



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE DAÑOS POR FLEXO-  
COMPRESIÓN EN MUROS DE HORMIGÓN ARMADO PARA EL  
TERREMOTO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010 Y ESTUDIO DE  
DEMANDAS DE DEFORMACIONES**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**IVÁN ALEJANDRO CÁCERES PADILLA**

PROFESOR GUÍA  
LEONARDO MASSONE SÁNCHEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
RENÉ LAGOS CONTRERAS  
AUGUSTO HOLMBERG FUENZALIDA

SANTIAGO DE CHILE  
DICIEMBRE 2012

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL  
POR: IVÁN CACERES PADILLA  
FECHA: 28/12/2012  
PROF. GUÍA: LEONARDO MASSONE SÁNCHEZ

## **“RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE DAÑOS POR FLEXO-COMPRESIÓN EN MUROS DE HORMIGÓN ARMADO PARA EL TERREMOTO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010 Y ESTUDIO DE DEMANDAS DE DEFORMACIONES”**

Este trabajo tiene como objetivo recopilar y analizar información referente a reporte de daños, planos estructurales y modelos de edificios de hormigón armado de uso habitacional dañados durante el terremoto de magnitud Mw 8.8 ocurrido el 27 de febrero del 2010 en Chile. Los principales daños observados fueron producidos por flexo-compresión en muros. Estos daños se producen producto de la compresión excesiva de las fibras de hormigón en el borde de muro generada por la interacción de la carga axial y momento flector. Estos daños se evidenciaron principalmente en el pandeo y en ocasiones fractura de su enfierradura principal en el extremo del muro junto con desprendimiento del hormigón.

Con este propósito se estudiarán dos edificios que presentaron daños por flexo-compresión en alguno de sus muros. Se incluye además un edificio adicional que no presentó este tipo de daños, distanciado a menos de 100 metros de uno de los edificios dañados, para de esta forma tener condiciones similares de suelo. Se analizarán los edificios mediante modelos computacionales lineales y elásticos, en particular, se analizarán los muros que sufrieron daños por flexo-compresión producto del sismo del 27F, mirando en particular las demandas de deformaciones producto de los desplazamientos de techo esperados, estimadas a partir de las demandas de curvatura. Esto se analizará en base a la normativa vigente.

Los resultados de los análisis indican que los muros dañados obtienen deformaciones unitarias del hormigón superiores al 0,003 establecido por la normativa vigente. Estas deformaciones se obtienen cuando se analiza en el sentido de falla que tuvieron los muros, que corresponde a la dirección transversal de los edificios, siendo ésta la dirección más representativa del estudio. En las otras direcciones, se obtienen valores menores que 0,003 para las deformaciones unitarias de los muros analizados. Particularmente, cuando se analiza la dirección longitudinal del edificio, en sus dos sentidos, se obtiene que los muros se encuentran fuertemente acoplados y los modelos entregan bajos desplazamientos de techo.

Las conclusiones de este trabajo indican que los muros dañados durante el sismo del 27 de febrero de 2010 efectivamente se dañarían en términos de deformaciones unitarias, siendo los primeros muros en alcanzar su capacidad máxima cuando se analiza en el sentido de la falla de los muros para los edificios dañados. Este estado último de cargas permite determinar cuándo un muro alcanza su deformación elástica y potencialmente el daño. Por otro lado, el edificio no dañado presenta niveles de deformación de los muros menores que para los edificios dañados cuando se asume que la longitud de la rótula plástica es 0,5 veces la longitud del muro en la dirección de análisis. De esta forma es posible correlacionar parte del daño con requerimientos de deformación unitaria en muros y permite entregar una herramienta simple y práctica o un indicador de que se requiere un diseño o detallamiento especial.

*A mis padres y hermanos...  
Los amo...*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar quisiera agradecer a mi familia, en especial a mis padres por todo su insuperable esfuerzo para entregarme el apoyo y la buena educación que tuve. Sin ustedes no hubiera alcanzado esta meta.

Quiero agradecer especialmente a mi profesor guía, Leonardo Massone, por la buena disposición y apoyo brindado a lo largo de esta etapa.

Agradezco a Don René Lagos y Don Augusto Holmberg por haber aceptado ser parte de este estudio.

Agradezco también a quienes me ayudaron a comprender detalles importantísimos de este trabajo, a Carolina Romo, Paula Silva y Mario Lafontaine.

Es necesario agradecer a las oficinas de cálculo que facilitaron la información de los edificios que son parte de este estudio.

Agradezco en general a mis amigos que han estado presentes en esta larga etapa, quienes me dieron la fuerza para seguir cuando éstas se estaban agotando.

A todos, muchas gracias...



## TABLA DE CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCION.....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1 INTRODUCCION/MOTIVACION.....   | 1         |
| 1.2 OBJETIVOS .....  | 2         |
| 1.2.1 Objetivos Generales .....  | 2         |
| 1.2.2 Objetivos Específicos .....  | 2         |
| 1.3 METODOLOGIA.....   | 2         |
| 1.3.1 Selección de los edificios a estudiar:.....                                | 2         |
| 1.3.2 Recopilación de la información:.....                                       | 2         |
| 1.3.3 Estudio de los modelos: .....  | 2         |
| 1.3.4 Estudio de deformaciones: .....  | 2         |
| <b>2. MARCO TEORICO.....</b>   | <b>4</b>  |
| 2.1 DISEÑO SISMICO DE EDIFICIOS.....   | 4         |
| 2.1.1 Generalidades .....  | 4         |
| 2.1.2 Parámetros característicos de las estructuras .....                        | 4         |
| 2.1.3 Espectro de diseño .....   | 5         |
| 2.1.4 Límites del Corte Basal .....  | 6         |
| 2.1.5 Espectro Elástico de Desplazamientos .....                                 | 7         |
| 2.1.6 Desplazamiento lateral de diseño de techo .....                            | 7         |
| 2.2 CONSIDERACIONES DEL ANALISIS .....   | 7         |
| 2.2.1 Estimación de la curvatura última.....                                     | 7         |
| 2.2.2 Procedimiento.....   | 9         |
| 2.2.3 Estimación de la Razón de Capacidad (RC) o Factor de Utilización (FU)..... | 9         |
| 2.2.4 Combinaciones de análisis.....   | 10        |
| 2.2.5 Factores de agrietamiento de muros.....                                    | 11        |
| 2.2.6 Factores de agrietamiento en losas y vigas .....                           | 12        |
| <b>3. IDENTIFICACIÓN DE LOS EDIFICIOS RECOPIRADOS .....</b>                      | <b>13</b> |
| 3.1 EDIFICIO A.....  | 13        |
| 3.1.1 Descripción de daños .....   | 14        |
| 3.1.2 Modelo de la estructura .....  | 16        |
| 3.1.3 Análisis modal espectral.....  | 17        |
| 3.2 EDIFICIO B.....  | 19        |
| 3.2.1 Descripción de daños .....   | 20        |
| 3.2.2 Modelo de la estructura .....  | 23        |
| 3.2.3 Análisis modal espectral.....  | 24        |
| 3.3 EDIFICIO C.....  | 25        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 3.3.1     | Modelo de la estructura .....   | 26        |
| 3.3.2     | Análisis modal espectral .....  | 27        |
| <b>4.</b> | <b>ANÁLISIS Y RESULTADOS .....</b>  | <b>28</b> |
| 4.1       | EDIFICIO A.....   | 28        |
| 4.1.1     | Determinación del factor de agrietamiento de muros.....                         | 28        |
| 4.1.2     | Asignación de factores de agrietamiento a muros .....                           | 28        |
| 4.1.3     | Asignación de factores de agrietamiento a losas y vigas.....                    | 29        |
| 4.1.4     | Comparación de períodos agrietados según el DS61 y el modelo computacional..... | 29        |
| 4.1.5     | Análisis del modelo.....  | 29        |
| 4.1.6     | Estudio de demanda de deformaciones .....                                       | 32        |
| 4.2       | EDIFICIO B.....   | 36        |
| 4.2.1     | Determinación del factor de agrietamiento de muros.....                         | 36        |
| 4.2.2     | Asignación de factores de agrietamiento a muros .....                           | 36        |
| 4.2.3     | Asignación de factores de agrietamiento a losas y vigas.....                    | 37        |
| 4.2.4     | Comparación de períodos agrietados según el DS61 y el modelo computacional..... | 37        |
| 4.2.5     | Análisis del modelo.....  | 37        |
| 4.2.6     | Estudio de demanda de deformaciones .....                                       | 40        |
| 4.3       | EDIFICIO C.....   | 44        |
| 4.3.1     | Determinación del factor de agrietamiento de muros.....                         | 44        |
| 4.3.2     | Asignación de factores de agrietamiento a muros .....                           | 44        |
| 4.3.3     | Asignación de factores de agrietamiento a losas y vigas.....                    | 45        |
| 4.3.4     | Comparación de períodos agrietados según el DS61 y el modelo computacional..... | 45        |
| 4.3.5     | Análisis del modelo.....  | 45        |
| 4.3.6     | Estudio de demanda de deformaciones .....                                       | 47        |
| 4.4       | COMPARACIÓN Y COMENTARIOS .....   | 52        |
| <b>5.</b> | <b>CONCLUSIONES.....</b>  | <b>59</b> |
| <b>6.</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS .....</b>   | <b>60</b> |

