas con los daños observados no es muy significativa, sin embargo una variable relacionada con la densidad de muros presenta una correlación un poco más significativa que el resto. La variable en cuestión es la baja densidad de muros (menor al 2%) presente en seis edificios con mal desempeño, de los cuales en cuatro se encuentra en la misma dirección de los daños observados.

## 9 IRREGULARIDADES DE LOS EDIFICIOS

### 9.1 General

Existe evidencia que una estructura regular posee un mejor desempeño sísmico que una estructura menos regular, principalmente porque ante un sismo no presenta concentraciones de esfuerzos ni deformaciones significativas en sectores o elementos vulnerables. Una estructura regular idealmente no posee pisos ni elementos estructurales vulnerables o débiles en relación al resto de los elementos. Y si existen estos elementos vulnerables, no debiesen ser importantes en la estabilidad global del edificio. Entre otros aspectos, en su comportamiento sísmico deberían predominar los primeros modos traslacionales de vibrar por sobre los torsionales. Si bien todo lo anterior no garantiza un buen desempeño, bajo las mismas condiciones constructivas y de diseño, se esperaría que una estructura regular tenga un mejor desempeño que una irregular ante el mismo evento sísmico.

Existen en la literatura normas de diseño y sugerencias de criterios que pretenden evaluar posibles características que pueden ser consideradas como irregulares en las estructuras. En general, los aspectos que se propone evaluar en las diferentes fuentes son muy similares entre sí, variando en algunos casos solamente el valor límite que define una característica como irregular. Entre las normas que proponen procedimientos para identificar irregularidades, están la 2012/2015 IBC, NBCC 2010 y la ASCE 7 2010.

En el presente capítulo se presenta una descripción y evaluación de aspectos que pueden ser considerados como irregulares en los edificios estudiados. A este efecto se utilizó las disposiciones de la norma ASCE 7 2010, dado que contempla una mayor cantidad de índices. Los índices calculados para cada fuente de irregularidad se revisan con respecto al desempeño observado del edificio.

### 9.2 Índices de Irregularidad geométrica según ASCE 7 2010

En esta sección se describen los índices definidos en el ASCE 7 2010. Se define dos categorías de irregularidades: en planta y verticales. Cada una de ellas tiene cinco tipos. Las irregularidades en planta incluyen la torsional, por entradas en planta, por discontinuidad en diafragmas, por elementos fuera de plano y por sistemas resistentes no paralelos. Para la categoría de irregularidades verticales se tiene la irregularidad de rigidez, de masa o peso, vertical geométrica, por discontinuidad en el plano de los elementos resistentes laterales y por resistencia. A continuación se presenta la Tabla 9.1 y Tabla 9.2 donde se muestran los tipos de irregularidad en planta y vertical, según ASCE 7 2010. Seguido de las tablas, se encuentra la descripción y cálculo de los índices de irregularidad mencionados.

	Tipo de irregularidad
1a	Irregularidad Torsional
1b	Irregularidad Torsional Extrema
2	Irregularidad por entradas en Planta
3	Irregularidad por discontinuidad en diafragma
4	Irregularidad por elementos resistentes fuera del plano vertical
5	Irregularidad por sistemas no paralelos

**Tabla 9.1 Tipos de irregularidad en planta (ASCE 7, 2010)**

	Tipo de irregularidad
1a	Irregularidad en rigidez - piso blando
1b	Irregularidad en rigidez - piso blando extremo
2	Irregularidad en peso (masa)
3	Irregularidad vertical Geométrica
4	Irregularidad por discontinuidad vertical en el mismo plano
5a	Irregularidad por discontinuidad en resistencia lateral
5b	Irregularidad por discontinuidad en resistencia lateral extrema

**Tabla 9.2 Tipos de irregularidad en vertical (ASCE 7, 2010)**

## 9.3 Irregularidades en planta ASCE 7 2010

### 9.3.1 Irregularidad torsional

La definición de irregularidad torsional se aplica sólo al caso de edificios con diafragmas rígidos o semi-rígidos. En la Figura 9.1 se muestra la nomenclatura utilizada en el cálculo. Para la acción sísmica indicada,  $\Delta_{\text{máx}}$  corresponde al máximo drift de piso,  $\Delta_{\text{mín}}$  corresponde al mínimo ubicado en la esquina opuesta, calculados considerando torsión accidental, y  $\Delta_{\text{avg}}$  es el promedio de los dos anteriores. El cociente entre el drift máximo y el drift promedio entrega el valor del índice de torsión, donde 1.2 es el límite sobre el cual se considera que el edificio tiene irregularidad torsional. Sobre 1.4 el edificio clasifica con irregularidad torsional extrema. El índice se determina en ambas direcciones sísmicas (x e y),

La torsión o excesiva deflexión lateral es generada en edificios asimétricos o excéntricos. Las irregularidades por torsión pueden disminuirse por la ubicación apropiada de elementos resistentes y una apropiada distribución de masas.

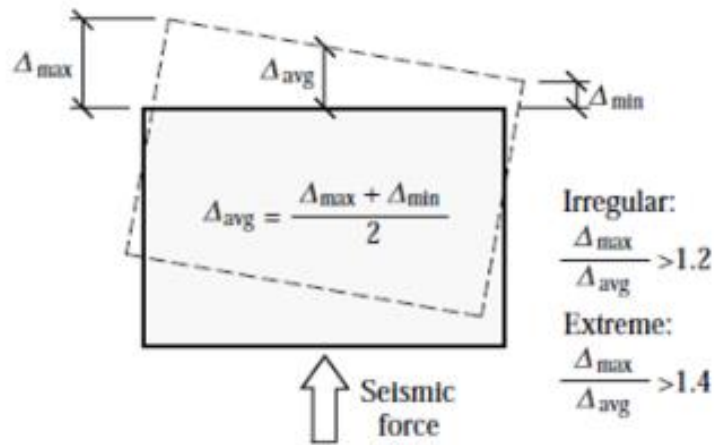


Figura 9.1 Esquema de irregularidad torsional según ASCE 7 2010

Se calculó los desplazamientos relativos de entre piso (drift) para cada edificio en el rango lineal, mediante un análisis modal espectral con el espectro reducido de la norma y modelos ETABS 2015 (Capítulo 4). Para cada dirección de análisis se determina el drift máximo en un extremo de la planta, y se divide por el valor promedio (Figura 9.1), para cada piso del edificio. En la Tabla 9.3 se presenta los valores máximos en la altura de cada edificio, considerado como el valor más desfavorable. Los cálculos incluyen una torsión accidental de un 5% de la longitud en ambas direcciones. En rojo se destacan los edificios y valores considerados irregulares, es decir, mayores a 1.2. En la tabla también se incluye una columna indicando la dirección principal del daño en los edificios. La Figura 9.2 y Figura 9.3 muestran los valores de este índice de torsión en dirección x e y respectivamente para cada edificio. Las líneas horizontales negra y naranja de la gráfica, corresponden a los valores límite que definen a un edificio como irregular e irregular extremo, respectivamente. La Tabla 9.4 y Tabla 9.5 contienen los promedios de esta variable por nivel de desempeño y por rango de pisos.

Edificio	$\frac{\Delta_{m\acute{a}x-x}}{\Delta_{prom-x}}$ Dirección x	$\frac{\Delta_{m\acute{a}x-y}}{\Delta_{prom-y}}$ Dirección y	Dirección del daño
N1	1.28	1.21	y
A2	1.04	1.06	x
A3	1.09	1.02	y
B4(*)	1.06	1.08	y
F5(*)	1.06	1.06	y
M6	1.04	1.03	y
M7	1.18	1.39	x
M8	1.28	1.05	x
M9	1.03	1.18	y
R10	1.07	1.13	y
R11	1.42	1.13	y
T12(*)	1.06	1.03	x-y
T13(*)	1.05	1.06	y
T14	1.03	1.12	x-y
T15	1.34	1.23	y
P16	1.08	1.28	-
R17	1.02	1.24	-
S18	1.14	1.16	-
S19	1.11	1.12	-
V20	1.21	1.37	-

Tabla 9.3 Índices de torsión según ASCE 7 2010. (\*) Peligro de Colapso

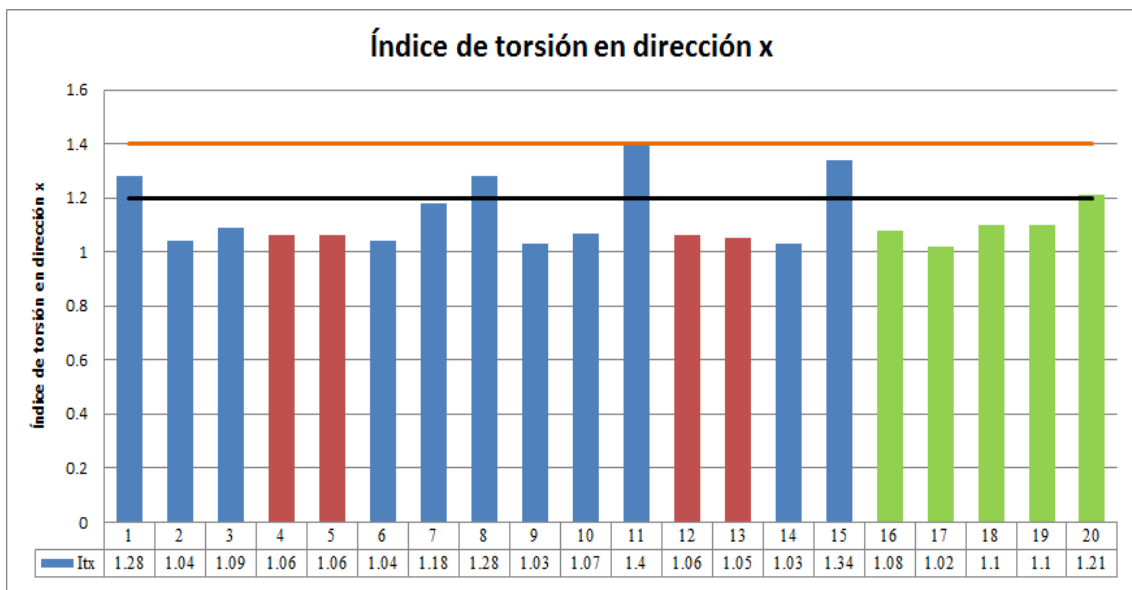


Figura 9.2 Índice de torsión y sus límites, en dirección x

Promedios por rango de altura del edificio: Índice de torsión dirección x				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	1.03 (1)	1.02 (1)	1.03 (2)
11 a 14 pisos	1.06 (3)	1.22 (3)	1.11 (1)	1.13 (7)
15 a 18 pisos	1.06 (1)	1.15 (6)	1.16 (2)	1.14 (9)
más de 20 pisos	-	1.18 (1)	1.08 (1)	1.13 (2)
Promedios generales: Índice de torsión dirección x				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	1.06	1.16	1.10	1.13
Desviación estándar	0.01	0.14	0.07	0.11

Tabla 9.4 Promedio del Índice de torsión en dirección x

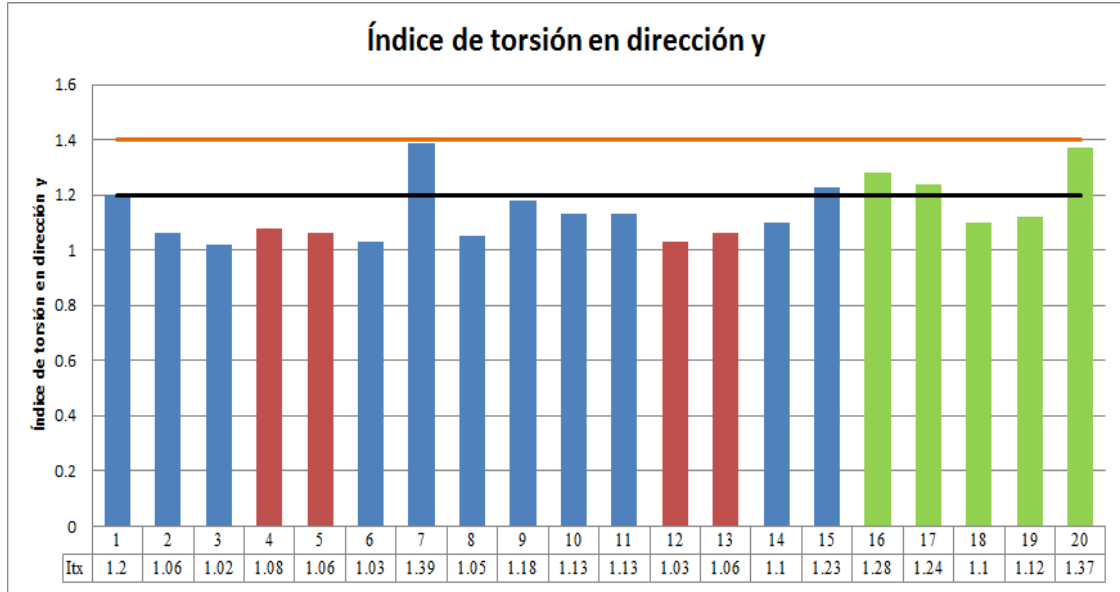


Figura 9.3 Índice de torsión y sus límites, en dirección y

Promedios por rango de altura del edificio: Índice de torsión en dirección y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	1.18 (1)	1.21 (1)	1.20 (2)
11 a 14 pisos	1.06 (3)	1.12 (3)	1.12 (1)	1.08 (7)
15 a 18 pisos	1.06 (1)	1.11 (6)	1.25 (2)	1.13 (9)
más de 20 pisos	-	1.39 (1)	1.28 (1)	1.34 (2)
Promedios generales: Índice de torsión en dirección y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	1.06	1.14	1.22	1.14
Desviación estándar	0.02	0.11	0.11	0.11

**Tabla 9.5 Promedio del Índice de torsión en dirección y**

- **Comentario**

De los veinte edificios estudiados, ocho clasifican con irregularidad torsional, tres de los cuales son edificios con un buen desempeño. Según este índice de torsión, la mayoría de los edificios con buen desempeño sufren los efectos de torsión en planta tanto o más que los edificios con mal desempeño. Esto es aún más notorio en dirección y, donde los mismos tres edificios con buen desempeño superan el límite considerado irregular.