**ANEXO A: RESULTADOS**

**ANEXO B: PLANTA DE MUROS**

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 2.1</b> Parámetros considerados en el diseño. ....                                     | 4  |
| <b>Tabla 2.2</b> Parámetros asociados al suelo tipo B y C. ....                                 | 5  |
| <b>Tabla 2.3</b> Clasificación según ubicación geográfica. ....                                 | 5  |
| <b>Tabla 2.4</b> Aceleración efectiva máxima de suelo según zona sísmica. ....                  | 5  |
| <b>Tabla 2.5</b> Factores de modificación de respuesta. ....                                    | 5  |
| <b>Tabla 2.6</b> Valores de $C_d^*$ para suelo tipo B y C. ....                                 | 7  |
| <b>Tabla 3.1</b> Edificios recopilados. ....  | 13 |
| <b>Tabla 3.2</b> Datos de análisis modal espectral, Edificio A. ....                            | 17 |
| <b>Tabla 3.3</b> Resultados del análisis modal, Edificio A. ....                                | 18 |
| <b>Tabla 3.4</b> Estimación del desplazamiento último de techo, suelo B, Edificio A. ....       | 18 |
| <b>Tabla 3.5</b> Estimación del desplazamiento último de techo, suelo C, Edificio A. ....       | 18 |
| <b>Tabla 3.6</b> Datos de análisis modal espectral, Edificio B. ....                            | 24 |
| <b>Tabla 3.7</b> Resultados del análisis modal, Edificio B. ....                                | 24 |
| <b>Tabla 3.8</b> Estimación del desplazamiento último de techo, suelo B, Edificio B. ....       | 24 |
| <b>Tabla 3.9</b> Estimación del desplazamiento último de techo, suelo C, Edificio B. ....       | 24 |
| <b>Tabla 3.10</b> Datos de análisis modal espectral, Edificio C. ....                           | 27 |
| <b>Tabla 3.11</b> Resultados del análisis modal, Edificio C. ....                               | 27 |
| <b>Tabla 3.12</b> Estimación del desplazamiento último de techo, suelo B, Edificio C. ....      | 27 |
| <b>Tabla 3.13</b> Estimación del desplazamiento último de techo, suelo C, Edificio C. ....      | 27 |
| <b>Tabla 4.1</b> Factores de agrietamiento muros primer piso, Edificio A. ....                  | 28 |
| <b>Tabla 4.2</b> Asignación de agrietamiento de muros en la altura, Edificio A. ....            | 28 |
| <b>Tabla 4.3</b> Períodos agrietados según el DS61 y el modelo computacional, Edificio A. ....  | 29 |
| <b>Tabla 4.4</b> Resumen de FU dependiendo de la dirección de análisis, Edificio A. ....        | 29 |
| <b>Tabla 4.5</b> Análisis en la dirección Y, Edificio A. ....                                   | 31 |
| <b>Tabla 4.6</b> Análisis en la dirección -Y, Edificio A. ....                                  | 31 |
| <b>Tabla 4.7</b> Análisis en la dirección X, Edificio A. ....                                   | 31 |
| <b>Tabla 4.8</b> Análisis en la dirección -X, Edificio A. ....                                  | 32 |
| <b>Tabla 4.9</b> Factores de agrietamiento muros primer piso, Edificio B. ....                  | 36 |
| <b>Tabla 4.10</b> Asignación de agrietamiento de muros en la altura, Edificio B. ....           | 36 |
| <b>Tabla 4.11</b> Períodos agrietados según el DS61 y el modelo computacional, Edificio B. .... | 37 |
| <b>Tabla 4.12</b> Resumen de FU dependiendo de la dirección de análisis, Edificio B. ....       | 37 |
| <b>Tabla 4.13</b> Análisis en la dirección Y, Edificio B. ....                                  | 39 |
| <b>Tabla 4.14</b> Análisis en la dirección -Y, Edificio B. ....                                 | 39 |
| <b>Tabla 4.15</b> Análisis en la dirección X, Edificio B. ....                                  | 39 |
| <b>Tabla 4.16</b> Análisis en la dirección -X, Edificio B. ....                                 | 40 |
| <b>Tabla 4.17</b> Factores de agrietamiento muros primer piso, Edificio C. ....                 | 44 |
| <b>Tabla 4.18</b> Asignación de agrietamiento de muros en la altura, Edificio C. ....           | 44 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 4.19</b> Períodos agrietados según el DS61 y el modelo computacional, Edificio C.....                           | 45 |
| <b>Tabla 4.20</b> Resumen de FU dependiendo de la dirección de análisis, Edificio C.....                                 | 45 |
| <b>Tabla 4.21</b> Análisis en la dirección Y, Edificio C.....  | 46 |
| <b>Tabla 4.22</b> Análisis en la dirección -Y, Edificio C. ....  | 47 |
| <b>Tabla 4.23</b> Análisis en la dirección X, Edificio C.....  | 47 |
| <b>Tabla 4.24</b> Análisis en la dirección -X, Edificio C. ....  | 47 |
| <b>Tabla 4.25</b> Deformaciones unitarias para muro C2 sin considerar $L^{equiv}$ , Edificio C. ....                     | 49 |
| <b>Tabla 4.26</b> Resumen desplazamientos de techo elásticos ( $\bar{\delta}_e$ ) según las direcciones de análisis..... | 52 |
| <b>Tabla 4.27</b> Demandas de desplazamientos de techo estimadas según DS61.....   | 52 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 2.1</b> Modelo refinado y modelo simple para estimar el desplazamiento de techo de un muro (Wallace & Orakcal 2002) ..... | 8  |
| <b>Figura 2.2</b> Volumen de interacción para el cálculo de RC de muros tridimensionales (Taboada & De Izcue 2009). .....           | 10 |
| <b>Figura 2.3</b> Cálculo de la razón de capacidad para muros bidimensionales (CSI 2010). .....                                     | 10 |
| <b>Figura 2.4</b> Suposición de diseño (Rigidez Constante). .....   | 11 |
| <b>Figura 2.5</b> Condiciones reales (Curvatura de Fluencia Constante). .....   | 11 |
| <b>Figura 3.1</b> Planta cielo primer subterráneo, Edificio A. ....   | 13 |
| <b>Figura 3.2</b> Planta cielo primer piso, Edificio A. ....  | 14 |
| <b>Figura 3.3</b> Planta cielo segundo piso, Edificio A. ....   | 14 |
| <b>Figura 3.4</b> Zona Dañada - Planta cielo primer piso, Edificio A. ....  | 15 |
| <b>Figura 3.5</b> Daños por flexo-compresión en muro en eje 7, Edificio A. ....   | 16 |
| <b>Figura 3.6</b> Vista 3D del Edificio A. ....   | 17 |
| <b>Figura 3.7</b> Planta cielo segundo subterráneo, Edificio B. ....  | 19 |
| <b>Figura 3.8</b> Planta cielo primer subterráneo, Edificio B. ....   | 20 |
| <b>Figura 3.9</b> Planta cielo primer piso, Edificio B. ....  | 20 |
| <b>Figura 3.10</b> Zona Dañada - Planta cielo primer subterráneo, Edificio B. ....  | 21 |
| <b>Figura 3.11</b> Muro eje F primer subterráneo, Edificio B. ....  | 22 |
| <b>Figura 3.12</b> Muro eje J primer subterráneo, Edificio B. ....  | 22 |
| <b>Figura 3.13</b> Muros ejes M y N primer subterráneo, Edificio B. ....  | 23 |
| <b>Figura 3.14</b> Vista 3D del Edificio B. ....  | 23 |
| <b>Figura 3.15</b> Planta cielo primer subterráneo, Edificio C. ....  | 25 |
| <b>Figura 3.16</b> Planta cielo primer piso, Edificio C. ....   | 25 |
| <b>Figura 3.17</b> Planta cielo segundo piso, Edificio C. ....  | 26 |
| <b>Figura 3.18</b> Vista 3D del Edificio C. ....  | 26 |
| <b>Figura 4.1</b> Muros definidos en la dirección Y, Edificio A. ....   | 30 |
| <b>Figura 4.2</b> Muros definidos en la dirección X, Edificio A. ....   | 30 |
| <b>Figura 4.3</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ , dirección Y, Edificio A. ....                                 | 32 |
| <b>Figura 4.4</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ , dirección -Y, Edificio A. ....                                | 33 |
| <b>Figura 4.5</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ , dirección X, Edificio A. ....                                 | 33 |
| <b>Figura 4.6</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ , dirección -X, Edificio A. ....                                | 34 |
| <b>Figura 4.7</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ según B&A, dirección Y, Edificio A. ....                        | 35 |
| <b>Figura 4.8</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ según B&A, dirección -Y, Edificio A. ....                       | 35 |
| <b>Figura 4.9</b> Muros definidos en la dirección Y, Edificio B. ....   | 38 |
| <b>Figura 4.10</b> Muros definidos en la dirección X, Edificio B. ....  | 38 |
| <b>Figura 4.11</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ , dirección Y, Edificio B. ....                                | 40 |
| <b>Figura 4.12</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ , dirección -Y, Edificio B. ....                               | 41 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 4.13</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ , dirección X, Edificio B. ....               | 42 |
| <b>Figura 4.14</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ , dirección -X, Edificio B. ....              | 42 |
| <b>Figura 4.15</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ según B&A, dirección Y, Edificio B. ....      | 43 |
| <b>Figura 4.16</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ según B&A, dirección -Y, Edificio B. ....     | 43 |
| <b>Figura 4.17</b> Muros definidos en la dirección Y, Edificio C. ....   | 46 |
| <b>Figura 4.18</b> Muros definidos en la dirección X, Edificio C. ....   | 46 |
| <b>Figura 4.19</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ , dirección Y, Edificio C. ....               | 48 |
| <b>Figura 4.20</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ , dirección -Y, Edificio C. ....              | 49 |
| <b>Figura 4.21</b> Diagrama largo equivalente muro C2, Edificio C. ....  | 49 |
| <b>Figura 4.22</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ , dirección X, Edificio C. ....               | 50 |
| <b>Figura 4.23</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ , dirección -X, Edificio C. ....              | 50 |
| <b>Figura 4.24</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ según B&A, dirección Y, Edificio C. ....      | 51 |
| <b>Figura 4.25</b> Deformaciones unitarias del hormigón $\epsilon_c$ según B&A, dirección -Y, Edificio C. ....     | 51 |
| <b>Figura 4.26</b> Comparación deformaciones unitarias del hormigón, dirección Y, Edificios A y B. ....            | 53 |
| <b>Figura 4.27</b> Comparación deformaciones unitarias del hormigón, dirección Y, Edificios A y C. ....            | 53 |
| <b>Figura 4.28</b> Comparación deformaciones unitarias del hormigón según B&A, dirección Y, Edificios A y B. ....  | 54 |
| <b>Figura 4.29</b> Comparación deformaciones unitarias del hormigón según B&A, dirección Y, Edificios A y C. ....  | 55 |
| <b>Figura 4.30</b> Comparación deformaciones unitarias del hormigón, dirección -Y, Edificios A y B. ....           | 56 |
| <b>Figura 4.31</b> Comparación deformaciones unitarias del hormigón, dirección -Y, Edificios A y C. ....           | 57 |
| <b>Figura 4.32</b> Comparación deformaciones unitarias del hormigón según B&A, dirección -Y, Edificios A y B. .... | 57 |
| <b>Figura 4.33</b> Comparación deformaciones unitarias del hormigón según B&A, dirección -Y, Edificios A y C. .... | 58 |

# 1. INTRODUCCION

## 1.1 INTRODUCCION/MOTIVACION

A lo largo de una gran parte de las costas de Chile, la Placa de Nazca subducta por debajo de la Placa Sudamericana con una velocidad aproximada de 6,8 cm/año definiendo una de las zonas convergentes más activas del mundo. Los esfuerzos y deformaciones asociados a este proceso generan una de las actividades sísmicas más altas en el mundo (tanto en cantidad de eventos como en su magnitud). Es así como a lo largo de la historia, muchos sismos han azotado a Chile, siendo probablemente el tipo de catástrofe natural más dañina que ocurre en el país, produciendo pérdidas humanas y económicas significativas, más aún, registrándose en el año 1960 el sismo de mayor magnitud en toda la humanidad. Así, como Chile es un país de alta actividad sísmica es muy importante que las estructuras se diseñen adecuadamente para que se comporten de manera satisfactoria ante cualquier evento sísmico.

En Chile, el día 27 de febrero de 2010 a las 03:34:14 hora local, se produjo un terremoto de magnitud Mw 8.8. El epicentro se ubicó en el mar chileno, frente a las localidades de Curanipe y Cobquecura, aproximadamente a 150 kilómetros al noreste de Concepción y a 63 kilómetros de Cobquecura, a una profundidad focal de 30,1 kilómetros bajo la corteza terrestre, según el Servicio Sismológico Nacional (SSN 2010) de la Universidad de Chile. El sismo tuvo una duración aproximada de 2 minutos 45 segundos, al menos en Santiago. Las zonas más afectadas por el terremoto fueron las regiones de Valparaíso, Metropolitana de Santiago, O'Higgins, Maule, Biobío y La Araucanía, que acumulan más de 13 millones de habitantes, cerca del 80% de la población del país.

Particularmente en la región Metropolitana, una serie de edificios fueron afectados producto del terremoto del 27F (CIPER 2010). En estos edificios se observaron variados tipos de fallas en diferentes lugares. Esto deja en evidencia insuficiencias en el diseño, ya sea durante la etapa de análisis o de la ejecución misma de la obra. En el presente estudio sólo se analizarán los edificios en base a la etapa de diseño.

Es por ello que se estudiarán tres de edificios de hormigón armado, específicamente de uso habitacional, ubicados en la región Metropolitana. En dos de ellos se analizarán sus muros que tuvieron daños por flexo-compresión y otros cercanos de manera de cuantificar los daños frente a deformaciones unitarias. Además se analizará un edificio que no presentó daños distanciado a menos de 100 metros de uno que sí se dañó, para de esta forma obtener condiciones similares del tipo de suelo. Los análisis se realizarán en base a la normativa vigente, en particular al Decreto Supremo N°60 y N°61 (MINVU 2011) y a la ACI318S-08 (ACI 2008), estimándose las demandas de curvatura producto del desplazamiento esperado de techo elástico y último, y con ello determinar las deformaciones unitarias de los elementos.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivos Generales**

Recopilar y analizar información referente a reporte de daños, planos estructurales y modelos de edificios de hormigón armado dañados durante el terremoto del 27 de febrero del 2010.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Estudiar daños en muros por flexo-compresión. Analizar mediante modelos simples los daños en muros estructurales de los edificios dañados, mirando en particular las demandas de deformaciones producto de los desplazamientos de techo esperados.

## **1.3 METODOLOGIA**

Para llevar a cabo el presente estudio se efectuó la siguiente secuencia de actividades:

### **1.3.1 Selección de los edificios a estudiar:**

La selección de los edificios de hormigón armado se realizó considerando aquellos de uso habitacional que tuvieron daños por flexo-compresión producto del terremoto del 27 de Febrero de 2010. Se eligieron dos edificios habitacionales que presentaron este tipo de daños que se encuentran en las comunas de Ñuñoa y Macul, región Metropolitana. Además, se eligió un edificio vecino que no sufrió daños, distanciado a menos de 100 metros de uno de los edificios considerados en el análisis que si presentó daños, por lo que se encontraba en condiciones similares de suelo y distancia al epicentro del sismo. Este edificio se encuentra ubicado en la comuna de Ñuñoa.

### **1.3.2 Recopilación de la información:**

Se recopila la información necesaria para el estudio como planos, reportes de daños emitidos y modelos de cada edificio habitacional. La información se obtiene directamente de las oficinas diseñadoras correspondientes. Debido a que ha pasado bastante tiempo desde el día del sismo hasta el presente estudio, en donde los daños ya han sido reparados, será necesaria la recopilación de fotografías en donde se muestre evidencia de lo ocurrido para así tener una visión general de los daños.

### **1.3.3 Estudio de los modelos:**

Se estudian los modelos originales de las oficinas de cálculo mediante un análisis elástico lineal. Los edificios que son parte de este estudio, fueron modelados en el software ETABS, programa especializado para el diseño de edificios de hormigón armado. Los muros de los modelos son agrietados en la altura conforme a los supuestos que serán descritos más adelante. Luego los modelos de los edificios son desplazados en las distintas direcciones hasta que alguno de los muros alcance un factor de utilización (FU) o razón de capacidad (RC) igual a 1. Los desplazamientos de techo obtenidos de los modelos son considerados como elásticos y junto con los desplazamientos de techo esperados según el Decreto Supremo N° 61 (MINVU 2011), se obtienen las demandas de curvatura según las expresiones indicadas en el Decreto Supremo N° 60 (MINVU 2011). Con ello se obtienen los niveles de deformación unitaria, tanto de los edificios dañados como del que no. Posteriormente se compararán las deformaciones unitarias para los edificios con daño y el sin daño en los distintos muros estructurales.

### **1.3.4 Estudio de deformaciones:**

Los niveles de deformaciones unitarias de compresión no necesariamente representarán la realidad, considerando que el modelo es lineal y elástico, y que para estimar las deformaciones unitarias se utilizaron las expresiones de la demanda de curvatura propuestas en el Decreto Supremo N°60 y que involucran ciertos supuestos que serán descritos más adelante. No obstante, se espera que las deformaciones unitarias del hormigón de los muros dañados se acerquen a valores similares o mayores



que 0,003, dada la característica frágil de las fallas observadas en el terremoto. En particular se estudiarán los muros dañados de manera de correlacionar el daño con los resultados de los análisis.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 DISEÑO SISMICO DE EDIFICIOS

#### 2.1.1 Generalidades

El diseño sísmico de edificios está regido por la Norma Técnica NCh433 donde su última versión corresponde a la NCh433.Of1996 Mod.2009 (INN 2009).

En cuanto a los principios e hipótesis básicos de la NCh433.Of1996 Mod.2009, el capítulo 5.1.1 especifica que la normativa está orientada a lograr estructuras que:

- a. Resistan sin daños movimientos sísmicos de intensidad moderada
- b. Limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad
- c. Aunque presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severa.

Producto del terremoto que afectó a Chile el 27 de febrero de 2010, la NCh433 volvió a sufrir modificaciones. La última modificación de la norma fue realizada en noviembre de 2011, que corresponde al Decreto Supremo N°61 (MINVU 2011), en adelante DS61. Es así como el diseño sísmico de edificios deberá realizarse de conformidad a las exigencias establecidas en el DS61 y en lo que no se contraponga con éstas, suplementariamente, por lo establecido en la NCh433.Of1996 Mod.2009.