Existen tres edificios con mal desempeño que presentan la irregularidad en la misma dirección de los elementos dañados.

Estos resultados, contrario a lo que podría esperarse, muestran que no es posible correlacionar este índice con el desempeño observado durante el sismo.

Existe un edificio con mal desempeño con una irregularidad torsional extrema.

### 9.3.2 Irregularidad por entradas en planta

En el caso en que la configuración en planta del edificio y su sistema resistente a fuerzas laterales contiene una esquina o espacio entrante, la estructura se considera irregular si la longitud de la proyección de la esquina o espacio entrante sobrepasa el 15% de la longitud en planta en la misma dirección. Se entiende por entrada el área en la cual no hay losa ni muros conectados al edificio, según se muestra en la Figura 9.4 para el caso de una esquina entrante. Cada esquina o espacio se revisa en ambas direcciones.

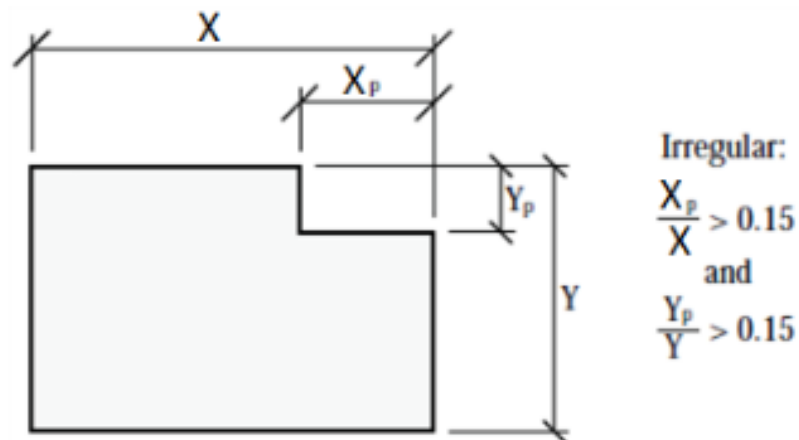


Figura 9.4 Esquema de irregularidad por entradas en planta (ASCE 7 2010)

A efectos de este estudio, este índice se evalúa en la planta del primer piso de cada edificio. En la Tabla 9.6, se presenta los valores de la entrada más desfavorable en el edificio, que es aquella de mayor área en planta que se repite en los pisos superiores al primero. La columna 2 tiene los valores de la relación  $X/X_p$ , y la columna 3 aquellos de la relación  $Y/Y_p$ . Según ASCE 7 2010 un edificio será irregular si  $X/X_p$  e  $Y/Y_p$ , para la misma entrada, son mayores a 15%. Se destaca con rojo en la Tabla 9.6 los valores que sobrepasan el 15% y los edificios considerados como irregulares.

Edificio	$X/X_p$ %	$Y/Y_p$ %	Irregular si $\frac{X}{X_p} > 0.15$ e $\frac{Y}{Y_p} > 0.15$
N1	35.8	16.6	Irregular
A2	10.2	33.3	Regular
A3	22.9	19.4	Irregular
B4(*)	39.8	22.2	Irregular
F5(*)	63.2	23.1	Irregular
M6	28.3	1.1	Regular
M7	34.5	38.4	Irregular
M8	55.5	24.3	Irregular
M9	0.5	0.7	Regular
R10	28.9	31.2	Irregular
R11	22.9	17.0	Irregular
T12(*)	18.7	10.4	Regular
T13(*)	6.3	10.1	Regular
T14	5.0	10.7	Regular
T15	15.7	9.5	Regular
P16	2.1	3.2	Regular
R17	3.8	5.1	Regular
S18	0.2	10.1	Regular
S19	12.7	32.8	Regular
V20	21.1	1.9	Regular

Tabla 9.6 Proporción entre la longitud de la entrada y la longitud de la planta %. (\*) Peligro de Colapso

#### • Comentario

Según el criterio anterior, ocho edificios califican como irregulares, todos ellos registrados con mal desempeño en el sismo. De estos ocho edificios, dos tienen nivel de desempeño Peligro de Colapso y seis tienen nivel de desempeño Poca Seguridad para los ocupantes.

Además, ninguno de los cinco edificios con buen desempeño califica como irregular.

Se puede asumir entonces que existe alguna correlación de este índice con los daños observados.

### 9.3.3 Irregularidad por discontinuidad de diafragma

Ante un evento sísmico, se considera que cada piso de un edificio responde como un diafragma rígido cuando la losa del piso, u otro elemento estructural, es capaz de unir lo suficiente los elementos verticales para que estos trabajen y se desplacen en conjunto.

La Figura 9.5 es un esquema donde se representa una planta con losa flexible y otra con una apertura. Se considera irregular dicha planta si el área de las discontinuidades es mayor que el 50% del área total de la planta o si el cambio de rigidez efectiva del diafragma de un piso a otro supera el 50%.

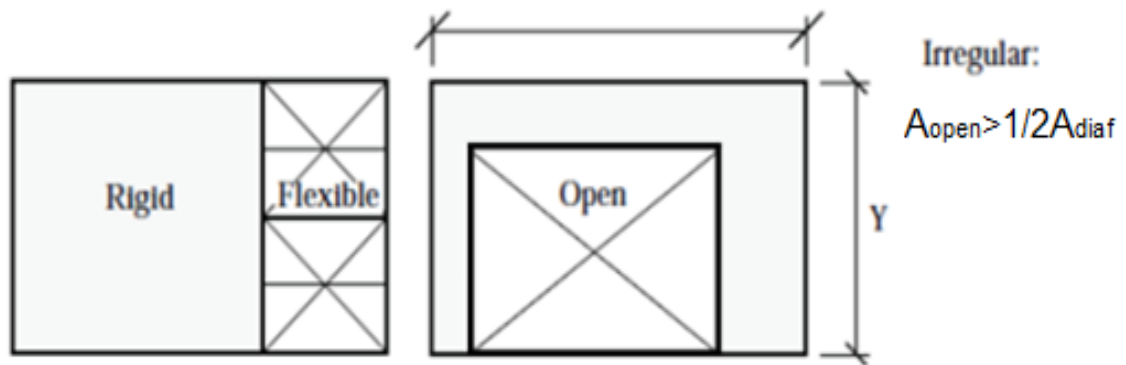


Figura 9.5 Esquema de irregularidad por discontinuidad en diafragma según ASCE 7 2010

En los veinte edificios estudiados, las únicas aperturas observadas corresponden a las zonas de escaleras, ascensores y otras zonas decorativas menores cercanas a las fachadas, ninguna de las cuales, en total, supera el 10% del área total de la planta (ver Tabla 9.7).

Porcentaje de aperturas	
Edificio	%
N1	4.1
A2	2.9
A3	3.9
B4(*)	6.2
F5(*)	3.8
M6	9.2
M7	4.0
M8	3.3
M9	4.7
R10	7.9
R11	4.9
T12(*)	5.8
T13(*)	4.6
T14	4.6
T15	7.9
P16	4.6
R17	3.8
S18	2.9
S19	7.3
V20	3.0

Tabla 9.7 Porcentaje de apertura en diafragma. (\*) Peligro de Colapso

- **Comentario**

Este índice, para los edificios evaluados, es muy poco significativo ya que ninguno supera el 10%. Es muy poco probable que exista alguna correlación de este índice con los daños observados en los edificios.

### 9.3.4 Irregularidad por elemento resistente lateral fuera de plano vertical

Según ASCE 7 2010, una estructura puede ser considerada irregular si existe una configuración en la cual un elemento resistente lateral (muro) no tiene continuidad con el piso inferior, o si la continuidad no es en el mismo plano vertical. En la Figura 9.6, se observa un muro con continuidad en diferentes planos verticales. Esta configuración puede clasificarse como irregular.

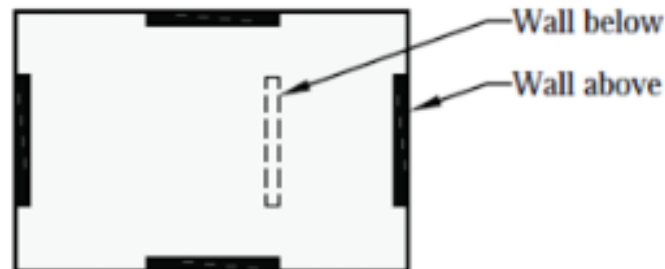


Figura 9.6 Esquema de irregularidad por elemento fuera del plano vertical según ASCE 7 2010

Revisando la configuración de las plantas de los edificios, se tiene que solamente el edificio T15 posee este tipo de irregularidad. La Figura 9.7 y Figura 9.8 muestran una irregularidad por elemento fuera de plano en el edificio T15. Aquí se observa un muro L (elemento 1) el cual aparece solamente en el piso 2 quedando en un plano diferente del muro inmediatamente inferior, si bien existe una columna (la cual se dañó) soportando el muro en cuestión, no es un elemento lo suficientemente grande para garantizar un soporte adecuado. La Figura 9.9, y Figura 9.10 muestran otra irregularidad por elemento fuera de plano en el mismo edificio (elemento 2), aquí se observa otro muro invertido que aparece en el piso 2 en un plano diferente al muro del piso 1.

La Figura 9.11 es una imagen del daño en el elemento T15-1 (capítulos 3 y 4), el cual es el apoyo del elemento 1 mostrado en la Figura 9.7 y Figura 9.8.

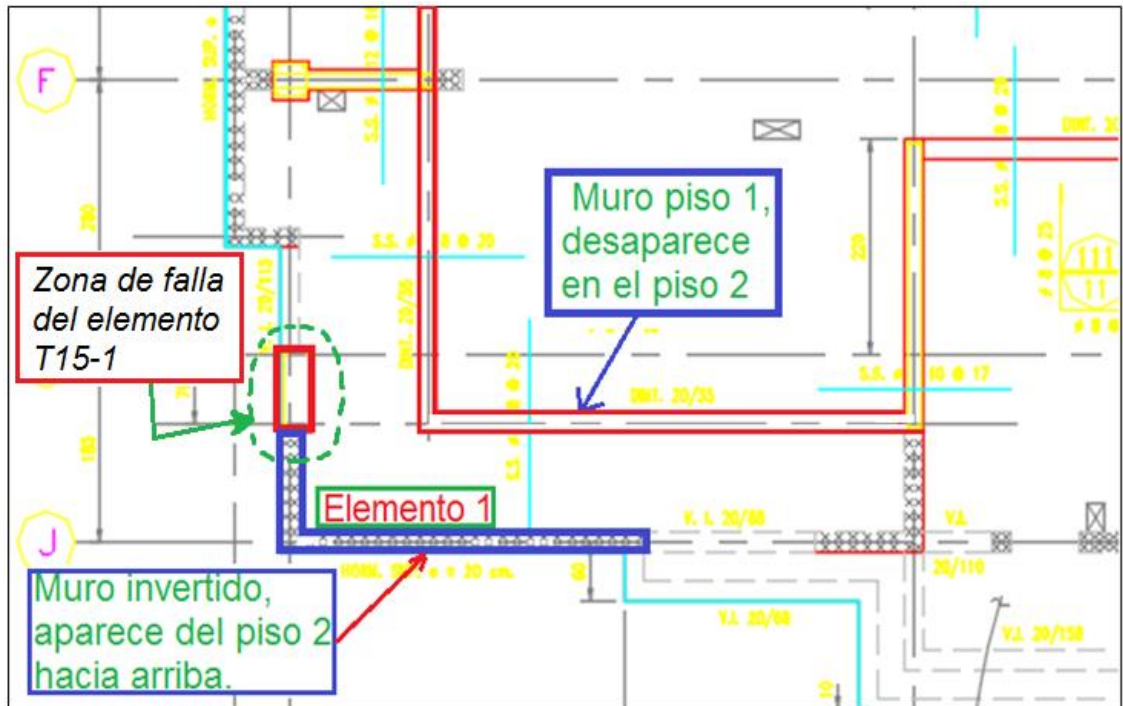


Figura 9.7 Elemento fuera del plano vertical, vista en planta piso 1 del edificio T15 (elemento 1)

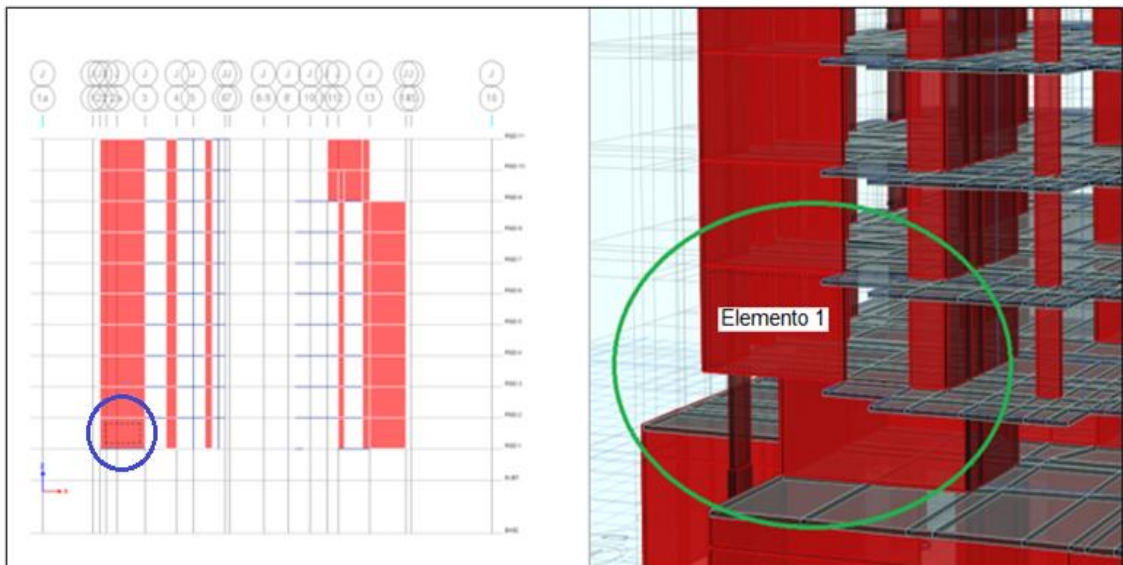


Figura 9.8 Elemento fuera del plano vertical, edificio T15 vista en elevación y en 3D (elemento 1)

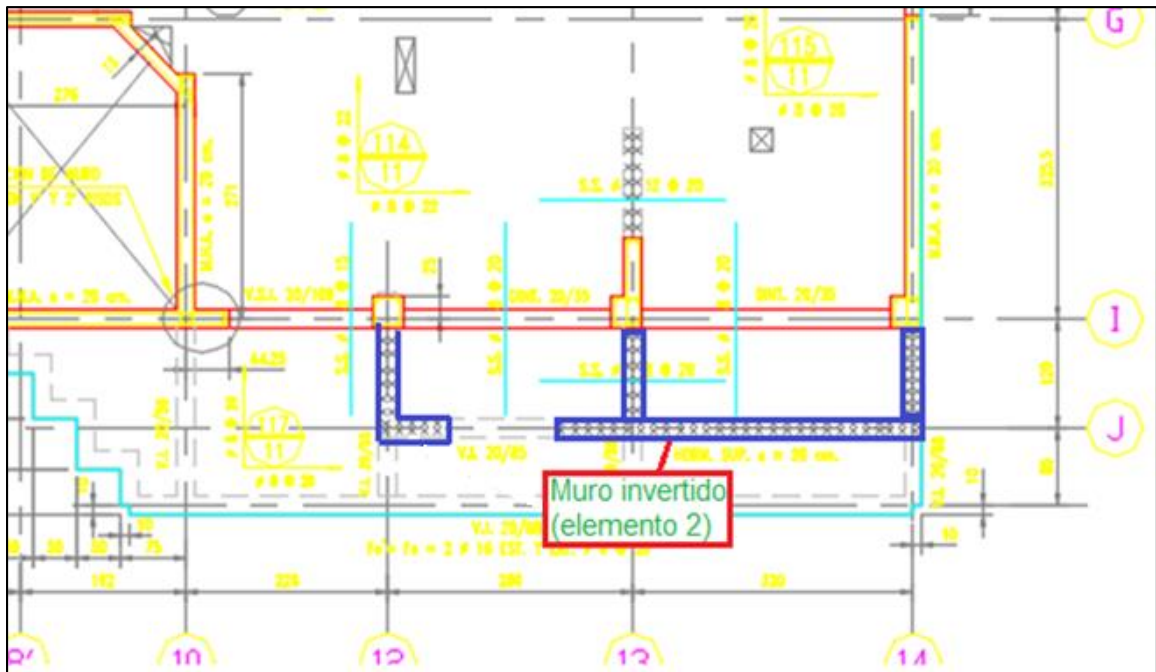


Figura 9.9 Elemento fuera del plano vertical, vista en planta piso 1 del edificio T15 (elemento 2)

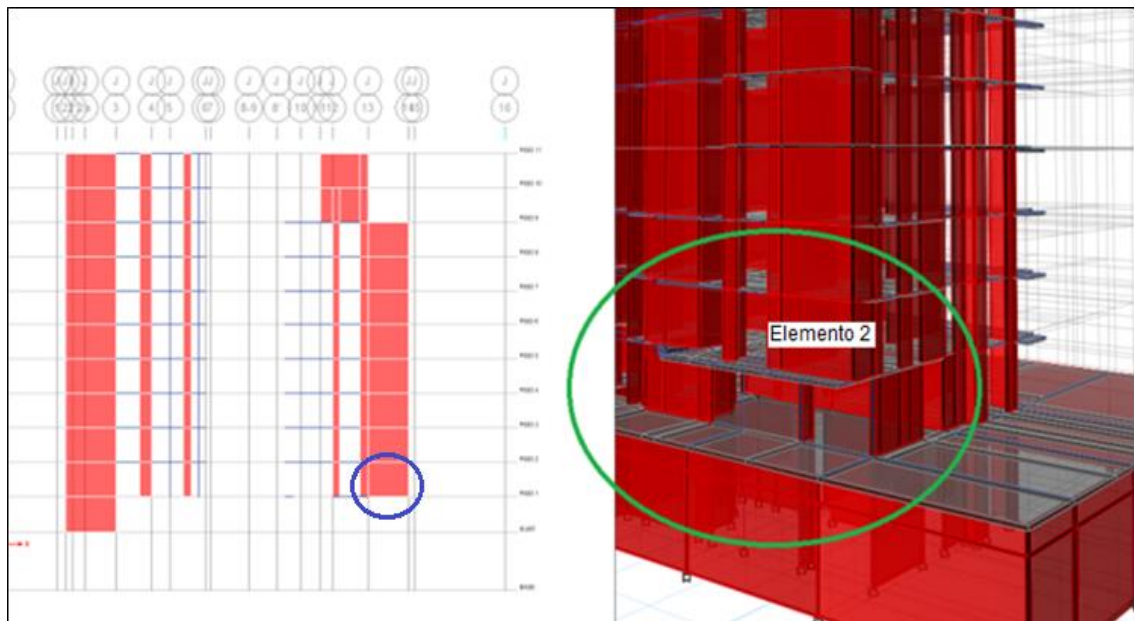


Figura 9.10 Elemento fuera del plano vertical, edificio T15 vista en elevación y en 3D (elemento 2)



**Figura 9.11 Daño en elemento T15-1 (apoyo del elemento 1)**

- **Comentario**

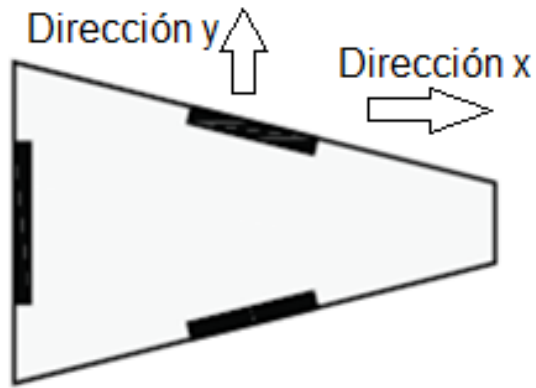
Se observa que solo el edificio T15 presenta esta irregularidad, la que puede asociarse directamente al daño del elemento T15-1. Este tipo de irregularidad para esta muestra es muy particular, por ende poco representativa.

### **9.3.5 Irregularidad por sistemas no paralelos**

Según ASCE 7 2010, un edificio es irregular si los elementos verticales resistentes a acciones laterales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes principales ortogonales del sistema resistente a acciones sísmicas.

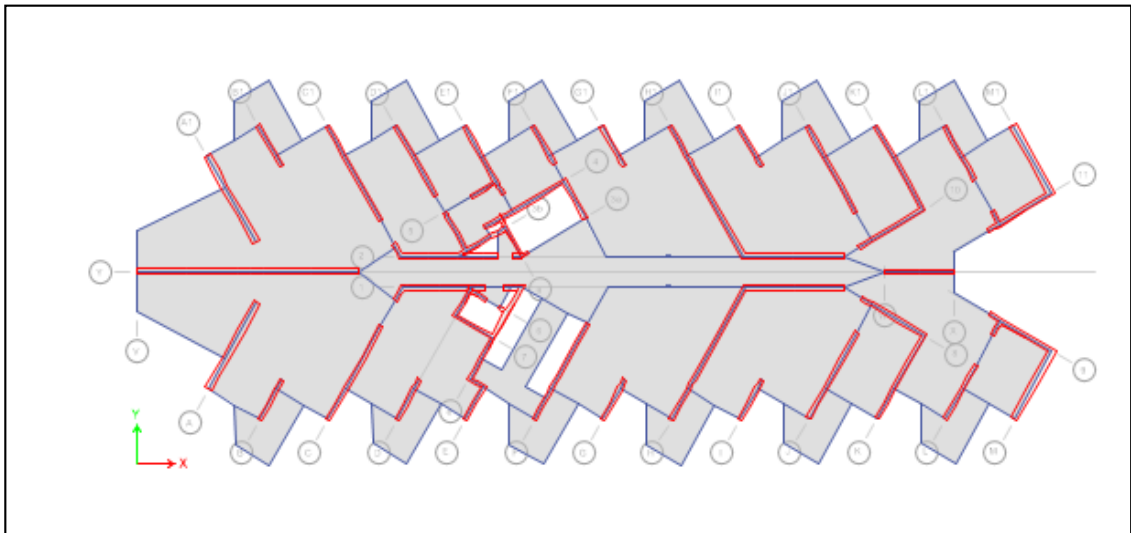
La Figura 9.12 muestra ambos casos donde puede considerarse la irregularidad. El primer caso se da para la dirección x donde se observan dos muros simétricamente dispuestos con respecto al eje central en dirección x, pero con sus elementos no paralelos. El segundo caso se da en la dirección y, donde se observa un muro paralelo al eje y, pero que no tiene un elemento paralelo simétrico al eje que pasa por el centro en dirección y de la planta.

Una configuración irregular de este tipo puede provocar efectos de torsión bajo movimientos sísmicos. El problema es más sensible en formas triangulares, donde la porción más estrecha tiende a ser más flexible que el resto. Se recomienda evitar estas situaciones o incrementar la resistencia a la torsión de las partes agudas.



**Figura 9.12 Esquema de irregularidad por sistemas no paralelos según ASCE 7 2010**

El único edificio que presenta este tipo de configuración es el A2, que no posee muros perpendiculares entre sí, por tanto bajo este criterio se considera como irregular. El resto de los edificios poseen configuraciones de muros perpendiculares entre sí. La Figura 9.13 y Figura 9.14 muestran la planta del edificio irregular.



**Figura 9.13 Planta edificio A2, sistemas no paralelos**

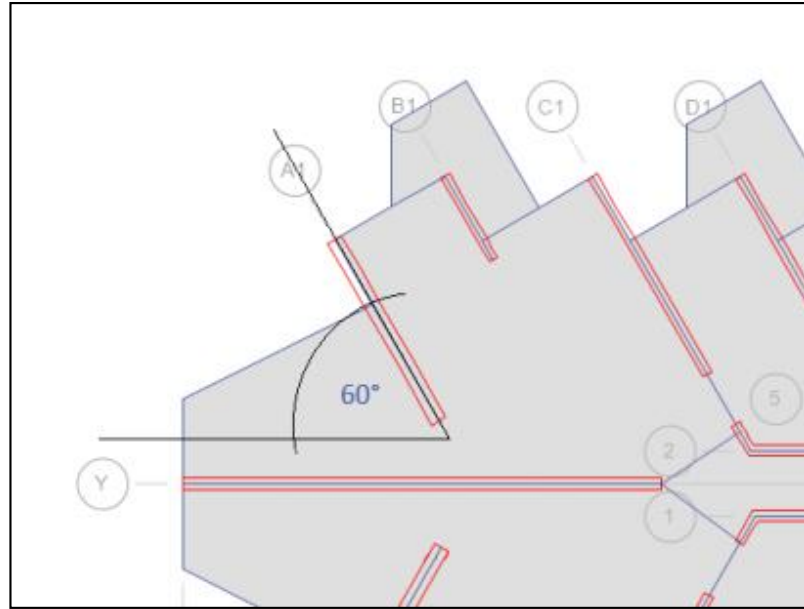


Figura 9.14 Detalle sistemas no paralelos del edificio A2

- **Comentario**

Si bien, bajo el criterio anterior el edificio A2 puede clasificarse como irregular, posee elementos simétricos con respecto al eje central en dirección x, por lo que el efecto descrito debiese ser poco significativo en el edificio.

No es posible asociar este tipo de irregularidad con los daños observados, y de existir alguna correlación, para esta muestra está limitada solo al edificio A2.

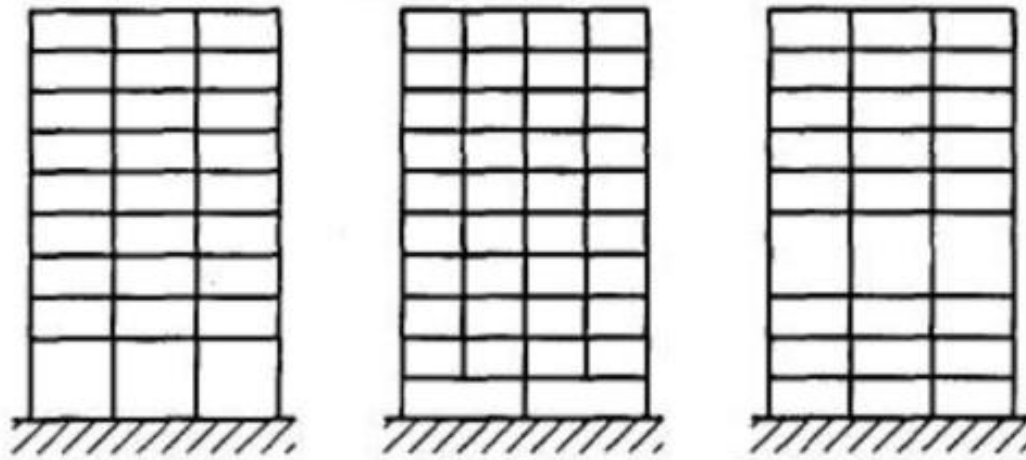
## 9.4 Irregularidades Verticales

### 9.4.1 Irregularidad en rigidez (piso blando)

Una irregularidad de rigidez se define como el caso en que la rigidez lateral en un piso es menos del 70% de aquella del piso inmediatamente superior, o menos del 80% de la rigidez promedio de los tres pisos superiores. Se conoce también como irregularidad de piso blando, Si la rigidez de un piso es menos del 60% de la del piso superior, o menos del 70% del promedio de las rigideces de los tres pisos superiores, se clasifica como irregularidad extrema (ASCE 7, 2010).