Dentro de las modificaciones realizadas, se destacan las siguientes:

- Clasificación Sísmica del Terreno
- Espectro de Diseño
- Espectro Elástico de Desplazamientos.

#### 2.1.2 Parámetros característicos de las estructuras

La totalidad de las estructuras que componen este estudio corresponden a edificios habitacionales cuya materialidad corresponde a hormigón armado. Estas características definen ciertos parámetros del pseudo-espectro de aceleraciones, los que son definidos de forma explícita en la norma.

En relación a la zonificación sísmica y a la clasificación de suelos, estas varían dependiendo del emplazamiento de los edificios y de las condiciones naturales que se encuentra el suelo, respectivamente.

La Tabla 2.1 muestra los parámetros generales considerados en el diseño.

**Tabla 2.1** Parámetros considerados en el diseño.

| Parámetro              | Clasificación   |
|------------------------|-----------------|
| Categoría del edificio | C               |
| Tipo de Suelo          | B ó C           |
| Materialidad           | Hormigón Armado |

La categoría de la estructura define el coeficiente de importancia,  $I$ , que depende exclusivamente del uso que tendrá ésta. En esta ocasión las estructuras corresponden a edificios habitacionales lo que implica un coeficiente de importancia igual a 1, según la NCh433.Of1996 Mod.2009.

La clasificación del tipo de suelo se realizó según la mecánica de suelos de cada edificio y se realizaron acorde a la NCh433.Of1996 (INN 1996) donde el suelo clasificaba como tipo II.

Debido a la modificación realizada a esta norma en relación a la clasificación del suelo, reflejada en el DS61 (MINVU 2011), la clasificación mencionada en el párrafo anterior queda obsoleta. Dicho tipo de suelo se asemeja a suelo B ó C del DS61, es por ello que se realizará una comparación entre los desplazamientos de techo esperado para el suelo tipo B y C aplicado a los edificios. A continuación se indican los parámetros asociados a estos suelos.

**Tabla 2.2** Parámetros asociados al suelo tipo B y C.

| Parámetro      | Tipo de suelo |      |
|----------------|---------------|------|
|                | B             | C    |
| S              | 1             | 1,05 |
| T <sub>0</sub> | 0,30          | 0,40 |
| T'             | 0,35          | 0,45 |
| n              | 1,33          | 1,40 |
| p              | 1,5           | 1,6  |

La Tabla 2.3 muestra la clasificación según la ubicación geográfica de los edificios.

**Tabla 2.3** Clasificación según ubicación geográfica.

| Ubicación    | Zona Sísmica |
|--------------|--------------|
| Santiago, RM | 2            |

De acuerdo a la zonificación sísmica señalada en la Tabla 2.3, se obtiene el valor de las aceleraciones máximas del suelo.

**Tabla 2.4** Aceleración efectiva máxima de suelo según zona sísmica.

| Zona sísmica | A <sub>0</sub> |
|--------------|----------------|
| 2            | 0,3g           |

Finalmente, para el tipo de material y sistema estructural de los edificios, se definen los parámetros indicados en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5** Factores de modificación de respuesta.

| Parámetro      | Valor |
|----------------|-------|
| R              | 7     |
| R <sub>0</sub> | 11    |

### 2.1.3 Espectro de diseño

El espectro de diseño para el análisis de la estructura, definido en el DS61, que determina la resistencia sísmica de la estructura está definido por:

$$S_a = \frac{I \cdot A_0 \cdot \alpha}{R^*}$$

Los valores de  $I$  y  $A_0$  fueron indicados con anterioridad.

El factor de amplificación  $\alpha$  se determina para cada modo de vibrar  $n$ , de acuerdo a la expresión:

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

Mientras que el factor de reducción de respuesta se determina como sigue:

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

En que:

$T_0$  = parámetro asociada al tipo de suelo indicado en la Tabla 2.2.

$T_n$  = período de vibración del modo n.

$T^*$  = período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis.

$R_0$  = factor de modificación de respuesta indicado en la Tabla 2.5.

#### 2.1.4 Límites del Corte Basal

En el punto 6.3.7 de la NCh433, se definen las limitaciones del esfuerzo de corte basal de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$Q_{min} = \frac{I \cdot A_0 \cdot P}{6 \cdot g}$$

$$Q_{max} = I \cdot C_{max} \cdot P$$

Donde P es el peso sísmico, que corresponde a la suma de las cargas permanentes más un porcentaje de la sobrecarga de uso, que no podrá ser inferior al 25% en construcciones destinadas a la habitación privada.

El coeficiente  $C_{max}$  depende del parámetro R y se obtiene de acuerdo a la siguiente expresión:

$$C_{max} = \frac{0.35 \cdot S \cdot A_0}{g}$$

De esta forma, el corte basal reducido ( $Q_{reducido}$ ) debe encontrarse entre el corte basal mínimo ( $Q_{min}$ ) y el corte basal máximo ( $Q_{max}$ ).

$$Q_{reducido} = \frac{Q_{elástico}}{R^*}$$

Donde  $Q_{elástico}$  corresponde al corte basal elástico, esto es, sin aplicar factor de reducción ( $R^*=1$ ).

En el presente estudio se optaron ciertas consideraciones que se mencionan a continuación.

- En el caso que  $Q_{reducido}$  no cumpla los límites de corte basal, se define un parámetro  $R^{**}$  que corresponde al factor de reducción efectivo de manera de cumplir con estos límites.

Por ejemplo, si el  $Q_{reducido}$  es menor que el  $Q_{min}$  (o mayor que  $Q_{max}$ ), entonces el factor de reducción efectivo  $R^{**}$  es determinado como:

$$R^{**} = \frac{Q_{elástico}}{Q_{min} \text{ (ó } Q_{max})}$$

Así, el corte basal efectivo ( $Q_{efectivo}$ ) queda determinado por  $Q_{min}$  o  $Q_{max}$ , según sea el caso.

### 2.1.5 Espectro Elástico de Desplazamientos

El espectro elástico de desplazamientos,  $S_{de}$ , requerido para el cálculo del desplazamiento de techo esperado se obtiene de la siguiente expresión:

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

El parámetro  $C_d^*$  depende del tipo de suelo. En este estudio, el tipo de suelo de interés corresponde a los clasificados como B o C. Los valores de  $C_d^*$  para el suelo tipo B y C son los indicados en la Tabla 2.6:

**Tabla 2.6** Valores de  $C_d^*$  para suelo tipo B y C.

| Tipo de Suelo | $C_d^*$                       | Rango Períodos                                 |
|---------------|-------------------------------|--|
| 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                           | $T_n \leq 0.65 \text{ seg}$                    |
|               | $0.57T_n + 0.63$              | $0.65 \text{ seg} < T_n \leq 2.02 \text{ seg}$ |
|               | $0.055T_n^2 - 0.63T_n + 2.83$ | $2.02 \text{ seg} < T_n \leq 5.00 \text{ seg}$ |

### 2.1.6 Desplazamiento lateral de diseño de techo

El desplazamiento lateral de diseño en el techo,  $\delta_u$ , para estructuras de hormigón armado se define como la ordenada del espectro elástico de desplazamiento  $S_{de}$  para un 5% de amortiguamiento respecto al crítico, correspondiente al período de mayor masa traslacional en la dirección del análisis, multiplicada por un factor igual a 1,3.

$$\delta_u = 1,3 \cdot S_{de}(T_{ag})$$

Donde  $T_{ag}$  es el período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis, tomando en cuenta el efecto del agrietamiento del hormigón. Para ello se puede amplificar el período no agrietado por 1.5.

## 2.2 CONSIDERACIONES DEL ANALISIS

### 2.2.1 Estimación de la curvatura última

De acuerdo a lo indicado en el Decreto Supremo 60 (MINVU 2011), en adelante DS60, la demanda de curvatura ( $\phi_u$ ), puede ser calculada de acuerdo a la expresión 21.7 (a), siendo ésta la fórmula simplificada:

$$\phi_u = \frac{2 \cdot \delta_u}{H_t \cdot l_w}$$

Alternativamente se permite calcular  $\phi_u$  de acuerdo a la expresión 21.7 (b) del DS60:

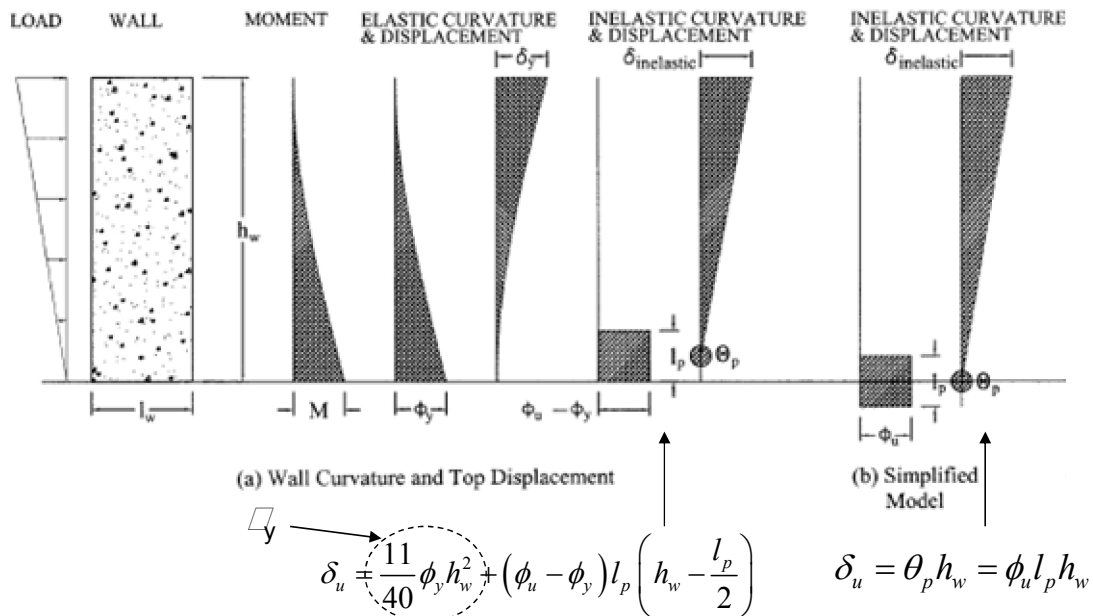
$$\phi_u = \frac{\delta_u - \delta_y}{l_p(H_t - \frac{l_p}{2})} + \phi_y$$

Donde  $\delta_u$  y  $\delta_y$  corresponden al desplazamiento de techo último y elástico, respectivamente. Los términos  $H_t$  y  $l_w$  corresponden a la altura total y longitud del muro, respectivamente. El término  $l_p$  corresponde a la longitud de la rótula plástica del muro.

Estas expresiones suponen, de acuerdo a Wallace & Orakcal (2002), que la sección crítica se ubica en la base del muro y que se tiene una distribución triangular invertida de las cargas laterales. El término  $\phi_u$  corresponde a la demanda de curvatura cuando se alcanza el desplazamiento  $\delta_u$ , mientras que la curvatura de fluencia  $\phi_y$  corresponde cuando el acero de refuerzo longitudinal del borde traccionado alcanza la deformación de fluencia ( $\epsilon_s=0,002$ ).

El modelo simplificado, fórmula 21.7 (a), no considera la contribución de las deformaciones elásticas en el extremo superior del muro, y mueve el centroide de las deformaciones plásticas a la base del muro.

La relación entre el desplazamiento de techo y la curvatura para un muro de sección transversal uniforme con una sección crítica simple se muestra en la Figura 2.1.



**Figura 2.1** Modelo refinado y modelo simple para estimar el desplazamiento de techo de un muro (Wallace & Orakcal 2002)

Para la estimación de la longitud de la rótula plástica ( $l_p$ ) se utilizarán las recomendaciones dadas por el DS60 (MINVU 2011) y Wallace & Orakcal (2002), que sugieren que ésta corresponde a 0,5 veces la longitud del muro en la dirección de análisis.

$$l_p = \frac{l_w}{2}$$

Una segunda expresión corresponde a un modelo más refinado propuesto por Bohl & Adebar (2011). Estos autores consideran la contribución de la carga axial y el corte del muro para estimar la longitud de la rótula plástica, la que se obtiene de acuerdo a la siguiente expresión:

$$l_p = (0.2l_w + 0.05z) \left( 1 - \frac{1.5P}{f'_c A_g} \right) \leq 0.8l_w$$

Donde  $z$  corresponde a la altura donde se produce el cambio de signo en el momento flector del muro,  $P$  es la carga axial,  $A_g$  es la sección del muro y  $f_c$  es la resistencia a compresión del hormigón.

De esta forma es posible obtener la demanda de curvatura y con ello las deformaciones unitarias de los elementos. Esto se puede realizar mediante un análisis seccional del muro, en donde para una determinada carga axial y curvatura se obtienen las deformaciones unitarias y profundidad de la línea neutra.

### 2.2.2 Procedimiento

El análisis actual contempla un procedimiento el cual se describe a continuación:

- a) Modelo del edificio en un programa computacional de elementos finitos. En el presente estudio se utilizó el software de análisis ETABS V9.7.2 (Computers & Structures Inc.).

Algunas consideraciones generales de los modelos utilizados.

- Muros y losas definidas como elementos de área. Por ejemplo, en ETABS estos elementos son denominados como “*Shell*”.
  - Vigas definidas como elementos de línea. Por ejemplo, en ETABS estos elementos son denominados como “*Frame*”.
  - Asignación de diafragmas rígidos por piso.
  - Mallado en muros y losas. Por ejemplo, en ETABS esto es denominado como “*Meshing*”.
- b) Diseñar el edificio de acuerdo a la normativa vigente.
  - c) Una vez calculada la armadura de los muros, se definen todos los muros del piso de interés, considerando alas colaborantes. En esta ocasión se utilizó el sub-programa “*Section Designer*” incorporado en ETABS.
  - d) Definir las combinaciones de carga de acuerdo al punto 2.2.4.
  - e) Estimar el factor de agrietamiento según lo indicado en el punto 2.2.5.
  - f) Agrietar los muros en la altura.
  - g) Agrietar las losas.
  - h) Definir la deformada del modo de mayor masa traslacional en la dirección de análisis. En el presente estudio esta será denominada como “*PUSH*”.
  - i) Mayorar la deformada del modo hasta observar que el primer muro alcance un factor de utilización (FU) o razón de capacidad (RC) igual a 1, definido en el punto 2.2.3, en la dirección de análisis que se esté ejecutando. De esta manera se obtiene el estado de carga último del muro.
  - j) Obtener el desplazamiento de techo elástico para cada muro.
  - k) Estimar la curvatura última utilizando las fórmulas del DS60 (MINVU 2011).
  - l) Determinar las deformaciones unitarias de los elementos.