La discontinuidad del piso blando incrementa la flexibilidad de la estructura, provocando grandes deflexiones en el piso, y en consecuencia, concentración de esfuerzos en las conexiones del piso superior.

La Figura 9.15 muestra tres diferentes casos de edificios donde existe irregularidad por piso blando. Generalmente este tipo de irregularidad se presenta en el piso 1, donde se disminuye la densidad de muros o se aumenta la altura del piso para dejar más espacio.



**Figura 9.15 Esquemas de irregularidades de rigidez según ASCE 7 2010**

A efectos de este estudio, el valor de la rigidez del piso se ha estimado mediante el método estático definido en las Ecuaciones 9.1 y 9.2. En la Figura 9.16 se tiene un muro sometido a una carga “V” la cual genera un desplazamiento lateral por corte y flexión. La inversa del desplazamiento total generado por la carga “V” corresponde a la rigidez del muro en el sentido longitudinal (Ecuación 9.1). Reduciendo las expresiones que definen los desplazamientos, se llega a la Ecuación 9.2, donde  $k$  es la rigidez lateral del muro,  $E$  el módulo de elasticidad del hormigón,  $t$  el espesor del muro,  $h$  la altura del muro y  $L$  la longitud del muro. La suma de las rigideces de todos los muros en un piso corresponderá a la rigidez del piso. Se considera la rigidez de los muros en su sentido longitudinal. Donde existen muros compuestos, se considera cada segmento por separado.

Para determinar si existe esta irregularidad en los edificios se determina primeramente la rigidez por piso de cada edificio, luego se compara mediante el cociente, la rigidez en dos casos. En el primer caso se compara el cociente de rigidez de un piso cualquiera con el piso superior. En el segundo caso se compara el cociente de rigidez del mismo piso evaluado, pero ahora con el promedio de rigidez de los tres pisos superiores. Si el valor del cociente es menor a 0.7 en el primer caso, entonces el edificio es irregular, en el segundo caso si el cociente es menor a 0.8 también es irregular. Ahora si el cociente es menor a 0.6 en el primer caso o menor a 0.7 en el segundo caso, entonces el edificio es irregular extremo. Se tiene en todos los edificios que el caso 1 es el más desfavorable.

La Tabla 9.8 contiene los datos de aquellos pisos consecutivos donde el cociente del valor de la rigidez del piso inferior sobre la rigidez del piso superior tiene menor valor (caso más desfavorable para el índice). En dicha tabla se tiene el valor de la rigidez del piso inferior, seguido del valor de rigidez del piso superior y el cociente entre el piso inferior sobre el superior, esto tanto para la dirección  $x$  e  $y$ . Se tiene en la mayoría de los casos que el cambio de rigidez más significativo ocurre del piso 1 al piso 2.

La Figura 9.17 y Figura 9.18 muestran los valores de los cocientes para cada edificio en dirección  $x$  e  $y$  respectivamente. La Tabla 9.9 y Tabla 9.10 contienen los promedios de los cocientes para la dirección  $x$  e  $y$  por nivel de desempeño y por rango de pisos.

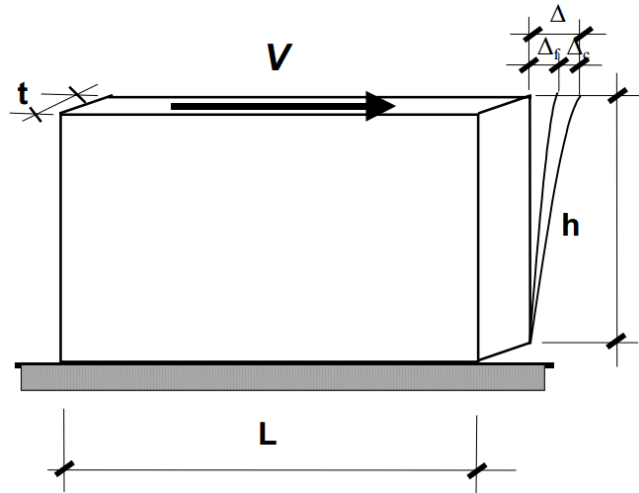


Figura 9.16 Desplazamiento lateral de muro rectangular bajo carga V

$$\Delta_{flex} = \frac{Vh^3}{3EI}, \quad \Delta_{corte} = \frac{Vh}{GA_{corte}}, \quad I = \frac{tL^3}{12},$$

$$A_{corte} \approx \frac{5}{6} A, \quad A = tL, \quad G \approx \frac{E}{2.5}$$

$$k_{muro} = \frac{1}{\Delta_{flex} + \Delta_{corte}} \quad (\text{Ecuación 9.1})$$

$$k_{muro} = \frac{Et}{4\left(\frac{h}{L}\right)^3 + 3\left(\frac{h}{L}\right)} \quad (\text{Ecuación 9.2})$$

Edificio	Eje x					Eje y					Dirección del daño
	Rigidez de piso inferior [Tf/m]	Piso inferior	Rigidez piso superior [Tf/m]	Piso superior	Cuociente Dirección x	Rigidez de piso inferior [Tf/m]	Piso inferior	Rigidez piso superior [Tf/m]	Piso superior	Cuociente Dirección y	
N1	2118578	P1	2380425	P2	0.89	2386608	P1	2486050	P2	0.96	y
A2	6586165	P1	7237544	P2	0.91	5343766	P2	5343766	P3	1.00	x
A3	4833277	P1	5430648	P2	0.89	2192710	P2	2162501	P3	1.00	y
B4(*)	1646096	P2	1646096	P3	1.00	1792806	P1	1595236	P2	1.12	y
F5(*)	5683821	P1	5982970	P2	0.95	5004681	P2	5027203	P3	1.00	y
M6	2236375	P2	2236375	P3	1.00	1883450	P2	1883450	P3	1.00	y
M7	3391773	P1	3496674	P2	0.97	2707497	P2	2707497	P3	1.00	x
<b>M8</b>	1400254	P1	1505650	P2	0.93	<b>2300055</b>	<b>P1</b>	<b>2875069</b>	<b>P2</b>	<b>0.80</b>	<b>x</b>
M9	2196442	P2	2196442	P3	1.00	736498	P2	736498	P3	1.00	y
<b>R10</b>	<b>1399319</b>	<b>P1</b>	<b>2057822</b>	<b>P2</b>	<b>0.68</b>	2196267	P2	2196267	P3	1.00	<b>y</b>
R11	791868	P1	910193	P2	0.87	1209436	P1	1286634	P2	0.94	y
<b>T12(*)</b>	1234004	P2	1228898	P3	1.00	<b>1407940</b>	<b>P1</b>	<b>2040493</b>	<b>P2</b>	<b>0.69</b>	<b>x-y</b>
<b>T13(*)</b>	2158831	P1	2539801	P2	0.85	<b>1493214</b>	<b>P1</b>	<b>2714935</b>	<b>P2</b>	<b>0.55</b>	<b>y</b>
<b>T14</b>	<b>1668110</b>	<b>P1</b>	<b>2085137</b>	<b>P2</b>	<b>0.80</b>	4902717	P2	4902717	P3	1.00	<b>x-y</b>
T15	1523022	P1	956002	P2	0.00	1547921	P1	1646724	P2	0.94	y
P16	4003448	P1	4214156	P2	0.95	4491540	P2	4557607	P3	1.00	-
R17	1369306	P2	1369306	P3	1.00	4326843	P2	4326843	P3	1.00	-
S18	1218601	P1	1269376	P2	0.96	844619	P1	1030023	P2	0.82	-
S19	2024751	P1	2275001	P2	0.89	1802915	P1	2121077	P2	0.85	-
V20	890460	P1	989400	P2	0.90	2063836	P2	2122754	P3	1.00	-

Tabla 9.8 Pisos consecutivos con mayor diferencia en rigidez. (\*) Peligro de Colapso

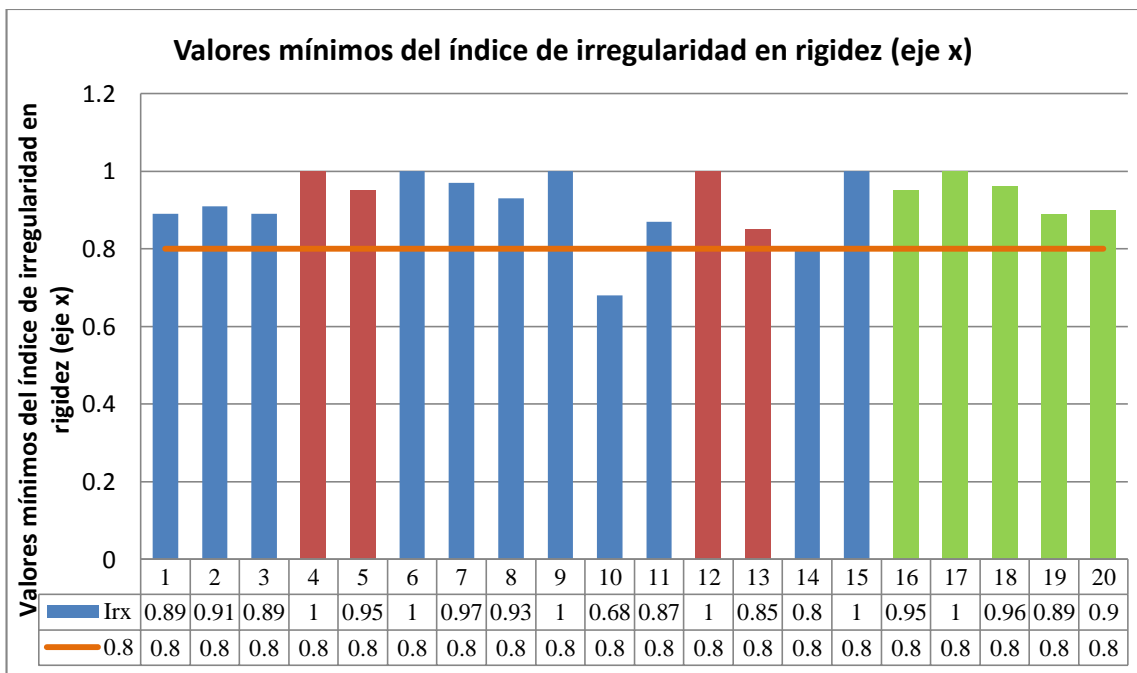


Figura 9.17 Menor proporción de rigidez entre piso 1 y 2 eje x

Promedios por rango de altura del edificio: Valores mínimos del índice de irregularidad en rigidez (eje x)				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	1 (1)	1 (1)	1 (2)
11 a 14 pisos	0.95 (3)	0.98 (3)	0.96 (1)	0.96 (7)
15 a 18 pisos	0.95 (1)	0.84 (6)	0.9 (2)	0.86 (9)
más de 20 pisos	-	0.97 (1)	0.95 (1)	0.96 (2)
Promedios generales: Valores mínimos del índice de irregularidad en rigidez (eje x)				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.95	0.90	0.94	0.92
Desviación estándar	0.07	0.10	0.05	0.08

Tabla 9.9 Promedios proporción de rigidez entre piso 1 y 2 eje x

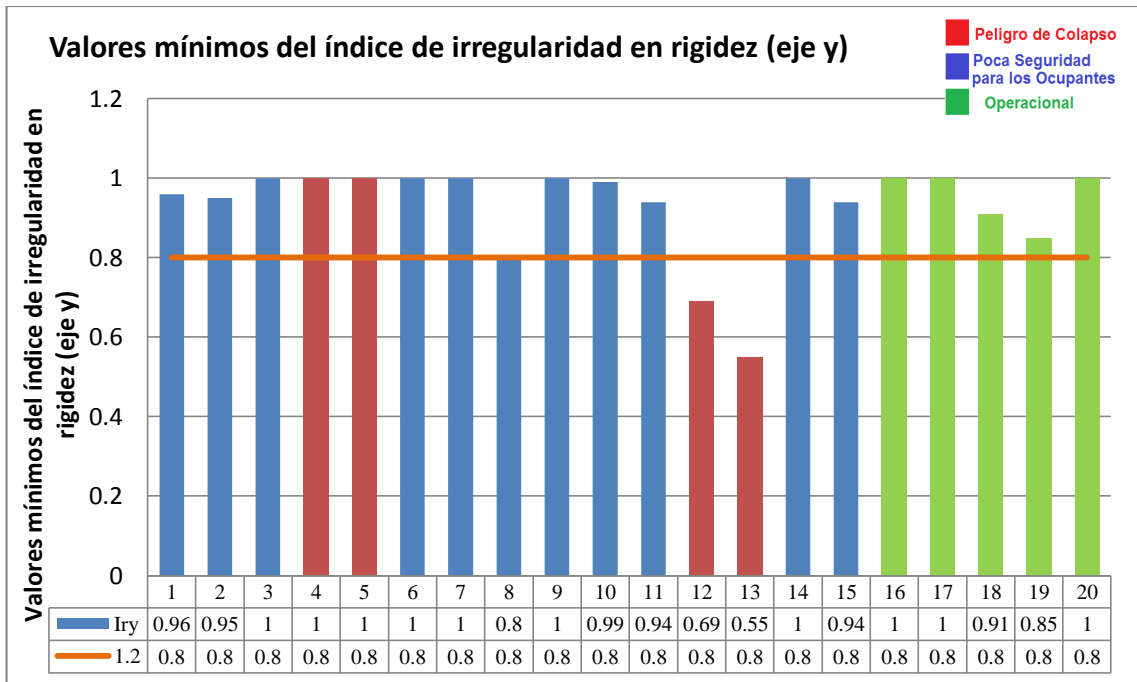


Figura 9.18 Proporción de rigidez entre piso 1 y 2 eje y

Promedios por rango de altura del edificio: Valores mínimos del índice de irregularidad en rigidez (eje x)				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	1 (1)	1 (1)	1 (2)
11 a 14 pisos	0.75 (3)	0.91 (3)	0.91 (1)	0.84 (7)
15 a 18 pisos	1 (1)	0.97 (6)	0.93 (2)	0.97 (9)
más de 20 pisos	-	1 (1)	1 (1)	1 (2)
Promedios generales: Valores mínimos del índice de irregularidad en rigidez (eje x)				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.81	0.96	0.95	0.93
Desviación estándar	0.23	0.06	0.07	0.12

**Tabla 9.10 Promedios proporción de rigidez entre piso 1 y 2 eje y**

### • Comentarios

Cinco edificios clasifican como irregulares en rigidez (tienen un piso blando). Estos son los edificios M8, R10, T12, T13 y T14. El edificio T13 posee un piso blando extremo teniendo un piso con rigidez menor al 60% de la rigidez del piso superior. Los edificios T12, T13 y T14 tienen los daños en la misma dirección de la irregularidad (todos en dirección y). Los edificios T12 y T13 tuvieron un nivel de desempeño Peligro de Colapso. Según este análisis, es probable que esta irregularidad haya sido un factor importante en el desempeño de estos edificios.