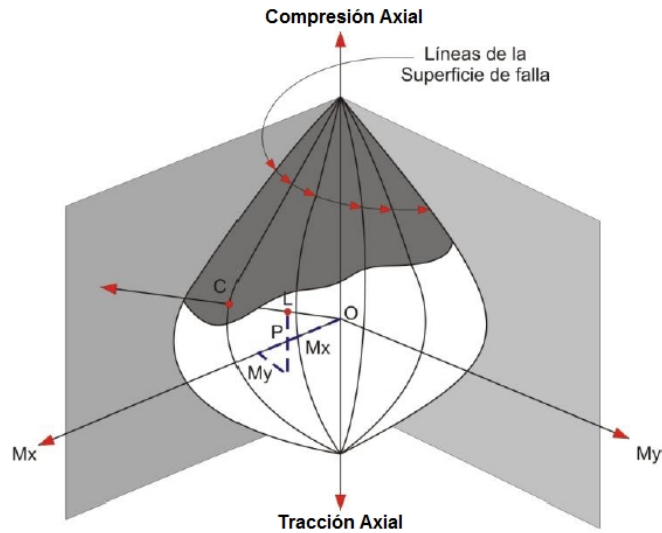
### 2.2.3 Estimación de la Razón de Capacidad (RC) o Factor de Utilización (FU)

El programa ETABS permite chequear la capacidad de una sección de hormigón para un acero longitudinal especificado, en términos de la Razón de Capacidad (RC), que es un factor que indica la condición de esfuerzos de la columna, con respecto a su capacidad.

El procedimiento de chequeo de los muros que realiza el programa, consta de los siguientes pasos:

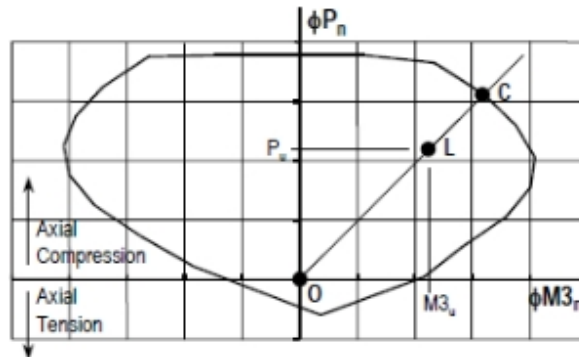
- La generación de una superficie o volumen de interacción de la fuerza axial y los momentos flectores biaxiales para una sección deseada.
- El chequeo de la capacidad del muro está basado en si los puntos de la carga de diseño se encuentran dentro del volumen de interacción, para lo cual se tendrá una sección adecuada y una  $RC < 1$ , sin embargo, si algún punto se encuentra fuera del volumen de interacción el

muro estará sobre esforzado y el programa calcula el RC, que es mayor a 1, por medio del cociente entre la demanda de capacidad (OL) y la capacidad del muro (OC),  $RC=OL/OC$ , tal como se muestra en la Figura 2.2.



**Figura 2.2** Volumen de interacción para el cálculo de RC de muros tridimensionales (Taboada & De Izcue 2009).

A modo de ejemplo se presenta la Figura 2.3 debido a que el valor de RC para un muro tridimensional es determinado de manera similar a lo descrito para un muro de dos dimensiones.



**Figura 2.3** Cálculo de la razón de capacidad para muros bidimensionales (CSI 2010).

#### 2.2.4 Combinaciones de análisis

El estudio contempla aplicar desplazamientos en la dirección de análisis al modelo computacional. Esto se realiza considerando la deformada del modo de mayor masa traslacional en la dirección de análisis. Para ello se utilizan las siguientes combinaciones de carga.

$$C1 = 1.2PP + 1.0SC + 1.0PUSH$$

$$C2 = 1.2PP + 1.0SC - 1.0PUSH$$

$$C3 = 0.9PP + 1.0PUSH$$

$$C4 = 0.9PP - 1.0PUSH$$



Donde,

PP = Peso propio de la estructura,

SC = Sobrecarga,

PUSH = Deformada del modo en la dirección de análisis a escalar.

### 2.2.5 Factores de agrietamiento de muros

Actualmente los diseños asumen que la rigidez de los muros es constante, así, al variar la armadura de un muro, se obtiene un momento nominal último proporcional a la curvatura de fluencia ( $\phi_y$ ), tal como se muestra en la Figura 2.4.

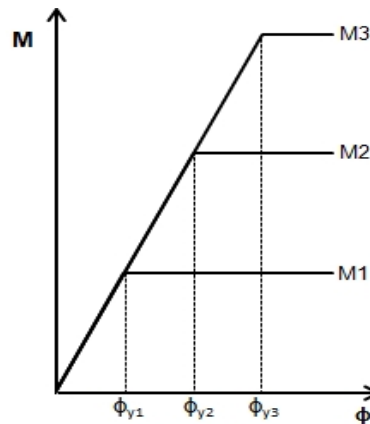


Figura 2.4 Suposición de diseño (Rigidez Constante).

Sin embargo, según Priestley y Kowalsky (1998), se establece que la curvatura de fluencia permanece prácticamente invariante frente a cambios en la carga axial y variación de la armadura del muro, y de esta manera es el momento nominal el que varía, tal como se muestra en la Figura 2.5.

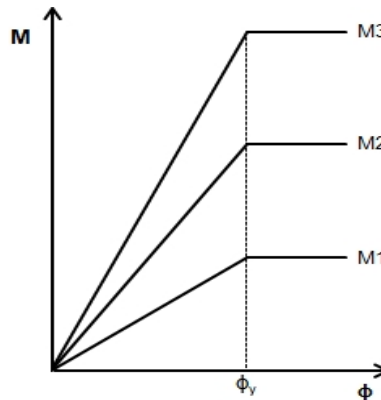


Figura 2.5 Condiciones reales (Curvatura de Fluencia Constante).

En el presente estudio se incorporó esta variación de la rigidez en los modelos. Para estimar el factor de agrietamiento de los muros, se utilizó el sub-programa “*Section Designer*” incorporado en el programa de diseño SAP2000 V14.1.0 (Computers & Structures Inc.) para definir los muros y con ello determinar el diagrama momento-curvatura, en particular el momento de fluencia ( $M_y$ ) y la curvatura de fluencia ( $\phi_y$ ).

Para estimar el estado de cargas últimas del muro, se mayoró la combinación definida como “PUSH” hasta obtener que el factor de utilización (FU) sea igual a 1. En esta etapa se utilizó el chequeo de ETABS conforme a la Norma ACI318-08.

De esta forma se puede obtener la rigidez agrietada de la sección transversal del muro ( $R_F$ ) como:

$$R_F = \frac{M_y}{\phi_y}$$

El módulo de elasticidad del hormigón ( $E_c$ ) se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

Con  $f'_c$  igual a la resistencia a compresión del hormigón en MPa.

La inercia del muro ( $I_w$ ) es propia de la geometría del muro, por lo tanto la rigidez no agrietada de la sección transversal ( $R_{NA}$ ) del muro corresponde a:

$$R_{NA} = E_c \cdot I_w$$

Por lo tanto, el factor de agrietamiento ( $\lambda$ ) queda determinado por siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{R_F}{R_{NA}}$$

Este factor es aplicado a la inercia de los muros ( $I_w$ ), obteniendo la inercia agrietada ( $I_{wa}$ ).

Cabe mencionar que por simplicidad no se iteró al momento de estimar  $\lambda$ , ya que es posible ir modificando el modelo en base a estos valores y realizar iterativamente el proceso hasta que  $\lambda$  converja a un número.

## 2.2.6 Factores de agrietamiento en losas y vigas

Al realizar los procedimientos de análisis se observó que los muros se encontraban acoplados principalmente cuando se analiza la dirección X. Con el fin de representar en forma más realista este efecto, se procedió a variar la rigidez de las losas y vigas, considerando que ante demandas sísmicas importantes estos elementos se agrietan. La reducción de la rigidez a flexión se realizó de acuerdo al punto 10.10.4.1 de la ACI318S-08 (ACI 2008) donde se establece un valor igual a 0,25 veces la inercia para las losas y 0,35 veces la inercia para las vigas. Estos valores corresponden a una buena aproximación para el estudio actual ya que consideran la influencia de regiones agrietadas a lo largo de los elementos.

### 3. IDENTIFICACIÓN DE LOS EDIFICIOS RECOPIRADOS

Este trabajo contempla el estudio de edificios habitacionales que hayan sufrido daños por flexo-compresión en alguno de sus muros durante el terremoto del 27 de febrero de 2010. Estos edificios son de hormigón armado y se encuentran ubicados en la Región Metropolitana, en las comunas de Ñuñoa y Macul.

La Tabla 3.1 muestra las características generales de los edificios que serán parte del presente estudio.

**Tabla 3.1** Edificios recopilados.

| Edificio | Comuna | Pisos | Subterráneos | Año  | Estado     |
|----------|--------|-------|--------------|------|------------|
| A        | Ñuñoa  | 21    | 2            | 2008 | Dañado*    |
| B        | Macul  | 18    | 2            | 2006 | Dañado     |
| C        | Ñuñoa  | 13    | 2            | 2008 | No Dañado* |

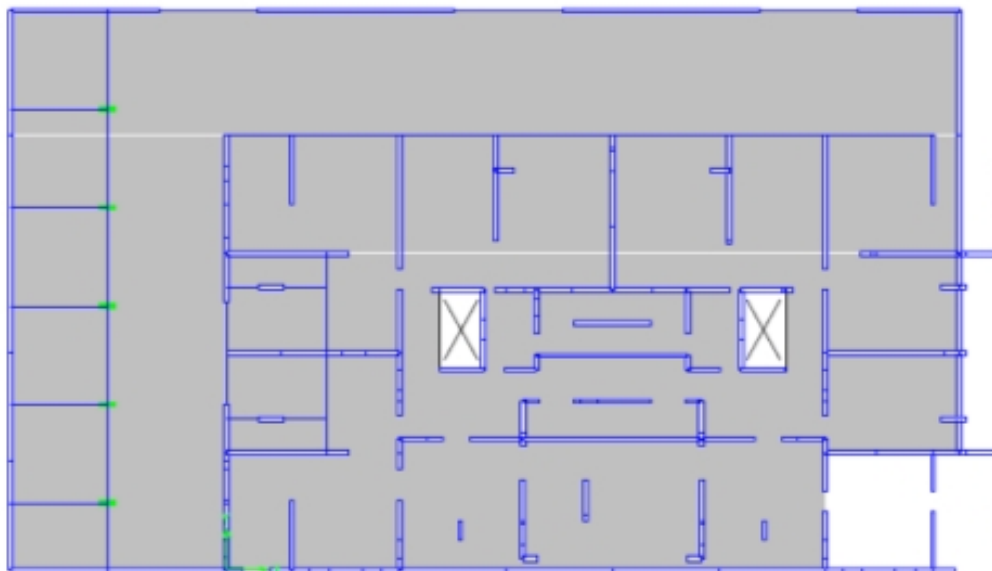
\*Nota: La ubicación relativa entre el edificio A y C es menor a 100 metros.

#### 3.1 EDIFICIO A

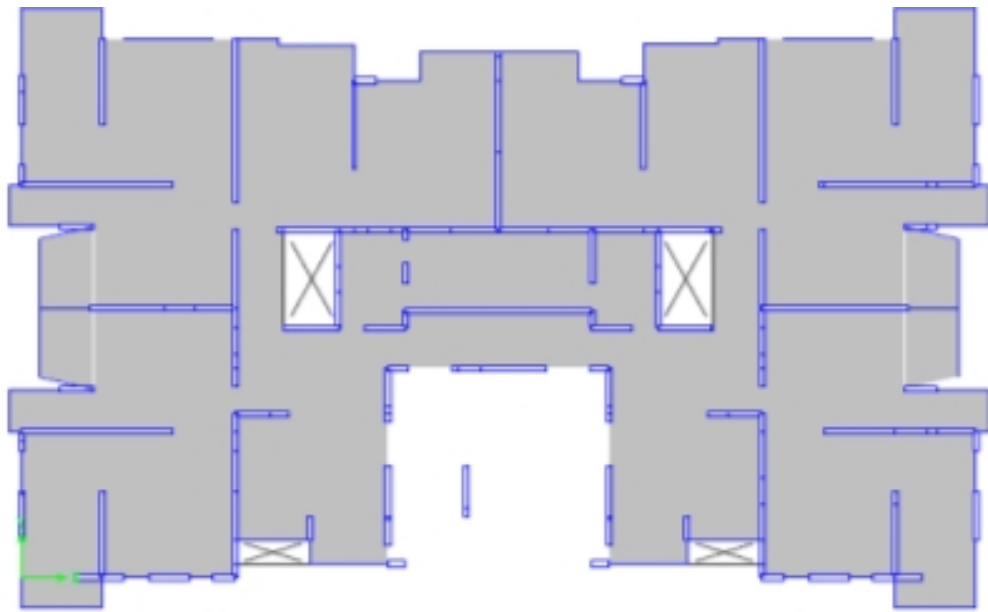
El edificio consta de 21 pisos y 2 subterráneos. En relación a su estructuración, el edificio está conformado por muros, vigas y losas de hormigón armado. La edificación tiene un total de 54,4 metros de altura sobre el terreno natural y una altura total, incluyendo subterráneos y fundaciones, igual a 62,8 metros.