### 9.4.2 Irregularidad de masas

Según ASCE 7 2010, un edificio tiene una irregularidad de masa cuando la masa efectiva de por lo menos un piso es más del 150% de la masa del piso inferior o superior. La masa efectiva considera las cargas de peso propio y las sobrecargas de uso. Los excesos de masa incrementan las fuerzas laterales de inercia y la magnitud de las deformaciones entre pisos, causando desfavorables efectos estructurales. No se considera en esta definición el caso del techo del edificio.

La Figura 9.19 es un esquema donde se muestra este tipo de irregularidad. Generalmente se pueden generar diferencias significativas de masa en el piso superior de los edificios, donde se instalan equipos como motores, generadores, bombas y aparatos de aire acondicionado. Para evaluar el verdadero impacto de la irregularidad de masas en la estructura, es necesario un análisis dinámico.



**Figura 9.19 Esquema de irregularidad de masas según ASCE 7, 2010**

La Tabla 9.11 contiene los valores más desfavorables de cuocientes de masas entre pisos consecutivos para cada uno de los edificios. Se observa que todos los valores están entre 0.88 y 1.49.

Edificio	Relación menor (todos los pisos)	Relación mayor (desde el piso 2 hacia arriba)
N1	1.00	1.02
A2	0.88	1.03
A3	0.92	1.05
B4(*)	1.00	1.05
F5(*)	1.00	1.03
M6	0.97	1.03
M7	1.00	1.22
M8	0.97	1.01
M9	0.94	1.07
R10	0.99	1.49
R11	1.00	1.22
T12(*)	1.00	1.08
T13(*)	1.00	1.09
T14	1.00	1.07
T15	0.99	1.46
P16	0.91	1.06
R17	0.91	1.34
S18	1.00	1.43
S19	1.00	1.43
V20	1.00	1.03

**Tabla 9.11 Proporción más desfavorable entre masas de pisos consecutivos (piso inferior/superior).  
(\*) Peligro de Colapso**

- **Comentario**

Ningún edificio puede clasificarse como irregular en este aspecto puesto que en ningún edificio un piso tiene más del 150% de la masa del piso inferior o superior.

No parece ser una variable muy representativa del daño en los edificios. Los cambios de masa en la muestra de edificios está directamente relacionada con los cambios en la dimensión de la planta en la altura, y no debido a cargas concentradas en un piso, donde se esperaría que el efecto podría ser aún más desfavorable.

### 9.4.3 Irregularidad vertical geométrica

Según ASCE 7 2010, se considera que existe irregularidad vertical geométrica cuando la dimensión horizontal del sistema de resistencia a las fuerzas laterales en cualquier piso es mayor que el 130% de la del piso superior o inferior. No es necesario considerar los pisos de azotea de un solo nivel.

La Figura 9.20 es un esquema donde se muestra diferentes configuraciones de edificios irregulares. Se indica las variables A, que corresponde a la dimensión horizontal menor de un piso a comparar del edificio, y L, dimensión mayor del piso adyacente a comparar.

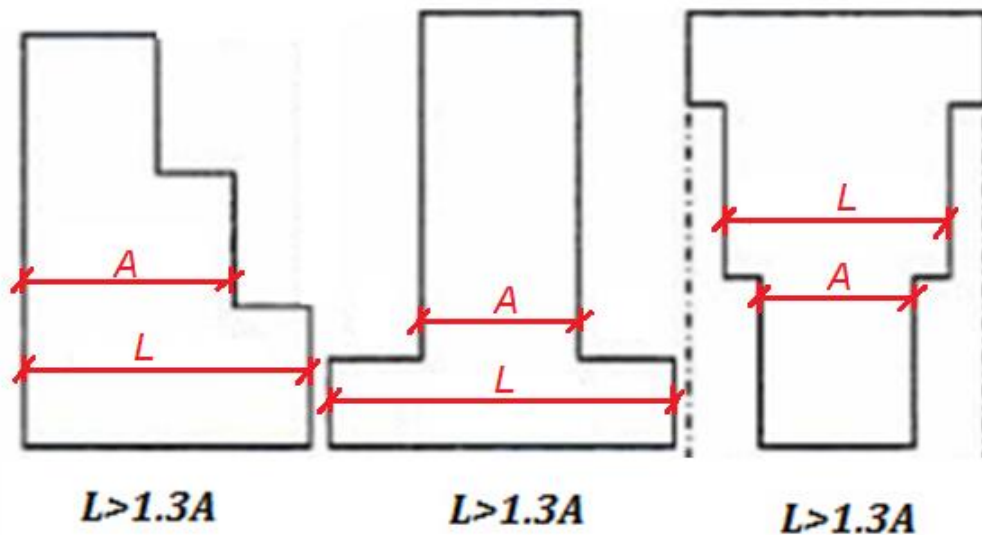


Figura 9.20 Esquema de irregularidad vertical geométrica según ASCE 7 2010

Para determinar si los edificios son irregulares bajo este criterio, se considera el siguiente procedimiento: para cada edificio se determina la longitud máxima en planta de cada piso para cada dirección principal. Luego, se compara la longitud de un piso con la longitud correspondiente del piso superior e inferior. La comparación se realiza mediante el cociente entre las longitudes, donde el numerador será el mayor valor (L) y el denominador será el menor valor (A) de entre las longitudes comparadas. Si el cociente entre L y A es mayor que 1.3, entonces el edificio califica como irregular.

La Tabla 9.12, contiene los valores de los dos pisos consecutivos con el valor más desfavorable del cociente entre longitudes máximas de piso del edificio. La columna 2, contiene para cada edificio los valores de la longitud máxima de los pisos comparados en dirección x ( $L_x$ ), en la columna 3 los valores de la longitud menor de los pisos comparados en dirección x ( $A_x$ ), seguido del cociente entre estos valores. La columna 5 y 6 contienen los valores de  $L_y$  y  $A_y$ , seguido del cociente correspondiente. La última columna indica la dirección predominante del daño en los edificios. Se destacan en rojo los valores mayores a 1.3, considerados irregulares.

Edificios	$L_x$ [m]	$A_x$ [m]	$L_x/A_x$	$L_y$ [m]	$A_y$ [m]	$L_y/A_y$	Dirección del daño
N1	34.3	34.3	1.00	13.7	13.7	1.00	y
A2	53.3	53.3	1.00	20.5	20.5	1.00	x
A3	31.4	31.4	1.00	21.2	21.2	1.00	y
B4(*)	19.6	19.6	1.00	19.1	19.1	1.00	y
F5(*)	48.8	48.8	1.00	25.4	25.4	1.00	y
M6	30.6	30.6	1.00	9.4	9.4	1.00	y
M7	33.5	26.8	1.25	18.4	18.4	1.00	x
M8	27.8	27.2	1.02	18.2	13.4	1.36	x
M9	29.8	29.8	1.00	9.7	9.7	1.00	y
<b>R10</b>	28.4	24.2	1.17	<b>21.9</b>	<b>12.6</b>	<b>1.73</b>	<b>y</b>
R11	29.5	27.7	1.06	18.0	14.8	1.21	y
T12(*)	25.9	25.9	1.00	18.8	16.9	1.11	x-y
T13(*)	38.2	37.1	1.03	14.6	14.4	1.02	y
T14	37.8	37.8	1.00	15.3	13.9	1.10	x-y
<b>T15</b>	28.6	24.3	1.18	<b>16.0</b>	<b>10.3</b>	<b>1.55</b>	<b>y</b>
P16	32.3	31.2	1.04	19.3	19.3	1.00	-
R17	23.6	23.6	1.00	19.1	19.1	1.00	-
S18	24.0	22.2	1.08	12.0	9.6	1.25	-
S19	38.4	32.1	1.20	13.7	12.6	1.09	-
V20	26.1	25.0	1.04	12.6	12.6	1.00	-

**Tabla 9.12 Cocientes más desfavorables entre longitudes máximas y mínimas de planta. (\*) Peligro de Colapso**

#### • Comentario

Considerando los resultados anteriores, tres edificios, M8, R10 y T15, con nivel de desempeño poca Seguridad para los Ocupantes, se clasificarían con irregularidad geométrica vertical en dirección y. Sin embargo, el edificio M8 posee una reducción en el último piso (piso 13), por tanto, por definición, no se considera irregular. El edificio R10, de 16 pisos, posee una reducción en dirección y en el piso 13, y el edificio T15, de 11 pisos, posee una reducción en el penúltimo piso. Por ende, solo los edificios R10 y T15 se consideran irregulares bajo este criterio.

#### 9.4.4 Irregularidad por discontinuidad en el plano de los elementos verticales resistentes a fuerzas laterales (desfase de muros)

Se considera este tipo de irregularidad cuando existe un desplazamiento en el plano de los elementos resistentes a las cargas laterales mayor que la longitud de esos elementos o cuando existe una reducción de rigidez del elemento en el piso inferior.

La Figura 9.21 muestra este tipo de irregularidad, donde se observa que los muros de longitud  $L$  están desfasados en una longitud  $L'$  mayor que  $L$ , tal como se define en la Tabla 9.2 (ASCE 7, 2010).

Dado que este nivel de irregularidad no existe en los edificios estudiados, a efectos de este estudio se define un índice similar que pretende evaluar la continuidad vertical de los muros. El índice escogido es el porcentaje de continuidad vertical de muros desde el piso 1 al primer subterráneo, dado que el cambio más significativo de este parámetro se da en esta zona donde se reduce la dimensión de los muros para dejar espacio a los estacionamientos. Para el caso del edificio A2, sin subterráneos, se analiza el piso 2 con respecto al 1. Se pretende medir el impacto que pudo haber tenido una disminución en la continuidad vertical de los muros en el nivel de desempeño observado.

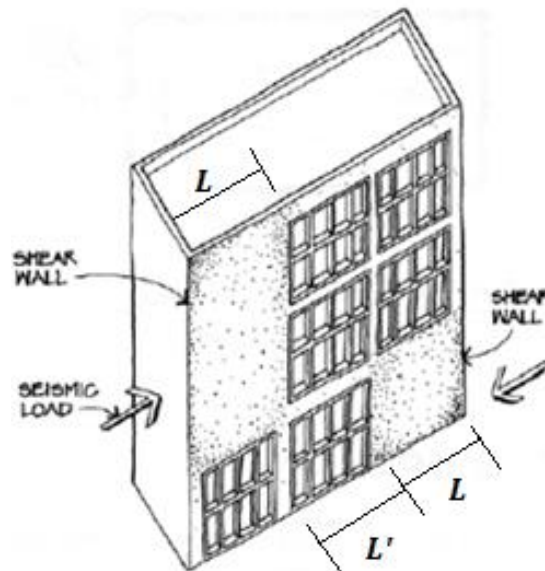


Figura 9.21 Esquema de irregularidad por discontinuidad en elementos verticales según ASCE 7 2010

El índice se define como el porcentaje de área seccional de muro que continúa verticalmente de un piso al piso inferior. Visto de otra manera, corresponde al porcentaje de área de muro que tiene apoyo en el piso inferior.

Para calcular el porcentaje de continuidad vertical de muro se proyecta el área de los muros del piso evaluado sobre los muros del piso inferior. Aquella parte del área de muro que no coincide con un elemento vertical del piso inferior, es decir, el área de muro que queda sin apoyo, corresponderá a la reducción de área de dicho muro ( $A_r$ ). El porcentaje de continuidad vertical de muro corresponderá al área total de muros en la planta evaluada  $A_p$  menos el área reducida de muros  $A_r$ , y esto sobre el área total de muros inicial  $A_p$  (ver Ecuación 9.3). La Figura 9.22 muestra un esquema donde se observan los muros de un piso que no coinciden en su totalidad con los muros del piso inferior, se muestra en distintos colores los muros del piso inferior (negro), el área de los muros del piso superior que coincide con los muros inferiores (verde), y el área de muro que no coincide verticalmente con los muros inferiores (azul con rayas verdes). Aquellos muros del piso inferior que no soportan elementos verticales del piso superior (ver Figura 9.22), no afectan el valor del índice, este es el caso principalmente en los muros perimetrales del subterráneo.

Se esperaría que el valor del índice sea menor a 1, esto debido a que, en general, la continuidad vertical de muros se ve interrumpida por la necesidad de los espacios para estacionamiento en los subterráneos, lo que obliga a reducir el largo de los muros, o a separarlos. También es frecuente observar en subterráneos, columnas robustas soportando muros superiores.

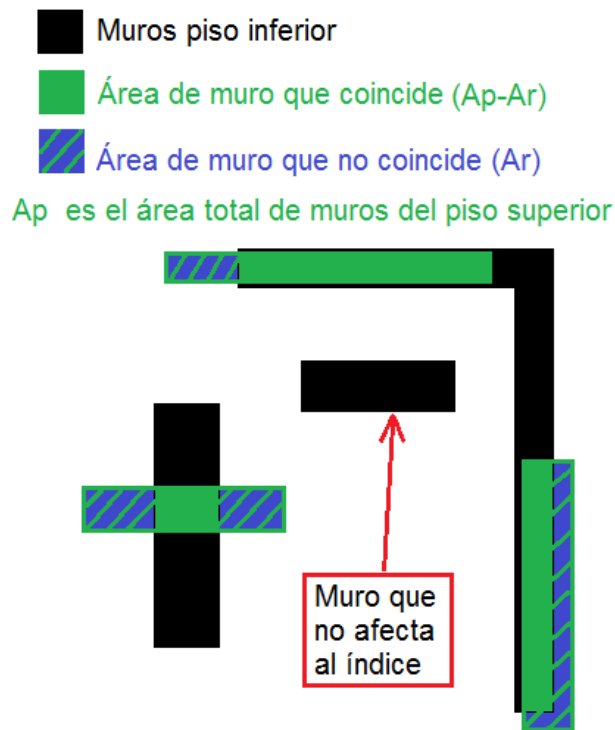


Figura 9.22 Esquema de discontinuidad de muro en planta (elaboración propia)

$$P_{cont.} = \frac{A_p - A_r}{A_p} * 100 \quad (\text{Ecuación 9.3})$$

$P_{cont.}$  es el porcentaje de continuidad vertical de muro,  $A_p$  corresponde al área de muro del piso evaluado y  $A_r$  el área de muro que se reduce.

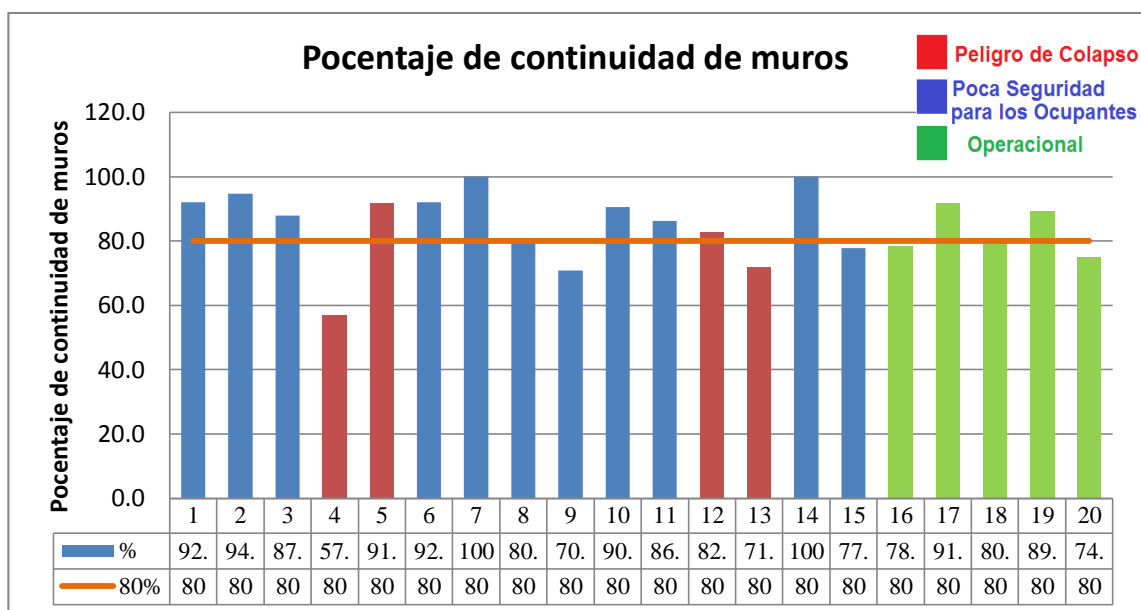
La Tabla 9.13 contiene los valores del índice de continuidad vertical de muro. En la columna 2 está el área total de muros del piso 1  $A_p$  (piso 2 para el edificio A2). En la columna 3 se tiene el área de los muros que coinciden con los muros inferiores ( $A_p - A_r$ ). En la cuarta columna se indica el porcentaje de continuidad vertical de muros que corresponde al valor del índice evaluado. En la quinta columna se indica la dirección principal del daño observado en los elementos de los edificios. Para establecer un límite de irregularidad, se propone el valor de 80%, donde un valor menor a este se considerará como irregular. Se destaca en rojo aquellos edificios definidos como irregulares.

La Figura 9.23 grafica los valores de este índice. Se indica el valor límite de 80%.

La Tabla 9.14 contiene los promedios de porcentaje de continuidad de muros por rango de pisos y por nivel de desempeño.

Edificio	Área de muro en piso 1 $A_p$ [m <sup>2</sup> ]	Área de muros que coincide con los muros del subterráneo $A_p - A_r$ [m <sup>2</sup> ]	Porcentaje %	Criterio	Dirección del daño
N1	24.4	22.5	92.0	Regular	y
A2	22.7	21.5	94.7	Regular	x
A3	35.5	31.2	87.9	Regular	y
<b>B4(*)</b>	<b>17.1</b>	<b>9.8</b>	<b>57.0</b>	<b>Irregular</b>	<b>y</b>
F5(*)	48.8	44.7	91.7	Regular	y
M6	22.3	20.6	92.1	Regular	y
M7	30.8	30.8	100.0	Regular	x
M8	22.2	17.8	80.2	Regular	x
<b>M9</b>	<b>17.3</b>	<b>12.3</b>	<b>70.9</b>	<b>Irregular</b>	<b>y</b>
R10	25.0	22.6	90.5	Regular	y
R11	19.7	17.0	86.3	Regular	y
T12(*)	18.7	15.5	82.8	Regular	x-y
<b>T13(*)</b>	<b>23.4</b>	<b>16.8</b>	<b>71.8</b>	<b>Irregular</b>	<b>y</b>
T14	27.7	27.7	100.0	Regular	x-y
<b>T15</b>	<b>16.7</b>	<b>13.0</b>	<b>77.8</b>	<b>Irregular</b>	<b>y</b>
<b>P16</b>	<b>36.6</b>	<b>28.7</b>	<b>78.5</b>	<b>Irregular</b>	-
R17	17.9	16.4	91.8	Regular	-
S18	12.6	10.2	80.9	Regular	-
S19	28.8	25.7	89.4	Regular	-
<b>V20</b>	<b>16.4</b>	<b>12.3</b>	<b>74.9</b>	<b>Irregular</b>	-

**Tabla 9.13 Porcentaje más desfavorable de continuidad de muros, piso 1 al subterráneo. (\*) Peligro de Colapso**



**Figura 9.23 Porcentaje de continuidad de muros**

Promedios por rango de altura del edificio: Porcentaje de continuidad de muros				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	70.9 (1)	91.8 (1)	81 (2)
11 a 14 pisos	70.5 (3)	83.4 (3)	80.9 (1)	77.5 (7)
15 a 18 pisos	91.7 (1)	91.9 (6)	82.2 (2)	89.7 (9)
más de 20 pisos	-	100 (1)	78.5 (1)	89.3 (2)
Promedios generales: Porcentaje de continuidad de muros				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	75.8	88.4	83.1	84.6
Desviación estándar	15.0	9.1	7.2	10.7

**Tabla 9.14 Promedios de porcentaje de continuidad de muros**

• **Comentario**

Se observa que existen seis edificios que pueden clasificarse como irregulares, dentro de estos se tienen dos edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso, dos edificios con nivel de desempeño Poca Seguridad para los ocupantes y dos edificios con buen desempeño. Al evaluar la dirección del daño observado en los edificios irregulares se tiene que todos presentan daños en dirección local y. Se debe destacar que un edificio con nivel de desempeño Peligro de Colapso presenta una reducción de área de muro excesivamente alta.

El promedio global para este índice es de 85% con una desviación estándar relativamente baja. El menor promedio lo tienen los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso.

Se observa una correlación de este índice con los daños observados, sobre todo en los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso. Esta irregularidad podría ser relevante en el desempeño.

#### 9.4.5 Irregularidad por discontinuidad en resistencia (piso débil)

Según ASCE 7 2010, un piso débil es aquel en que la resistencia del piso es menor que el 80% de la resistencia del piso inmediatamente superior. En tal caso se considera irregular. Si dicho valor es menor a 65% entonces se considera como extremadamente irregular. La Figura 9.24 presenta diferentes configuraciones para esta irregularidad.

La resistencia del piso se considera igual a la suma de las resistencias de todos los elementos resistentes a las acciones sísmicas laterales en una dirección dada. A efectos prácticos para este trabajo, la resistencia empleada para comparar dos pisos se estimará como la resistencia a la cortante de los mismos. Esta estimación se considera aceptable dado que el interés principal es la comparación entre pisos y no la determinación exacta de la capacidad resistente del piso cuyo valor no es simple de calcular.

La resistencia al corte de un segmento rectangular de muro según el ACI 318S-08 se puede calcular como:

$$\begin{aligned}
 \checkmark \quad V_n &= V_c + V_s \\
 \checkmark \quad V_n &= (0.53\sqrt{f'_c}b_w d) + \left(\frac{A_s}{s} f_y d\right) \\
 \checkmark \quad V_n &= d(0.53\sqrt{f'_c}b_w + \frac{A_s}{s} f_y) \quad (\text{Ecuación 9.4})
 \end{aligned}$$

Donde  $V_n$  es la resistencia nominal al corte del elemento,  $V_c$  es la resistencia al corte del hormigón,  $V_s$  es la resistencia que el refuerzo transversal proporciona al corte.  $d$  es la distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción,  $f'_c$  es la resistencia a la compresión del hormigón,  $b_w$  es el espesor del muro,  $A_s$  es el área transversal de refuerzo al corte,  $s$  es la separación del refuerzo transversal de corte y  $f_y$  es la resistencia a la fluencia del acero.

Al factorizar por  $d$  la Ecuación 9.4, suponer para efectos de comparación  $\frac{A_s}{s} f_y$  constante en todos los muros (esto supone un refuerzo similar a separación similar), lo mismo para  $0.53\sqrt{f'_c}b_w$  (suponiendo similares espesores de muro), el valor de  $V_n$  queda directamente dependiente de  $d$ . Para estimar la resistencia a la cortante de un piso se debe realizar la sumatoria de todos los valores de  $V_n$  para todos los muros en cada dirección, y como  $d$  se puede estimar como  $0.8L$  (ACI 318S-08), donde  $L$  es la longitud del muro, la resistencia al corte del piso se determinará como la sumatoria de todos los  $L$  de los muros multiplicado por una constante que queda fuera de la sumatoria (ver Ecuación 9.5).

$$\checkmark \quad \sum V_n = \left(0.8 * 0.53\sqrt{f'_c}b_w + \frac{A_s}{s} f_y\right) \sum L \quad (\text{Ecuación 9.5})$$

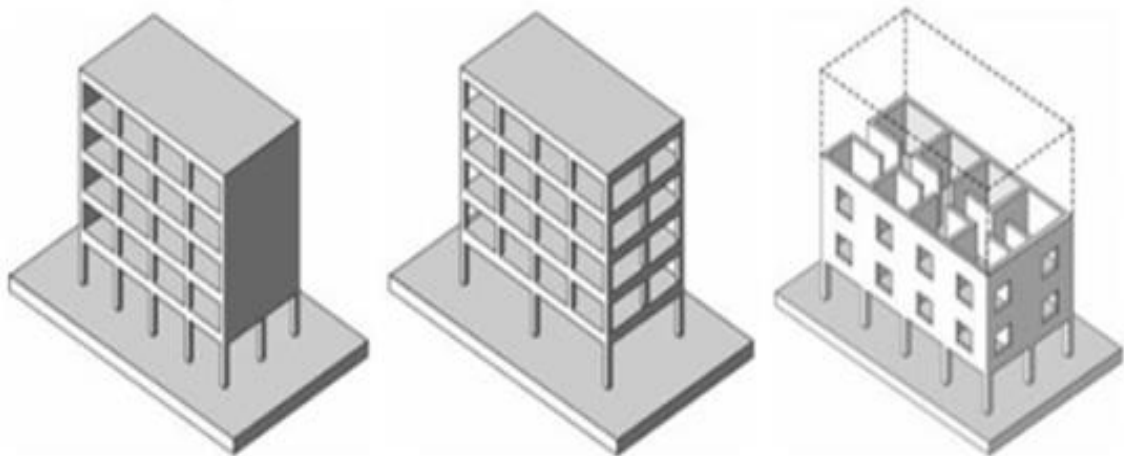
Para estimar la resistencia a la cortante de un piso entonces se deben sumar las longitudes de muros de un piso del edificio en una dirección luego multiplicar la sumatoria por la constante en paréntesis.

Al hacer el cociente de la resistencia a la cortante estimada con la Ecuación 9.5 entre dos pisos, la parte en paréntesis se simplificará quedando solamente el cociente de la sumatoria de todos los  $L$ . Se considera aceptable esta estimación para los efectos de identificación de la irregularidad en los edificios pero no para determinar la resistencia real del piso.

Para calcular el valor aproximado de la constante se puede suponer  $f'_c = 250 [kgf/cm^2]$ ,  $b_w = 20 [cm]$ , con una armadura al corte de doble malla  $\varnothing 8a15$  se tiene  $\frac{A_s}{s} = 6.7 [\frac{cm^2}{cm}]$ , y  $f_y = 4200 [\frac{kgf}{cm^2}]$ , reemplazando en la Ecuación 9.5 da como resultado:  $C = 0.8 \left( 0.53 \sqrt{f'_c} b_w + \frac{A_s}{s} f_y \right) = 22.65 [Tf/m]$ , que sería un valor relativamente constante para cada muro. Los valores supuestos corresponden a los valores más frecuentes en los edificios estudiados por lo que este valor puede variar para distintos edificios y muros. Como interesa a efectos del estudio solamente la relación de estos parámetros entre los distintos pisos, se trabajará solamente con las longitudes de los muros.