En cuanto a los antecedentes de la estructura, se cuenta con los planos estructurales, mecánica de suelo, reporte de daños, modelo computacional en ETABS, entre otros. Los antecedentes recopilados provienen directamente de la oficina de cálculo que realizó el diseño estructural del proyecto.

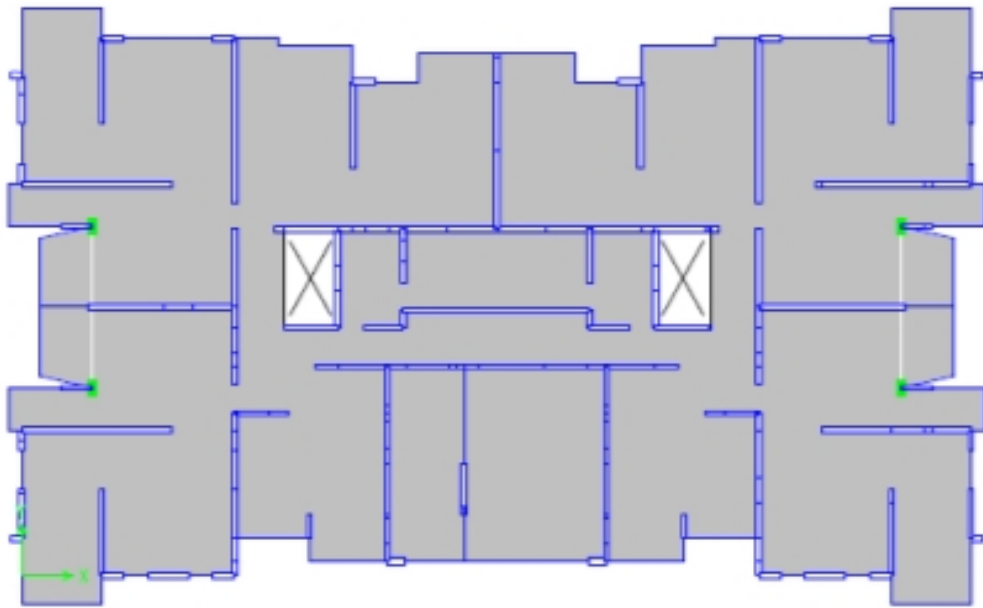
A continuación se muestran las plantas representativas de la edificación (Figura 3.1 a Figura 3.3).



**Figura 3.1** Planta cielo primer subterráneo, Edificio A.



**Figura 3.2** Planta cielo primer piso, Edificio A.



**Figura 3.3** Planta cielo segundo piso, Edificio A.

### 3.1.1 Descripción de daños

El presente estudio contempla sólo el análisis de daños en muros producto de la flexo-compresión generada por el sismo del 27 de febrero de 2010, por lo tanto, se indicarán sólo los daños en elementos estructurales que envuelven este tipo de fallas.

De acuerdo al reporte de daños, la zona afectada corresponde a la indicada en la Figura 3.4.

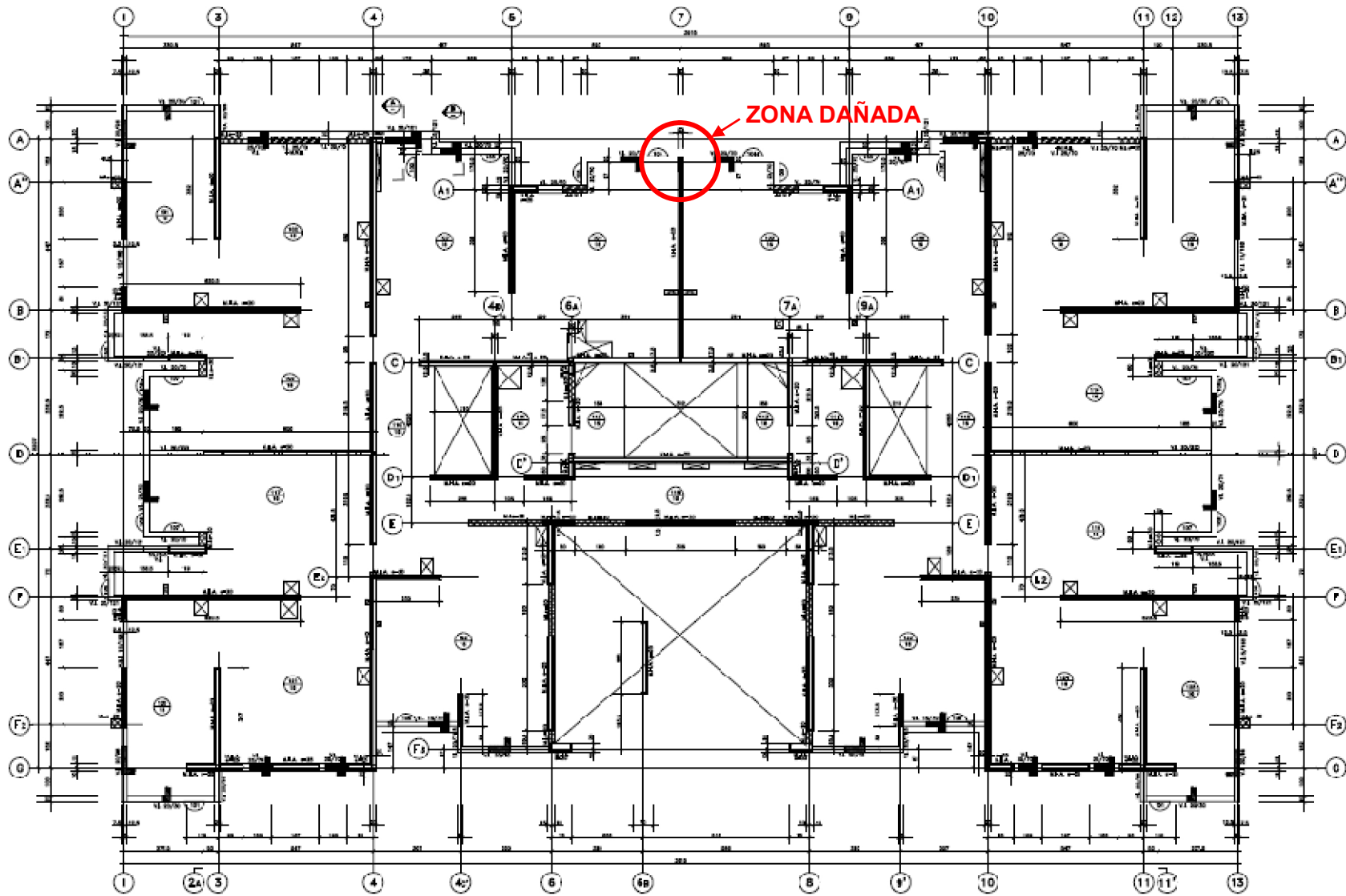


Figura 3.4 Zona Dañada - Planta cielo primer piso, Edificio A.

### **Muro en eje 7**

Este muro presenta una falla local de flexo-compresión, con pandeo de su enfierradura principal en uno de sus extremos. Esta situación afecta los primeros 70 cm de la longitud en planta del muro con desprendimiento de hormigón, hacia el interior del muro en planta la grieta de propaga 400 cm aproximadamente con pandeo de la malla vertical. Esta situación sólo se presenta en el primer piso, siendo el único muro del edificio con este tipo de falla.

La Figura 3.5 muestra el muro en eje 7 con los daños observados.

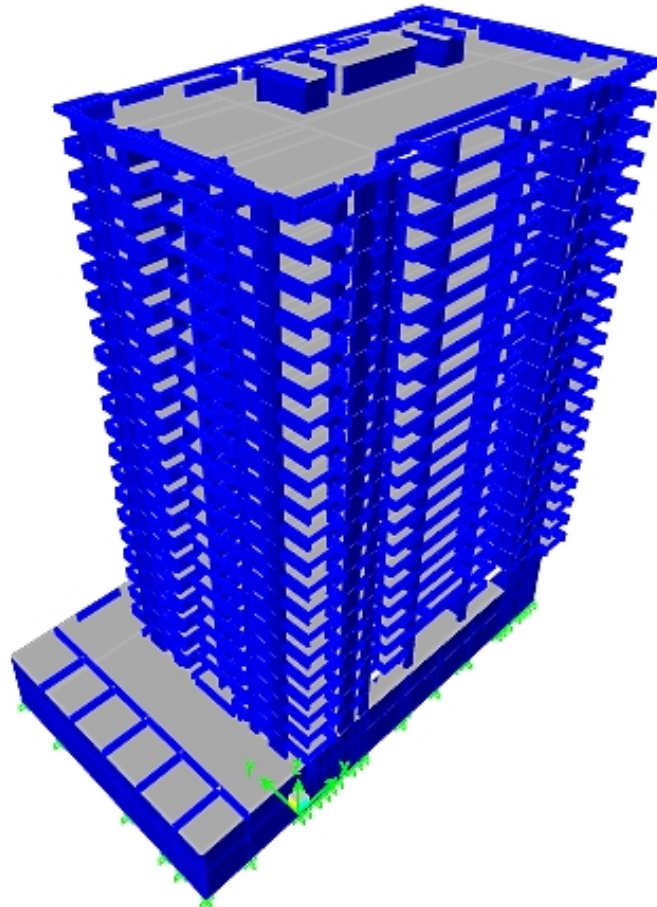


**Figura 3.5** Daños por flexo-compresión en muro en eje 7, Edificio A.

#### **3.1.2 Modelo de la estructura**

La modelación de la estructura se realizó en el software ETABS en base a la normativa actualizada a la fecha de diseño del proyecto. La distribución de los elementos estructurales no será modificada, sin embargo, se ingresará el espectro de pseudo-aceleraciones actualizado según el DS61 (MINVU 2011).

A continuación se presenta una vista 3D del edificio modelado.



**Figura 3.6** Vista 3D del Edificio A.

### 3.1.3 Análisis modal espectral

Del modelo computacional se obtuvieron parámetros de corte basal, en la dirección X e Y, y períodos fundamentales de la estructura.

Se realizó un análisis modal espectral de la estructura conforme a la NCh433 obteniéndose el espectro para el cual se calcularon los esfuerzos y deformaciones del edificio. Los parámetros para la construcción del espectro se muestran en la Tabla 3.2 mientras que los resultados del análisis modal espectral se muestran en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.2** Datos de análisis modal espectral, Edificio A.

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Zona                | 2     |
| Suelo               | B     |
| Categoría           | C     |
| R                   | 7     |
| Peso Sísmico [tonf] | 19473 |

**Tabla 3.3** Resultados del análisis modal, Edificio A.

| Parámetros            | Dirección de análisis |       |
|-----------------------|-----------------------|-------|
|                       | X                     | Y     |
| $Q_e$ [tonf]          | 5250                  | 4717  |
| T [seg]               | 0,709                 | 0,829 |
| $R^*$                 | 8,51                  | 8,87  |
| $Q_e/R^*$ [tonf]      | 617                   | 532   |
| $Q_{min}$ [tonf]      | 974                   | 974   |
| $Q_{max}$ [tonf]      | 2046                  | 2046  |
| $Q_{efectivo}$ [tonf] | 974                   | 974   |
| $R^{**}$              | 5,39                  | 4,84  |

Como el corte basal es inferior al mínimo en ambas direcciones, se reduce el  $R^*$ , amplificando el espectro de diseño hasta llegar al corte mínimo. De esta forma, los valores efectivos del factor de reducción son  $R_x$  igual a 5,39 en la dirección X y  $R_y$  igual a 4,84 en la dirección Y, aproximadamente.

Con los resultados del análisis modal del Edificio A se estiman los desplazamientos de techo último de acuerdo a lo indicado en el DS61 (MINVU 2011). En la Tabla 3.4 se indican los desplazamientos esperados para suelo tipo B mientras que la Tabla 3.5 muestra los valores esperados para suelo tipo C.