La Tabla 9.15 contiene, para cada edificio, la sumatoria de todos los largos de muros del piso 1, del piso 2 y el cociente entre estos valores, esto para la dirección x e y. Se destacan en rojo aquellos edificios donde el cociente es menor a 0.8, siendo estos edificios irregulares. Considerando los errores de aproximación, aquellos edificios con valor muy cercano a 0.8 se también fueron considerados como irregulares.

La Figura 9.25 y Figura 9.26 grafican los valores de las proporciones obtenidas, esto para x e y respectivamente. La Tabla 9.16 y Tabla 9.17 muestran los promedios de estas proporciones por nivel de desempeño y por rango de pisos.



**Figura 9.24 Esquema de irregularidad por discontinuidad en capacidad (piso débil) según ASCE 7 2010**

Edificio	Eje x					Eje y					Dirección del daño
	$\sum L_x$ Piso inferior [m]	Piso inferior	$\sum L_x$ Piso superior [m]	Piso superior	Cuociente Dirección x	$\sum L_y$ Piso inferior [m]	Piso inferior	$\sum L_y$ Piso superior [m]	Piso superior	Cuociente Dirección y	
N1	55.3	P1	55.3	P2	1.00	62.8	P1	62.8	P2	1.00	y
A2	144.3	P2	151.8	P3	0.95	126.2	P2	131.5	P3	0.96	x
A3	77.3	P1	80.5	P2	0.96	82.9	P1	84.6	P2	0.98	y
B4(*)	48.3	P1	49.2	P2	0.98	41.7	P1	41.7	P2	1.00	y
F5(*)	127.4	P1	131.3	P2	0.97	127.0	P1	127.0	P2	1.00	y
M6	58.9	P1	58.9	P2	1.00	61.1	P1	61.1	P2	1.00	y
M7	78.9	P1	79.7	P2	0.99	72.4	P1	72.4	P2	1.00	x
<b>M8</b>	<b>33.7</b>	<b>P1</b>	<b>45.6</b>	<b>P2</b>	<b>0.74</b>	57.2	P1	68.1	P2	0.84	<b>x</b>
M9	48.1	P1	48.1	P2	1.00	40.7	P1	40.7	P2	1.00	y
<b>R10</b>	<b>53.6</b>	<b>P1</b>	<b>67.8</b>	<b>P2</b>	<b>0.79</b>	70.7	P1	71.4	P2	0.99	<b>y</b>
R11	38.8	P1	46.2	P2	0.84	47.0	P1	53.4	P2	0.88	y
<b>T12(*)</b>	45.3	P1	45.3	P2	1.00	<b>45.6</b>	<b>P1</b>	<b>57.0</b>	<b>P2</b>	<b>0.80</b>	<b>x-y</b>
<b>T13(*)</b>	51.2	P1	60.2	P2	0.85	<b>49.3</b>	<b>P1</b>	<b>79.6</b>	<b>P2</b>	<b>0.62</b>	<b>y</b>
T14	50.4	P1	50.4	P2	1.00	110.2	P1	110.2	P2	1.00	x-y
T15	40.6	P1	40.6	P2	1.00	48.2	P1	53.6	P2	0.90	y
P16	80.1	P1	81.7	P2	0.98	104.0	P1	104.0	P2	1.00	-
<b>R17</b>	38.5	P1	38.5	P2	1.00	<b>47.6</b>	<b>P1</b>	<b>59.5</b>	<b>P2</b>	<b>0.80</b>	-
<b>S18</b>	37.9	P1	46.3	P2	0.82	<b>29.3</b>	<b>P1</b>	<b>36.6</b>	<b>P2</b>	<b>0.80</b>	-
S19	66.0	P1	66.7	P2	0.99	56.7	P1	61.0	P2	0.93	-
V20	39.2	P1	45.5	P2	0.86	58.6	P1	58.6	P2	1.00	-

Tabla 9.15 Valores de las sumatoria de L para los pisos 1 y 2, excepto edificio A2 con pisos 2 y 3. (\*) Peligro de Colapso

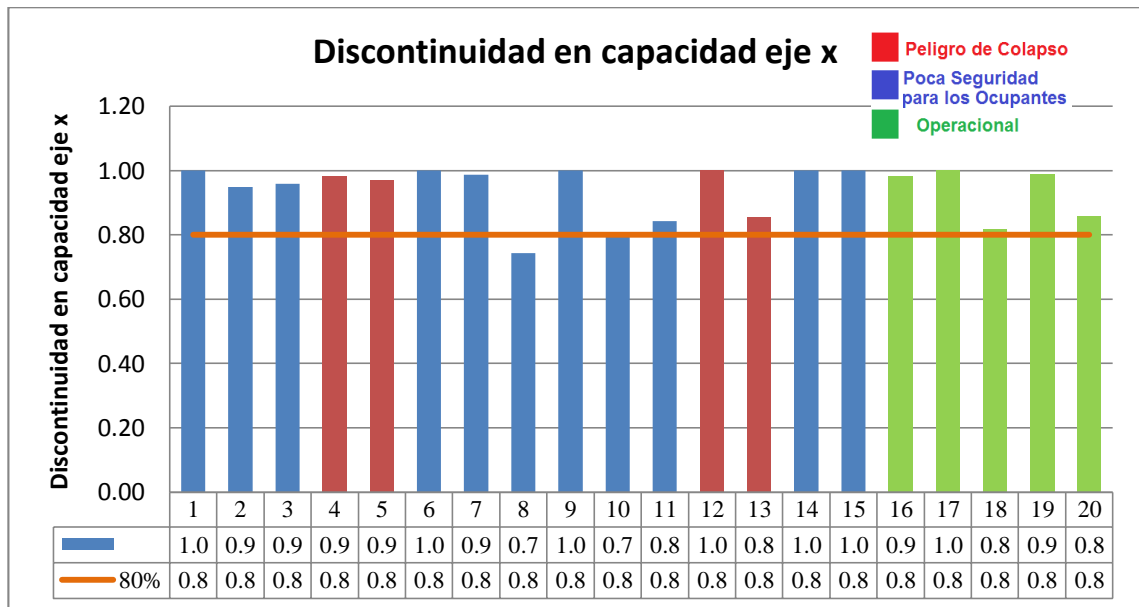
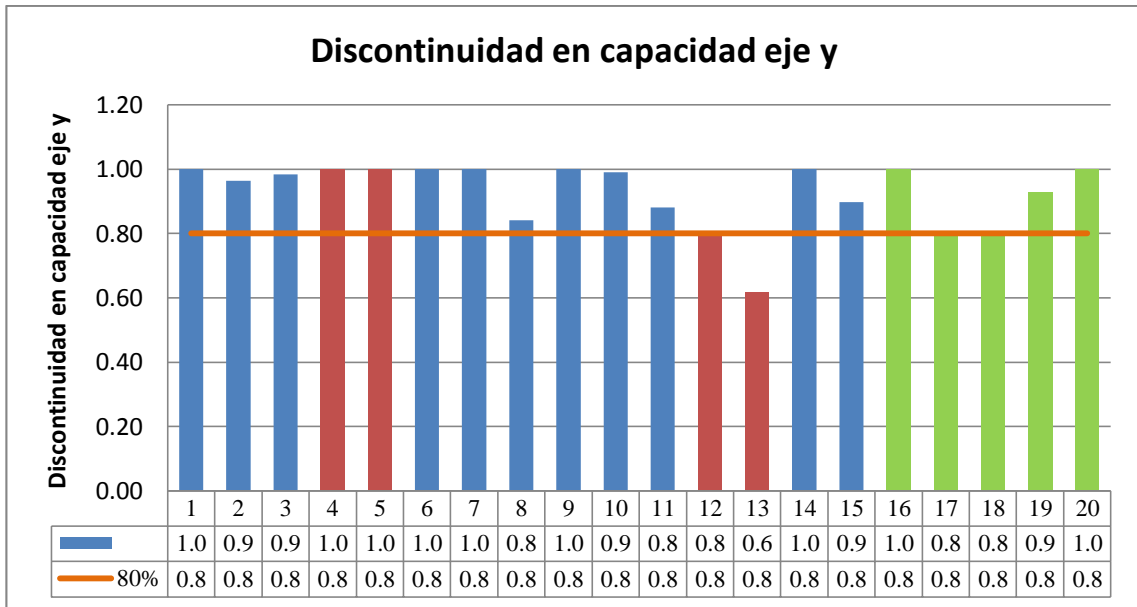


Figura 9.25 Discontinuidad en capacidad eje x



**Figura 9.26** Discontinuidad en capacidad eje y

Promedios por rango de altura del edificio: Discontinuidad en capacidad eje x				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	1 (1)	1 (1)	1 (2)
11 a 14 pisos	0.9 (3)	0.91 (3)	0.82 (1)	0.91 (7)
15 a 18 pisos	1 (1)	0.92 (6)	0.92 (2)	0.93 (9)
más de 20 pisos	-	0.99 (1)	0.98 (1)	0.98 (2)
Promedios generales: Discontinuidad en capacidad eje x				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	1.0	0.93	0.93	0.94
Desviación estándar	0.1	0.09	0.08	0.08

**Tabla 9.16** Promedios de discontinuidad en capacidad eje x

Promedios por rango de altura del edificio: Discontinuidad en capacidad eje y				
Rango pisos\Desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio del rango
menos de 10 pisos	-	1 (1)	0.8 (1)	0.9 (2)
11 a 14 pisos	0.8 (3)	0.91 (3)	0.8 (1)	0.85 (7)
15 a 18 pisos	1 (1)	0.97 (6)	0.96 (2)	0.97 (9)
más de 20 pisos	-	1 (1)	1 (1)	1 (2)
Promedios generales: Discontinuidad en capacidad eje y				
Nivel de desempeño	Peligro de Colapso	Poca Seguridad para los Ocupantes	Operacional	Promedio global
Promedios	0.9	0.96	0.91	0.93
Desviación estándar	0.2	0.06	0.10	0.11

**Tabla 9.17 Promedios de discontinuidad en capacidad eje y**

- **Comentarios**

Bajo este criterio, dos edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso presentarían esta irregularidad (T12 y T13), dos edificios con nivel de desempeño Poca Seguridad para los Ocupantes (M8 y R10) y dos edificios con buen desempeño (R17 y S18).

El valor más desfavorable para este índice corresponde al edificio T13 con un valor de 0.62 en dirección y, por lo que al ser menor a 0.65 se clasifica como extremadamente irregular.

Se puede observar que el edificio M8, T12 y T13 presentan la irregularidad en el mismo sentido que los daños observados.

Este índice presentó una buena correlación con los daños presentes en algunos edificios, sobre todo en los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso. Este índice podría ser importante en el desempeño de los edificios. Sin embargo también está presente en algunos edificios con buen desempeño.

## 9.5 Resumen de las irregularidades evaluadas

En esta sección se presenta un resumen de los índices de irregularidad evaluados. Con respecto a los índices de irregularidad por discontinuidad de diafragma e irregularidad de masas solo se puede decir, que bajo esos criterios, ningún edificio se clasifica como irregular, no presentan diferencias significativas en los edificios y los valores se alejan bastante de los rangos considerados irregulares, por lo anterior no se consideran dichos índices para los análisis subsiguientes. El resto de los índices se presentan, en resumen, en la Tabla 9.18, donde se tiene la irregularidad por torsión, irregularidad por entradas en planta, irregularidad por elementos fuera del plano, irregularidad por elementos no paralelos, irregularidad de rigidez, irregularidad vertical geométrica, irregularidad por continuidad de muros, e irregularidad por resistencia lateral, respectivamente para cada columna. La última columna indica, para cada edificio, la cantidad de criterios clasificados como irregulares en los edificios. Se considera que un criterio es irregular cuando al menos en una dirección del edificio está presente la irregularidad, si está presente en ambas direcciones se considera solo una vez como irregular el criterio analizado.