**Tabla 3.4** Estimación del desplazamiento último de techo, suelo B, Edificio A.

| Dirección | $T_{ag}$ [s] | $\alpha$ | $C_d^*$ | $S_{de}$ [cm] | $\delta_u$ [cm] |
|-----------|--------------|----------|---------|---------------|-----------------|
| X         | 1,064        | 0,681    | 1,560   | 8,964         | <b>11,65</b>    |
| Y         | 1,244        | 0,540    | 1,731   | 10,771        | <b>14,00</b>    |

**Tabla 3.5** Estimación del desplazamiento último de techo, suelo C, Edificio A.

| Dirección | $T_{ag}$ [s] | $\alpha$ | $C_d^*$ | $S_{de}$ [cm] | $\delta_u$ [cm] |
|-----------|--------------|----------|---------|---------------|-----------------|
| X         | 1,064        | 1,137    | 1,236   | 11,854        | <b>15,41</b>    |
| Y         | 1,244        | 0,922    | 1,339   | 14,232        | <b>18,50</b>    |

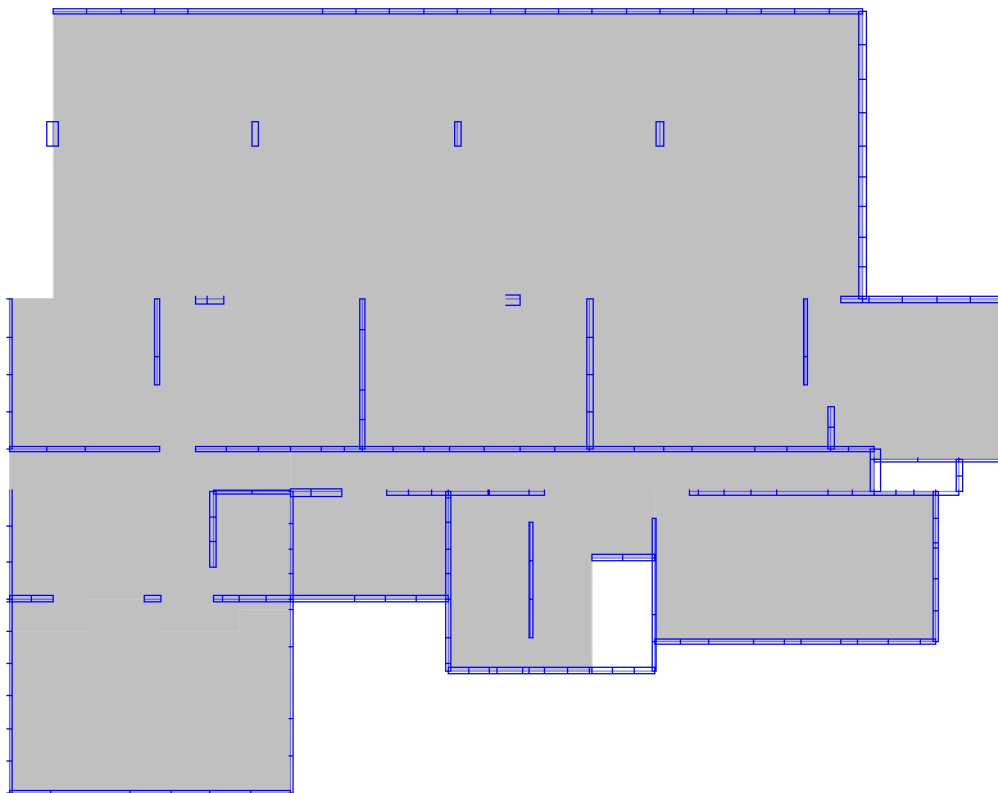


### 3.2 EDIFICIO B

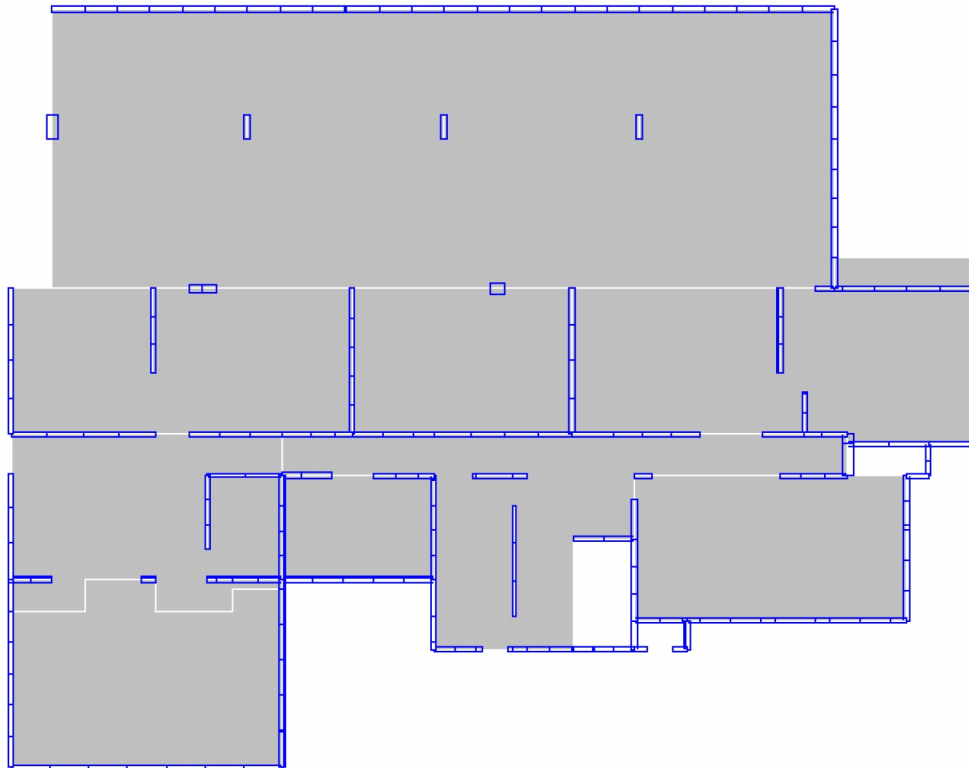
El edificio consta de 18 pisos y 2 subterráneos. En relación a su estructuración, el edificio está conformado por muros, vigas y losas de hormigón armado. La edificación tiene un total de 42,5 metros de altura sobre el terreno natural y una altura total, incluyendo subterráneos y fundaciones, igual a 50 metros.

En cuanto a los antecedentes de la estructura, se cuenta con los planos estructurales, mecánica de suelo, reporte de daños, modelo computacional en ETABS, entre otros. Los antecedentes recopilados provienen directamente de la oficina de cálculo que realizó el diseño estructural del proyecto.

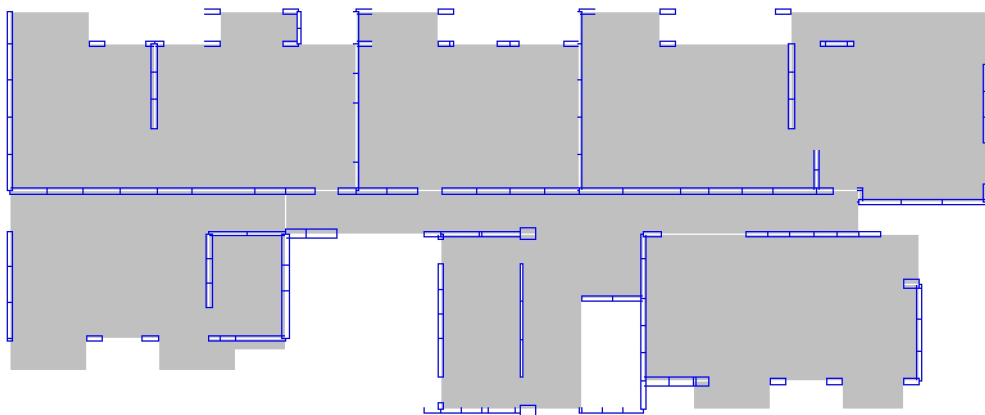
A continuación se muestran las plantas representativas de la edificación (Figura 3.7 a Figura 3.9).



**Figura 3.7** Planta cielo segundo subterráneo, Edificio B.



**Figura 3.8** Planta cielo primer subterráneo, Edificio B.



**Figura 3.9** Planta cielo primer piso, Edificio B.

### **3.2.1 Descripción de daños**

El presente estudio contempla sólo el análisis de daños en muros producto de la flexo-compresión generada por el sismo del 27 de febrero de 2010, por lo tanto, se indicarán sólo los daños en elementos estructurales que envuelven este tipo de fallas.

De acuerdo al reporte de daños, las zonas afectadas corresponden a las indicadas en la Figura 3.10.

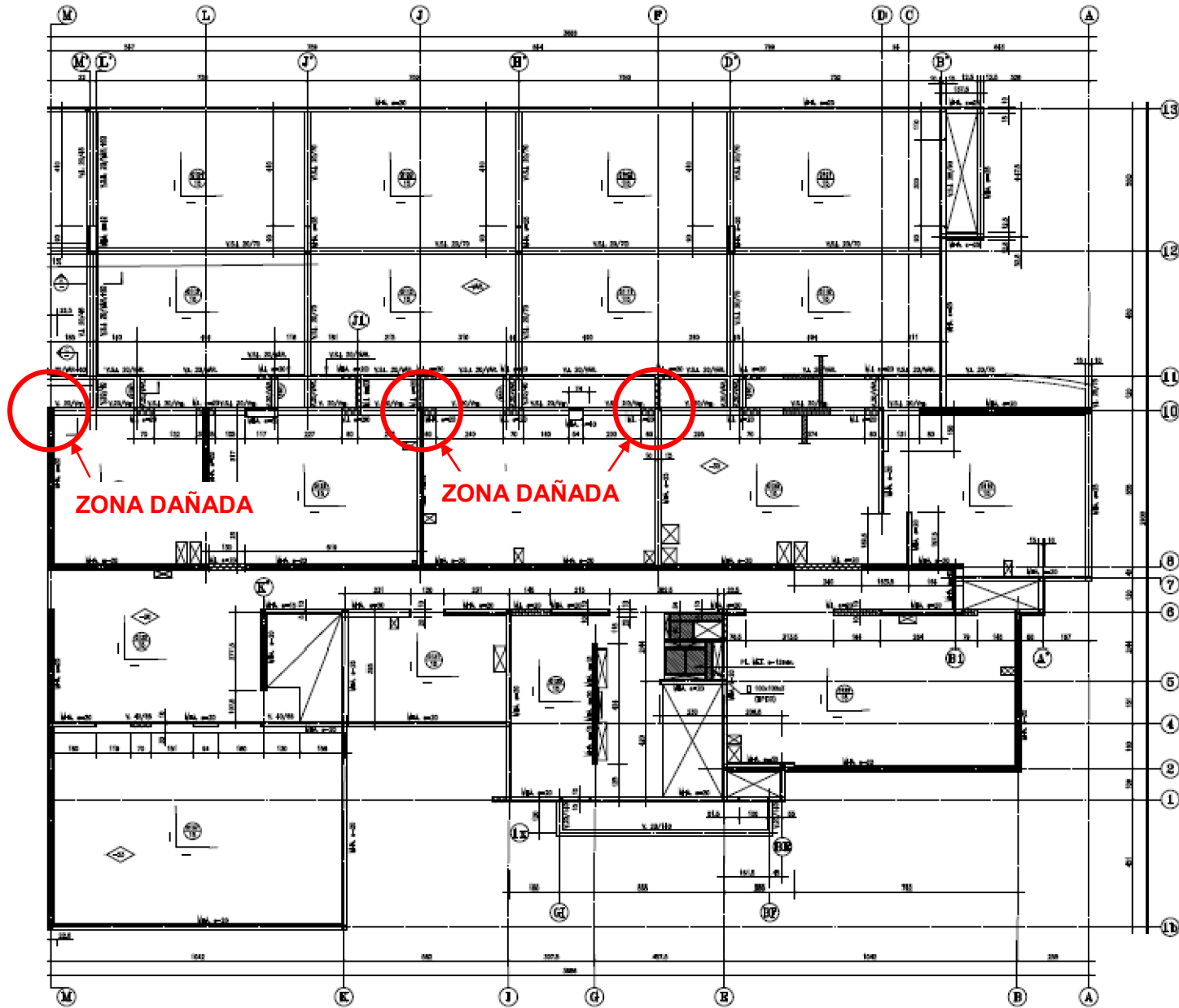


Figura 3.10 Zona Dañada - Planta cielo primer subterráneo, Edificio B.

Los daños observados por cada muro son los siguientes:

### **Muro en eje F**

Este muro presenta una falla local de flexo-compresión, aplastamiento de la cabeza de compresión del muro a nivel del encuentro con eje 10, acompañado de pandeo y fractura de su enfierradura principal, desconche del hormigón a lo largo de todo el paño de muro. Esta situación se presenta en el primer subterráneo.

La Figura 3.11 muestra el muro en eje F con los daños observados.



**Figura 3.11** Muro eje F primer subterráneo, Edificio B.

### **Muro en eje J**

Este muro presenta una falla local de flexo-compresión, aplastamiento de la cabeza de compresión del muro a nivel del encuentro con eje 10, similar al muro del eje F.

La Figura 3.12 muestra el muro en eje J con los daños observados.



**Figura 3.12** Muro eje J primer subterráneo, Edificio B.

### **Muros en eje M y N**

Este muro presenta una falla local de flexo-compresión, aplastamiento de la cabeza de compresión del muro a nivel del encuentro con eje 10, similar al muro del eje F.

La Figura 3.13 muestra los muros en los ejes M y N con los daños observados.

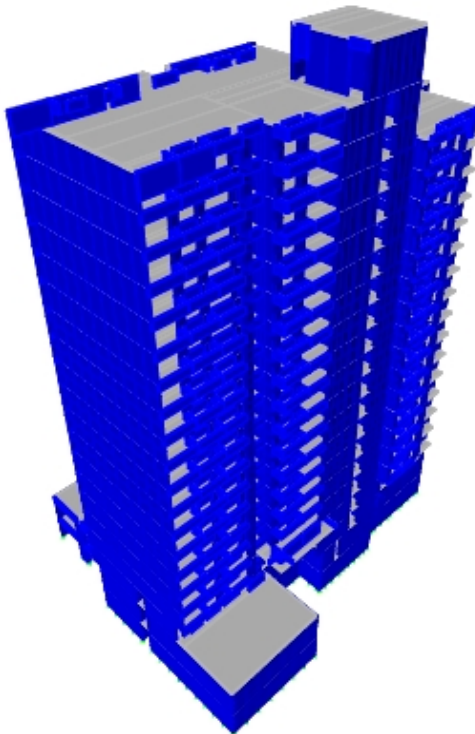


**Figura 3.13** Muros ejes M y N primer subterráneo, Edificio B.

### **3.2.2 Modelo de la estructura**

La modelación de la estructura se realizó en el software ETABS en base a la normativa actualizada a la fecha del diseño en el proyecto. Al modelo se le ingresará el espectro de pseudo-aceleraciones actualizado según el DS61.

A continuación se presentan una vista 3D del edificio modelado.



**Figura 3.14** Vista 3D del Edificio B.

### 3.2.3 Análisis modal espectral

Del modelo computacional se obtuvieron parámetros de corte basal, en la dirección X e Y, y períodos fundamentales de la estructura.

Se realizó un análisis modal espectral de la estructura obteniéndose el espectro para el cual se calcularon los esfuerzos y deformaciones del edificio. Los parámetros para la construcción del espectro se muestran en la Tabla 3.6 mientras que los resultados del análisis modal espectral se muestran en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.6** Datos de análisis modal espectral, Edificio B.

|                     |      |
|---------------------|------|
| Zona                | 2    |
| Suelo               | B    |
| Categoría           | C    |
| R                   | 7    |
| Peso Sísmico [tonf] | 9846 |

**Tabla 3.7** Resultados del análisis modal, Edificio B.

| Parámetros            | Dirección de análisis |       |
|-----------------------|-----------------------|-------|
|                       | X                     | Y     |
| $Q_e$ [tonf]          | 3991                  | 2181  |
| T [seg]               | 0,489                 | 0,872 |
| $R^*$                 | 7,57                  | 8,98  |
| $Q_e/R^*$ [tonf]      | 527                   | 243   |
| $Q_{min}$ [tonf]      | 492                   | 492   |
| $Q_{max}$ [tonf]      | 1034                  | 1034  |
| $Q_{efectivo}$ [tonf] | 527                   | 492   |
| $R^{**}$              | 7,57                  | 4,43  |

Como el corte basal es inferior al mínimo en la dirección Y, se reduce el  $R^*$ , amplificando el espectro de diseño hasta llegar al corte mínimo. De esta forma, los valores efectivos del factor de reducción son  $R_x$  igual a 7,57 en la dirección X y  $R_y$  igual a 4,43 en la dirección Y, aproximadamente.

Con los resultados del análisis modal del Edificio B se estiman los desplazamientos de techo último de acuerdo a lo indicado en el DS61 (MINVU 2011). En la Tabla 3.8 se indican los desplazamientos esperados para suelo tipo B mientras que la Tabla 3.9 muestra los valores esperados para suelo tipo C.

**Tabla 3.8** Estimación del desplazamiento último de techo, suelo B, Edificio B.

| Dirección | $T_{ag}$ [s] | $\alpha$ | $C_d^*$ | $S_{de}$ [cm] | $\delta_u$ [cm] |
|-----------|--------------|----------|---------|---------------|-----------------|
| X         | 0,72         | 1,196    | 1,234   | 5,704         | <b>7,42</b>     |
| Y         | 1,278        | 0,518    | 1,764   | 11,127        | <b>14,46</b>    |

**Tabla 3.9** Estimación del desplazamiento último de techo, suelo C, Edificio B.

| Dirección | $T_{ag}$ [s] | $\alpha$ | $C_d^*$ | $S_{de}$ [cm] | $\delta_u$ [cm] |
|-----------|--------------|----------|---------|---------------|-----------------|
| X         | 0,72         | 1,833    | 1,040   | 7,371         | <b>9,58</b>     |
| Y         | 1,278        | 0,888    | 1,358   | 14,695        | <b>19,10</b>    |

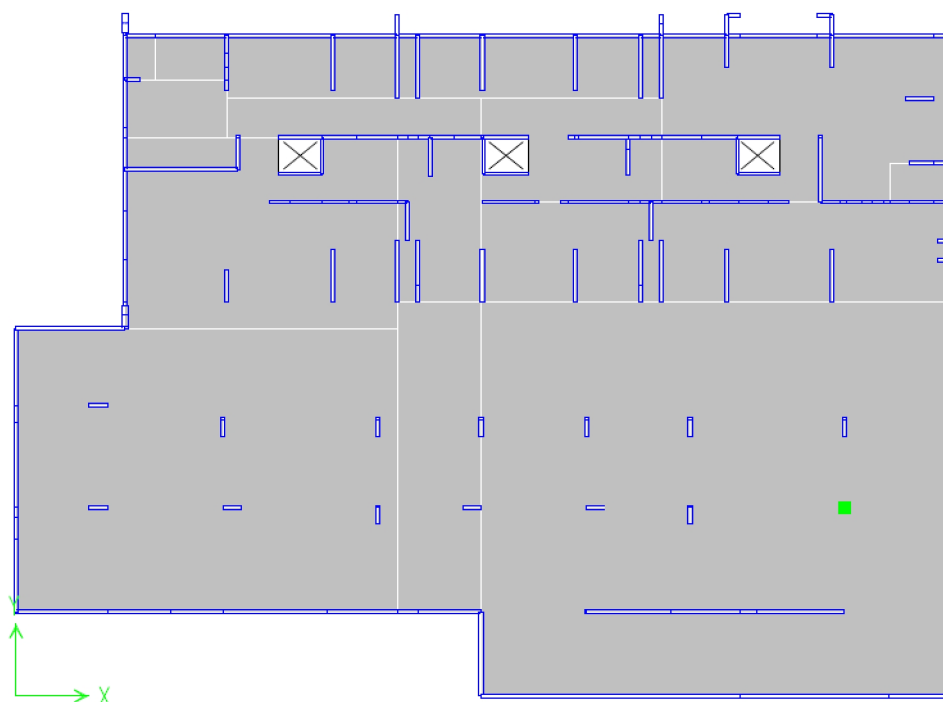
### 3.3 EDIFICIO C

El edificio consta de 13 pisos y 2 subterráneos. En relación a su estructuración, el edificio está conformado por muros, vigas y losas de hormigón armado. La edificación tiene un total de 30 metros de altura sobre el terreno natural y una altura total, incluyendo subterráneos y fundaciones, igual a 38.35 metros.

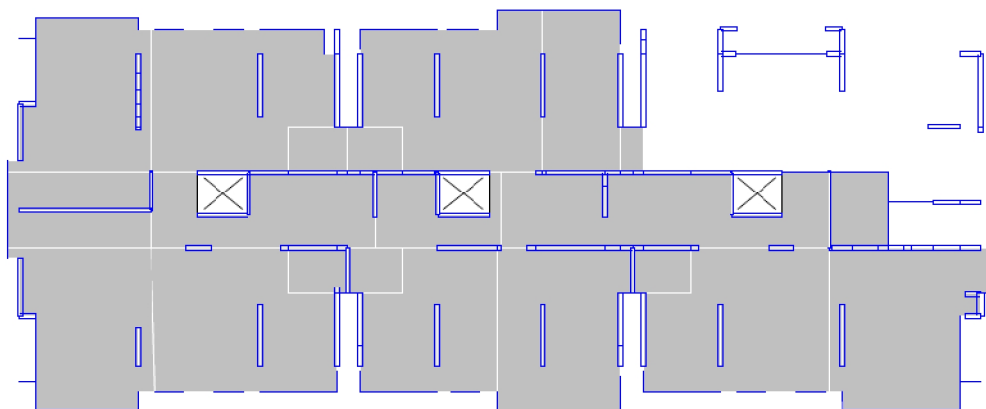
En cuanto a los antecedentes de la estructura, se cuenta con los planos estructurales, mecánica de suelo, modelo computacional en ETABS, entre otros. Los antecedentes recopilados provienen directamente de la oficina de cálculo que realizó el diseño estructural del proyecto.

Este edificio corresponde al edificio vecino del edificio C. Este edificio no presentó daños y se encuentra ubicado a menos de 100 metros del Edificio A.

A continuación se muestran las plantas representativas de la edificación (Figura 3.15 a Figura 3.17).

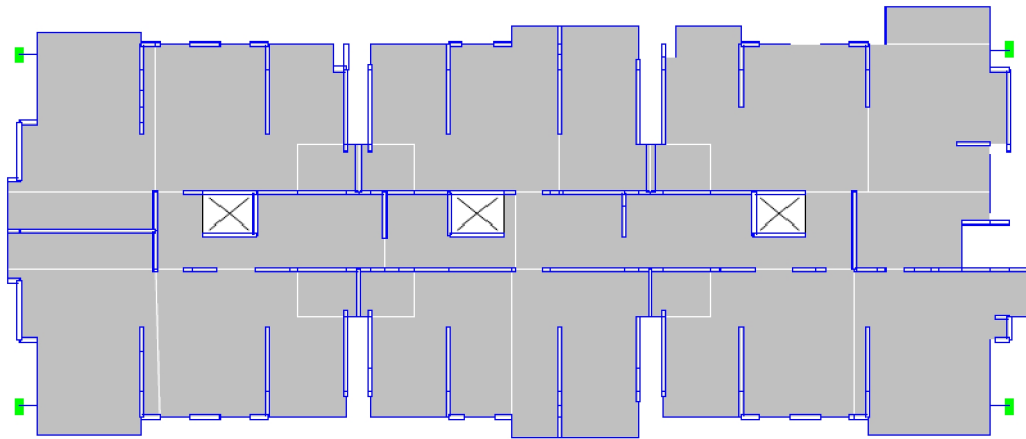


**Figura 3.15** Planta cielo primer subterráneo, Edificio C.



**Figura 3.16** Planta cielo primer piso, Edificio C.



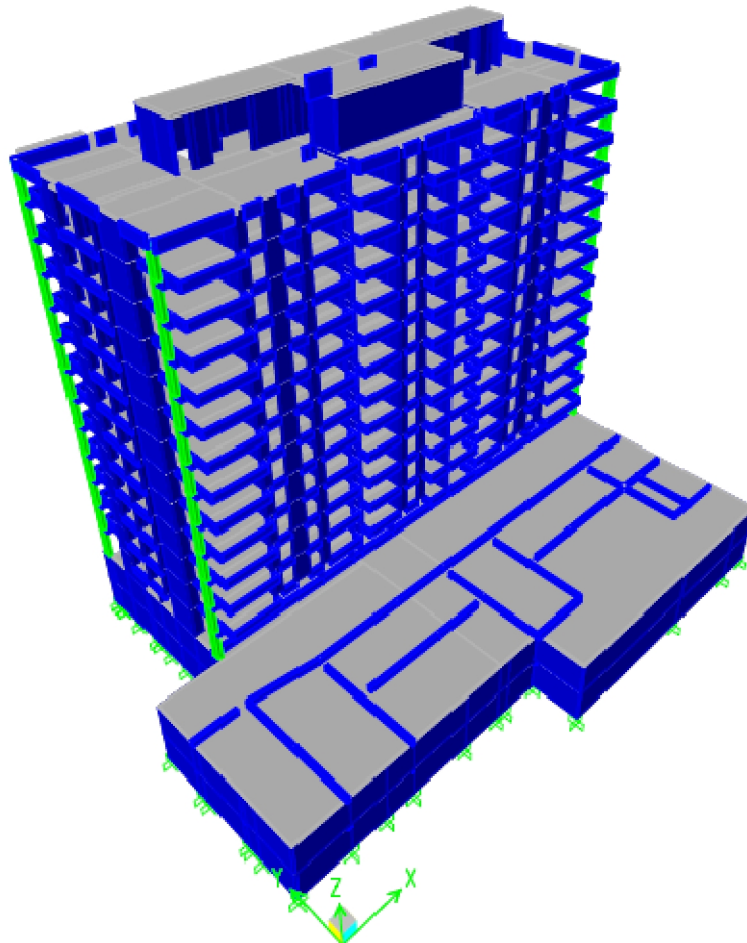


**Figura 3.17** Planta cielo segundo piso, Edificio C.

### 3.3.1 Modelo de la estructura

La modelación de la estructura se realizó en el software ETABS en base a la normativa actualizada a la fecha del diseño en el proyecto. Al modelo se le ingresará el espectro de pseudo-aceleraciones actualizado según el DS61.

A continuación se presenta una vista 3D del edificio modelado.



**Figura 3.18** Vista 3D del Edificio C.



### 3.3.2 Análisis modal espectral

Del modelo se obtuvieron parámetros de corte basal, en la dirección X e Y, y períodos fundamentales de la estructura.

Se realizó un análisis modal espectral de la estructura obteniéndose el espectro para el cual se calcularon los esfuerzos y deformaciones del edificio. Los parámetros para la construcción del espectro se muestran en la Tabla 3.10 mientras que los resultados del análisis modal espectral se muestran en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.10** Datos de análisis modal espectral, Edificio C.

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Zona                | 2     |
| Suelo               | B     |
| Categoría           | C     |
| R                   | 7     |
| Peso Sísmico [tonf] | 10437 |

**Tabla 3.11** Resultados del análisis modal, Edificio C.

| Parámetros            | Dirección de análisis |       |
|-----------------------|-----------------------|-------|
|                       | X                     | Y     |
| $Q_e$ [tonf]          | 3367                  | 2987  |
| T [seg]               | 0,383                 | 0,623 |
| $R^*$                 | 6,91                  | 8,19  |
| $Q_e/R^*$ [tonf]      | 365                   | 487   |
| $Q_{min}$ [tonf]      | 522                   | 522   |
| $Q_{max}$ [tonf]      | 1096                  | 1096  |
| $Q_{efectivo}$ [tonf] | 522                   | 522   |
| $R^{**}$              | 6,45                  | 5,72  |

Como el corte basal es inferior al mínimo en ambas direcciones, se reduce el  $R^*$ , amplificando el espectro de diseño hasta llegar al corte mínimo. De esta forma los valores efectivos del factor de reducción son  $R_x$  igual a 6,45 en la dirección X y  $R_y$  igual a 5,72 en la dirección Y, aproximadamente.

Con los resultados del análisis modal del Edificio C se estiman los desplazamientos de techo último de acuerdo a lo indicado en el DS61 (MINVU 2011). En la Tabla 3.12 se indican los desplazamientos esperados para suelo tipo B mientras que la Tabla 3.13 muestra los valores esperados para suelo tipo C.

**Tabla 3.12** Estimación del desplazamiento último de techo, suelo B, Edificio C.

| Dirección | $T_{ag}$ [s] | $\alpha$ | $C_d^*$ | $S_{de}$ [cm] | $\delta_u$ [cm] |
|-----------|--------------|----------|---------|---------------|-----------------|
| X         | 0,575        | 1,611    | 1,096   | 4,344         | <b>5,65</b>     |
| Y         | 0,935        | 0,824    | 1,438   | 7,716         | <b>10,03</b>    |

**Tabla 3.13** Estimación del desplazamiento último de techo, suelo C, Edificio C.

| Dirección | $T_{ag}$ [s] | $\alpha$ | $C_d^*$ | $S_{de}$ [cm] | $\delta_u$ [cm] |
|-----------|--------------|----------|---------|---------------|-----------------|
| X         | 0,575        | 2,279    | 1,000   | 5,607         | <b>7,29</b>     |
| Y         | 0,935        | 1,345    | 1,163   | 10,178        | <b>13,23</b>    |

## 4. ANALISIS Y RESULTADOS

### 4.1 EDIFICIO A

#### 4.1.1 Determinación del factor de agrietamiento de muros

Se determinaron los factores de agrietamiento para ciertos muros del primer piso. Estos muros fueron seleccionados considerando su incidencia en el comportamiento de la estructura además de la geometría de los mismos, para de esta manera tener un patrón variado del tipo de muros analizados. La calidad del hormigón corresponde a H30, y así se obtiene el módulo de elasticidad del hormigón:

$$E_c = 4700\sqrt{25} = 23500 [MP ]$$

De acuerdo a lo indicado en el punto 2.2.5, es posible obtener el factor de agrietamiento ( $\lambda$ ) de los muros que se muestra en la Tabla 4.1. Se estimaron los factores de agrietamiento cuando el edificio es desplazado en la dirección Y, en ambos sentidos. Los resultados en detalle se presentan en el ANEXO A. Las plantas de los muros analizados se presentan en el ANEXO B.