Edificio	Torsional eje x	Torsional eje y	Irregularidad por entradas en planta	Elemento fuera de plano	Elementos no-paralelos	Proporción rigideces eje x	Proporción rigideces eje y	Vertical geométrica eje x	Vertical geométrica eje y	Continuidad de muro	Resistencia lateral eje x	Resistencia lateral eje y	Cantidad de criterios
	>1.2	>1.2	>0.15			<0.8	<0.8	>1.3	>1.3		<0.8	<0.8	<b>total</b>
N1	1.28	1.21	Sí	No	No	0.89	0.96	1.00	1.00	0.92	1.00	1.00	2
A2	1.04	1.06	No	No	Si	0.91	0.95	1.00	1.00	0.95	0.95	0.96	1
A3	1.09	1.02	Sí	No	No	0.89	1.00	1.00	1.00	0.88	0.96	0.98	1
B4(*)	1.06	1.08	Sí	No	No	1.00	1.00	1.00	1.00	0.57	0.98	1.00	2
F5(*)	1.06	1.06	Sí	No	No	0.95	1.00	1.00	1.00	0.92	0.97	1.00	1
M6	1.04	1.03	No	No	No	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92	1.00	1.00	0
M7	1.18	1.39	Sí	No	No	0.97	1.00	1.25	1.00	1.00	0.99	1.00	2
M8	1.28	1.05	Sí	No	No	0.93	0.80	1.02	1.00	0.80	0.74	0.84	4
M9	1.03	1.18	No	No	No	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71	1.00	1.00	0
R10	1.07	1.13	Sí	No	No	0.68	0.99	1.17	1.73	0.91	0.79	0.99	4
R11	1.42	1.13	Sí	No	No	0.87	0.94	1.06	1.21	0.86	0.84	0.88	2
T12(*)	1.06	1.03	No	No	No	1.00	0.69	1.00	1.11	0.83	1.00	0.80	1
T13(*)	1.05	1.06	No	No	No	0.85	0.55	1.03	1.02	0.72	0.85	0.62	3
T14	1.03	1.12	No	No	No	0.80	1.00	1.00	1.10	1.00	1.00	1.00	0
T15	1.34	1.23	No	Si	No	1.00	0.94	1.18	1.55	0.78	1.00	0.90	4
P16	1.08	1.28	No	No	No	0.95	1.00	1.04	1.00	0.79	0.98	1.00	2
R17	1.02	1.24	No	No	No	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92	1.00	0.80	1
S18	1.14	1.16	No	No	No	0.96	0.91	1.08	1.25	0.81	0.82	0.80	0
S19	1.11	1.12	No	No	No	0.89	0.85	1.20	1.09	0.89	0.99	0.93	0
V20	1.21	1.37	No	No	No	0.90	1.00	1.04	1.00	0.75	0.86	1.00	2
Total	5	6	8	1	1	2	3	0	2	6	2	5	-

**Tabla 9.18 Resumen de irregularidades. Valores en rojo son irregulares. (\*) Peligro de Colapso. P16 al V20, buen desempeño.**

Ordenando los índices por el nivel de correlación con los daños, se tiene que la mejor correlación existe para la irregularidad por entradas en planta con 8 casos, seguido por la irregularidad en rigidez con 5 casos (2 en x, 3 en y), luego viene la irregularidad por resistencia lateral con 4 casos (1 en x, 2 en y, 1 en ambas, no se consideran edificios con buen desempeño), después se tiene la irregularidad por discontinuidad de muros con 4 casos (sin considerar edificios con buen desempeño), irregularidad vertical con 2 casos en dirección y, irregularidad torsional con 5 casos (2 en x, 1 en y, 2 en ambas, no se consideran edificios con buen desempeño), irregularidad por elementos fuera de plano y finalmente la irregularidad por elementos no paralelos. La Tabla 9.19 contiene la cantidad de edificios irregulares en cada índice y la cantidad de edificios que correlacionan el daño en la misma dirección de la irregularidad. Los índices están ordenados de mayor a menor dependiendo de la correlación con el daño.

Índice de irregularidad	Correlación		
	N° Edificios irregulares dañados	Comentario	N° de edificios irregulares en la misma dirección del daño
Entradas en planta	8		-
Rigidez de piso x	2		1
Rigidez de piso y	3		2
Resistencia de piso x	2	1 se repite en y	1
Resistencia de piso y	3	1 se repite en x	2
Discontinuidad de muros	4		-
Vertical geométrica x	0		0
Vertical geométrica y	2		2
Torsional en x	4	2 se repiten en y	1
Torsional en y	3	2 se repiten en x	2
Elementos fuera de plano	1		-
Elementos no paralelos	1		-

**Tabla 9.19 Correlación de los índices con la dirección del daño**

## 9.6 Conclusiones

Como se ha mencionado, existen índices de irregularidad que presentan una correlación con los daños observados. Los índices que presentan mejor correlación son el índice de irregularidad por entradas en planta, el índice de irregularidad por discontinuidad en rigidez, el índice de irregularidad por discontinuidad en resistencia, el índice de irregularidad por discontinuidad de muros y el índice de irregularidad vertical geométrica. Estos índices deben ser considerados en estudios posteriores.

Cabe destacar que tres de los cuatro edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso presentan a lo menos una irregularidad extrema, estas irregularidades están asociadas directa e indirectamente a diferencias de rigidez entre pisos.

Los índices de irregularidad podrían verse representados de una forma global con un valor único que incluya todos los índices dependiendo de la magnitud y de la correlación con los daños observados. Esta idea podría materializarse en trabajos posteriores.

# 10 CONCLUSIONES

## 10.1 Resumen

Con el objetivo de identificar características comunes que pudieron haber tenido incidencia en el desempeño observado de los edificios dañados en Viña del Mar durante el sismo de 2010, se estudió una muestra de veinte edificios similares ubicados en el sector Plan de la ciudad, que estaban construidos y ocupados a la fecha del sismo. Parte de la muestra, quince edificios, presentaron daños estructurales importantes, incluidos cuatro de ellos que tuvieron que ser demolidos con posterioridad al sismo. Cinco de los edificios no presentaron reportes de daños, y fueron considerados a efectos de comparación.

Primeramente en este trabajo se realizó un inventario, en el cual se identificó algunas características consideradas representativas de los edificios y se incluyó una descripción y fotografías de los daños observados, información que permitió clasificar el nivel de desempeño del edificio durante el sismo.

A efectos de evaluar el diseño sísmico de los edificios, se verificó los parámetros representativos de la respuesta global y el diseño de algunos elementos críticos de los edificios. En el primer caso se evaluó el corte basal y desplazamientos globales según las disposiciones de la NCh433 y Decreto 61. En el segundo, se realizó un análisis de los elementos dañados de algunos edificios con las disposiciones de la NCh430 y Decreto 60.

Los resultados obtenidos para los parámetros indicativos de la respuesta sísmica, como peso, corte basal, momento volcante, desplazamientos globales y nivel de acoplamiento entre periodos suelo-estructura, fueron correlacionados con los niveles de desempeño observados para cada edificio.

En un segundo grupo de parámetros analizados se consideró algunas características asociadas al emplazamiento y direccionalidad de los edificios, así como sus principales características geométricas, tales como alturas, longitudes en planta, densidades de muros, esbelteces en planta y elevación y distribución de los muros en las plantas.

Finalmente se evaluó la posible incidencia de los diferentes tipos de irregularidades, tanto en planta como en altura, en la respuesta observada de los edificios.

## 10.2 Conclusiones

El desarrollo de esta tesis ha permitido revisar algunas de las características representativas de una muestra de edificios con la objetivo de examinar cuales de ellas habrían tenido incidencia en el desempeño de los mismos durante el sismo de 2010 en Chile. A continuación se presentan las conclusiones más importantes del trabajo desarrollado.

Los antecedentes revisados han permitido clasificar el nivel de desempeño de cada edificio durante el sismo, concluyéndose que cuatro de ellos alcanzaron un nivel Peligro de Colapso, once un nivel de Poca Seguridad para los Ocupantes, y cinco mostraron un buen desempeño, lo que permitió considerarlos a efectos de comparación.

La revisión del diseño sísmico de los elementos críticos de algunos de los edificios indicó que existían elementos en los edificios dañados con déficit de refuerzo con respecto a los requerimientos de diseño, tanto para corte como para flexo-compresión. De la misma forma, se detectó una insuficiente capacidad de desplazamiento de algunos muros, asociada directamente a un ineficiente confinamiento.

Del total de las características analizadas, se puede concluir que las que presentaron una mejor correlación con los daños son aquellas asociadas a la ubicación de los edificios, caracterizadas a través del periodo del suelo y a la orientación de los edificios, y aquellas asociadas a irregularidades.

El estudio de la incidencia del periodo del suelo se realizó mediante una comparación con los valores calculados de los periodos de los edificios, a fin de detectar un posible efecto de acoplamiento durante la respuesta. Este análisis mostró que, en doce de los quince edificios con mal desempeño, el periodo del suelo queda dentro del rango acotado por los periodos agrietado y no agrietado del edificio. En siete de estos doce, el periodo del suelo queda dentro de dicho rango en ambas direcciones principales del edificio. En este último grupo se encuentran tres edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso. Además, diez edificios presentan daños en la misma dirección del acoplamiento. Al asumir otras consideraciones para los límites de los rangos, se obtienen mejores correlaciones.

Un segundo posible efecto de acoplamiento se detectó del análisis de los indicadores del Perfil Bío-Sísmico de Guendelman, donde se observó que los indicadores de acoplamiento presentan los más altos niveles de correlación con los daños, en especial el indicador que asocia periodos traslacionales con rotacionales.

Al analizar la orientación geográfica del eje mayor de los edificios, se observó que 12 de 15 edificios con mal desempeño tenían dicho eje orientado en la dirección E-W, mientras que 4 de los 5 edificios con buen desempeño lo tenían en la dirección N-S.

Con respecto a la orientación del daño en los edificios, se observó que 10 de los 15 edificios con mal desempeño muestran predominancia de daño en la dirección de menor longitud en planta (eje y), 3 muestran daños en la dirección de mayor longitud (eje x) y 2 en ambas direcciones. Se observó también, que la orientación geográfica del daño en 11 de 15 edificios con mal desempeño, se presentó en dirección N-S, 2 en dirección E-W y los 2 restantes en ambas direcciones. En el análisis cruzado entre la orientación del edificio y la dirección del daño, se observó que 10 de los 15 edificios con mal desempeño, tienen su eje de mayor longitud con orientación E-W y al mismo tiempo presentan los daños en la dirección de menor longitud en planta (eje y), aquí se incluyen 3 edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso.

Las características asociadas a las irregularidades, representadas mediante índices, muestran correlación con los daños, principalmente los índices asociados a la forma de las plantas y aquellos asociados directa o indirectamente a la rigidez de los pisos.

Los índices de irregularidad que presentan mejor correlación con los daños son el índice de irregularidad por entradas en planta (8 edificios de 15 con mal desempeño), el índice de irregularidad por discontinuidad en rigidez (5 de 15), el índice de irregularidad por discontinuidad en resistencia (4 de 15), el índice de irregularidad por discontinuidad de muros y el índice de irregularidad vertical geométrica (ambos con 2 de 15). Cabe destacar que tres de los cuatro edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso presentan a lo menos una irregularidad extrema, estas irregularidades están asociadas directa e indirectamente a diferencias de rigidez entre pisos.

Finalmente se observó que siete edificios de la muestra total tienen densidades de muros menores a 2% en el piso crítico, seis de ellos con mal desempeño, de estos seis, en cuatro edificios la dirección del daño coincide con la dirección local con menor densidad de muros.

Dadas las correlaciones detectadas, es posible concluir que existen algunas características que podrían haber sido importantes en el desempeño de los edificios en el sismo de 2010 en Chile, entre las más probables está el déficit de armadura al corte y al confinamiento, la orientación y

dirección del daño, el posible acoplamiento de periodos suelo-estructura, y en menor medida las irregularidades, y la baja densidad de muros en el piso crítico. De esta forma se cumple el objetivo principal de este trabajo, el cual era detectar características comunes que podrían haber sido importantes en el desempeño sísmico de los edificios, así mismo, se logró descartar un gran número de características, las cuales no presentaron mayores correlaciones con los daños. Mediante un análisis más detallado se podría determinar más precisamente qué impacto podrían tener las características con cierto nivel de correlación con los daños en el desempeño sísmico de los edificios.

## 11 REFERENCIAS

- ACI COMMITTEE 318, AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (2008). *Building Code. Requirements for Structural Concrete.*
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (2013). *ACI 374.*
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. (2010). *ASCE 7-10, Minimum Design for Buildings and Others Structures.*
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. (2013). *ASCE/SEI 41-13.*
- BONELLI, P., & RESTREPO, J. (2010). Observaciones de Daños en Edificios de Hormigón Armado Producidos por el Terremoto de Chile Central, 27 de Febrero de 2010.
- CARRASCO, O., & NUÑEZ, C. (2010). *Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Viña del Mar.* UTFSM.
- DIRECCIÓN DE OBRAS MUNICIPALIDAD DE VIÑA DEL MAR. (s.f.). Planos de Edificios dañados. Viña del Mar.
- EARTHQUAKE SPECTRA. (2012). Volume 28, Issue S1. *Earthquake Spectra*, S245-S256.
- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY . (1997). *NEHRP Comentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings.*
- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. (2006). *Next-Generation Performance-Based Seismic Design Guidelines.*
- GANÁ, P., WALL, R., & GUTIERREZ., A. (1996). *Mapa Geológico del Área de Valparaíso-Curacaví (escala 1:100.000).* SERNAGEOMIN.
- GOOGLE. (s.f.). Google Earth, Mapa 2009.
- GRIMME, K., & ALVAREZ, L. (1964). *El Suelo de Fundación de Valparaíso Y Viña del Mar.*
- GUENDELMAN, T., & LINDEMBERG, J. (1997). *Perfil Bío-Sísmico de edificios.*
- HENOCH, R. (2007). *Calificación Sísmica de Edificios Altos.*
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). (2009). *NCh1537 Of.2009, cargas permanentes y sobrecargas de uso.*
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). (2010). *NCh3171 Of.2010, disposiciones generales y combinaciones de carga.*
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). (2011). *NCh430.Of2008+DS60.; Hormigón Armado, Requisitos de Diseño y Cálculo.*
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). (2011). *NCh433.Of2009+DS.61. Diseño Sísmico de Edificios.* Santiago, Chile.

- INTERNATIONAL BUILDING CODE. (s.f.). *Guide to the Design of Common Irregularities in Buildings 2012/2015 IBC*.
- NATIONAL BUILDING CODE OF CANADA. (2010). *NBCC2010*.
- PACIFIC EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH CENTER. (2010). Guidelines for Performance- Based Seismic Design of Tall Buildings.
- PATRICIO BONELLI Y ASOCIADOS LTDA. (s.f.). Planos y memorias de edificios con buen desempeño.
- PÉREZ, L., & AVILÉS, J. (1997). Site effects and soil-structure interaction in the Valley of Mexico.
- RIVANO, S., SEPÚLVEDA, P., & BORIC, R. (1993). *Mapa Geológico de las Hojas Quillota y Portillo (ESCALA 1:250.000)*. SERNAGEOMIN.
- THIERS, R. (2014). *Daños en Edificios de Hormigón Armado y su Relación con el Suelo-Terremoto de Chile de 2010*. UTFSM.
- THORSON, R. (1999). *La Falla del Marga-Marga*.
- UNITES STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). (s.f.). *Magnitude 8.8 – Offshore Maule, Chile*. Obtenido de <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqsww/Quakes/us2010tfan.php>
- VERDUGO, A. (1996). *Estudio Geofísico de los Suelos de Fundación para una Zonificación Sísmica de Valparaíso y Viña del Mar*.