**Tabla 4.1** Factores de agrietamiento muros primer piso, Edificio A.

| PIER | $\lambda$ en Y | $\lambda$ en -Y |
|------|----------------|-----------------|
| A1   | 0,401          | 0,137           |
| A4   | 0,363          | 0,186           |
| A12  | 0,397          | 0,373           |
| A13  | 0,285          | 0,202           |
| A18  | 0,340          | 0,338           |
| A20  | 0,136          | 0,400           |

De la tabla anterior, se puede observar que el factor de agrietamiento de los muros depende de la dirección de análisis de los muros. En algunos casos se obtienen valores menores que 0,2 en un sentido de análisis mientras que en el otro se obtienen valores cercanos a 0,4. Se determinó que individualizar los factores de agrietamiento por muro no generaba cambios significativos en los desplazamientos de techo de la estructura y bajo el supuesto de que el método corresponde a una aproximación del comportamiento de la estructura se asumió un valor base de 0,4.

#### 4.1.2 Asignación de factores de agrietamiento a muros

La asignación de los factores de agrietamiento se realizó de manera escalonada en la altura, partiendo de la base del valor obtenido en el punto anterior, tal como se indica en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2** Asignación de agrietamiento de muros en la altura, Edificio A.

| Pisos    | $\lambda$ |
|----------|-----------|
| -1 al 3  | 0,4       |
| 4 al 6   | 0,6       |
| 9 al 12  | 0,8       |
| 12 al 21 | 1,0       |

Por simplicidad se realizó un incremento de 0,2 en el factor de agrietamiento en la altura. Este factor se ingresó al modelo modificando la inercia de los muros. Si bien el edificio tiene 2 subterráneos, se consideró modificar el modelo a partir del primer subterráneo debido a la continuidad de los muros y la restricción lateral del subterráneo inferior.

#### 4.1.3 Asignación de factores de agrietamiento a losas y vigas

En este caso, la modificación de la sección de las losas se realizó en los modificadores de “*bending*”, denominados en ETABS como  $m11$  y  $m22$ , del elemento. Se asignó el valor de 0,25 de acuerdo a lo indicado en el punto 2.2.6.

La modificación de la sección de las vigas se realizó en los modificadores de la inercia con respecto al eje 2 y 3. Se asignó el valor de 0,35 de acuerdo a lo indicado en el punto 2.2.6.

#### 4.1.4 Comparación de períodos agrietados según el DS61 y el modelo computacional

Una vez realizadas todas las modificaciones al modelo, se obtienen nuevos períodos que incluyen el agrietamiento de la estructura ( $T_{cr}$ ). En la Tabla 4.3 se muestran estos períodos junto con los determinados de acuerdo al punto 2.1.6 indicados en la Tabla 3.4.

**Tabla 4.3** Períodos agrietados según el DS61 y el modelo computacional, Edificio A.

| Dirección | $T_{cr}$ [s] | $T_{ag}$ [s] |
|-----------|--------------|--------------|
| X         | 1,176        | 1,064        |
| Y         | 1,413        | 1,244        |

Al comparar estos valores se puede notar una semejanza que sólo representa una diferencia del 10% para la dirección X y un 12% para la dirección Y, siendo mayores los períodos obtenidos del modelo ( $T_{cr}$ ). Por lo tanto, la estimación del desplazamiento de techo último obtenida de acuerdo al DS61 (MINVU 2011) es adecuada.

#### 4.1.5 Análisis del modelo

El análisis contempla desplazar el modelo en las distintas direcciones y determinar cuál es el primer muro que alcanza el Factor de Utilización (FU) o Razón de Capacidad (RC) igual a 1. Esto indicaría hipotéticamente cuál es el primer muro que alcanza su capacidad máxima cuando el edificio es desplazado en las distintas direcciones y se consideraría este nivel de deformación del modelo para analizar los muros restantes. Esto es razonable considerando que las diferencias entre la capacidad máxima y la capacidad al momento de la fluencia son similares. De esta forma la estimación de la capacidad elástica de deformación puede ser algo sobre-estimada.

Cuando un muro alcanza un  $FU=1$ , esto indica que alcanza su deformación elástica y luego comienza a incurrir en el rango inelástico, y potencialmente en el daño.

A modo de resumen se presenta la Tabla 4.4 donde se indican la cantidad de área de muros (en %) que se ubican dentro de ciertos rangos de FU para cada dirección de análisis.

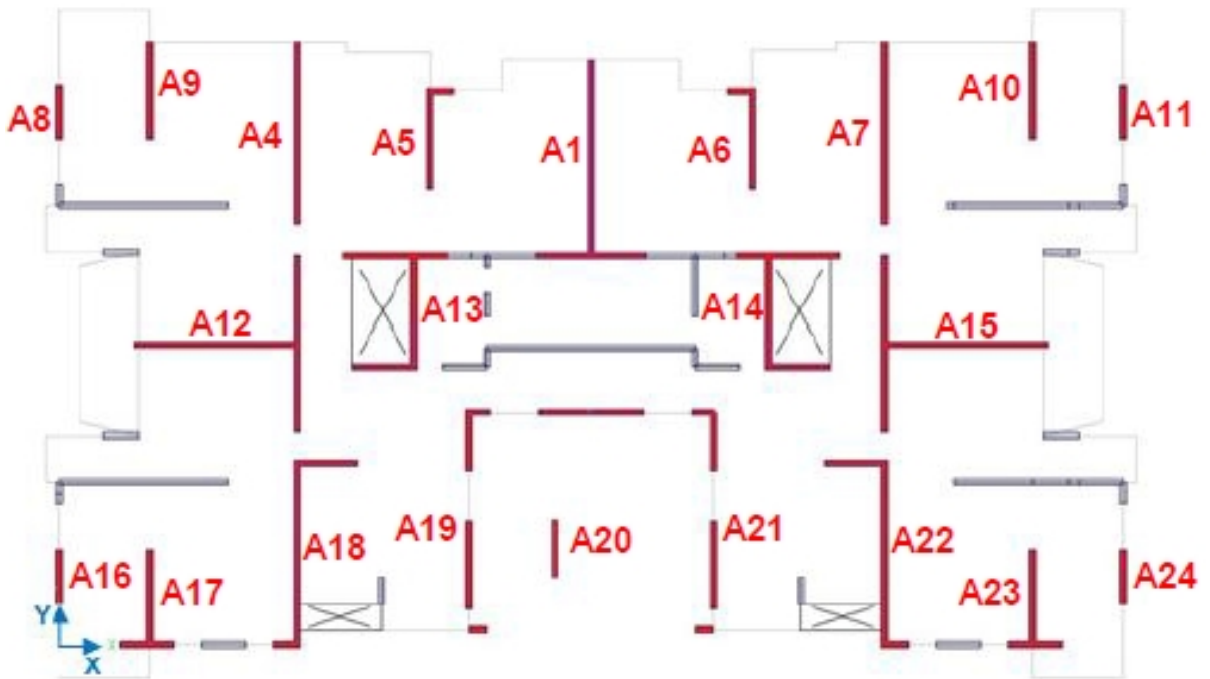
**Tabla 4.4** Resumen de FU dependiendo de la dirección de análisis, Edificio A.

| Rango de FU | Y [%] | -Y [%] | X [%] | -X [%] |
|-------------|-------|--------|-------|--------|
| <0,5        | 11,18 | 64,92  | 34,57 | 33,44  |
| 0,5-0,9     | 51,01 | 27,67  | 62,81 | 63,94  |
| 0,9-1,0     | 37,80 | 7,42   | 2,63  | 2,63   |

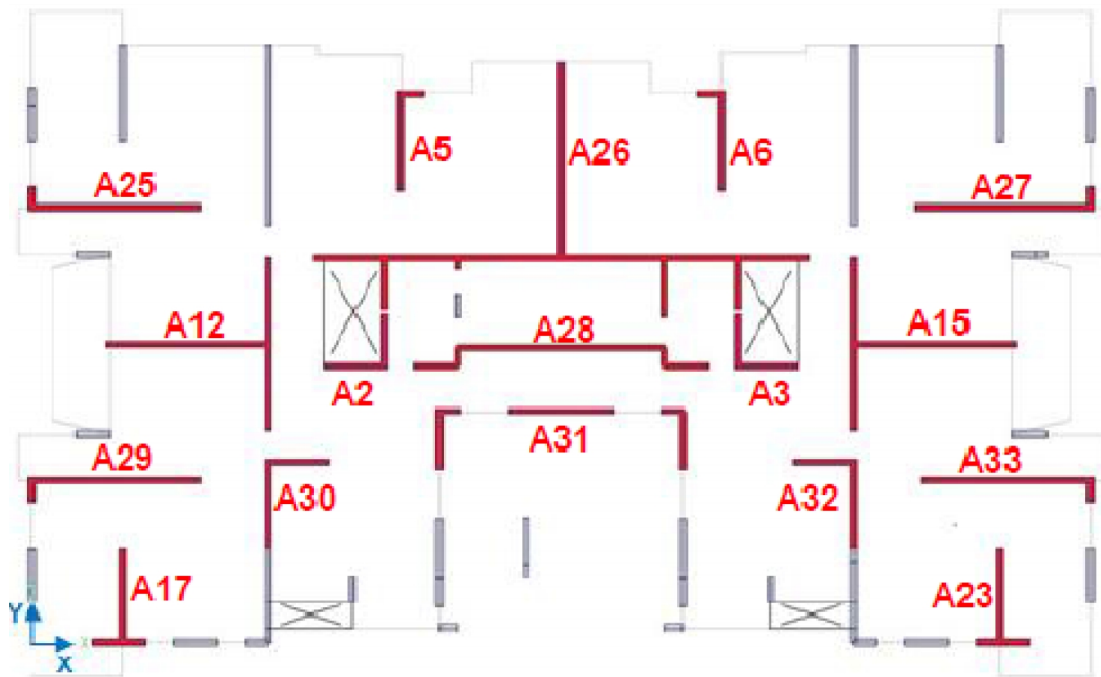
De la Tabla 4.4 se puede observar que cuando se analiza la dirección Y se tiene un alto nivel de sollicitación ( $FU>0,9$ ) de los muros (38%), donde sólo uno de ellos sufrió daños por flexo-compresión. En las direcciones restantes se observa una bajo nivel de sollicitación de los muros.

A continuación se presentan los resultados para los muros que alcanzan un  $FU=1$  en las distintas direcciones de análisis y además se incluyen muros con FU menores y cercanos a 1 en las direcciones de interés (Y e -Y). Los resultados en detalle para todos los muros del piso de análisis se presentan en el ANEXO A. Las plantas de los muros analizados se presentan en el ANEXO B.

La Figura 4.1 muestra los muros considerados para el análisis en la dirección Y mientras que la Figura 4.2 muestra los muros considerados en la dirección X.



**Figura 4.1** Muros definidos en la dirección Y, Edificio A.



**Figura 4.2** Muros definidos en la dirección X, Edificio A.

### a. Análisis en Y

De acuerdo a los análisis realizados, al desplazar el edificio en la dirección Y, se obtiene que el primer muro (A1) que alcanza el factor de utilización (FU) igual a 1, corresponde efectivamente al muro dañado producto del sismo del 27F. En Tabla 4.5 se adjuntan los resultados obtenidos para los muros mayormente solicitados en esta dirección de análisis y cercanos al muro dañado.

**Tabla 4.5** Análisis en la dirección Y, Edificio A.

| PIER | Ag [m <sup>2</sup> ] | FU    | P <sub>u</sub> [tonf] | M <sub>u2</sub> [tonf m] | M <sub>u3</sub> [tonf m] | δ <sub>e</sub> [cm] | Pu/fc'Ag [%] |
|------|----------------------|-------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|
| A1   | 2,233                | 1     | 2147,92               | 2,80                     | 2726,30                  | 12,16               | 38,48        |
| A4   | 1,344                | 0,921 | 1402,56               | -2,56                    | 1307,16                  | 12,47               | 41,74        |
| A5   | 0,9285               | 0,929 | 943,96                | -19,43                   | 567,81                   | 12,33               | 40,67        |
| A7   | 1,344                | 0,891 | 1356,51               | 2,88                     | 1260,41                  | 11,84               | 40,37        |

Es posible observar el gran porcentaje de carga axial de compresión (P<sub>u</sub>>0) al que se ven sometidos los muros frente a un desplazamiento de techo elástico (δ<sub>e</sub>) de 12 cm, aproximadamente. Particularmente el muro A1, que es primero que alcanza un FU=1, tiene un 38,5% de compresión, esto permite corroborar el comportamiento frágil que tuvo el muro frente a solicitaciones sísmicas.

### b. Análisis en -Y

Al analizar el edificio en la dirección -Y, se obtiene que el muro A1 es el primero que alcanza un FU=1. En la siguiente tabla se muestran los resultados de los mismos muros del punto anterior pero con FU menores.

**Tabla 4.6** Análisis en la dirección -Y, Edificio A.

| PIER | Ag [m <sup>2</sup> ] | FU    | P <sub>u</sub> [tonf] | M <sub>u2</sub> [tonf m] | M <sub>u3</sub> [tonf m] | δ <sub>e</sub> [cm] | Pu/fc'Ag [%] |
|------|----------------------|-------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|
| A1   | 2,233                | 1     | -11,64                | -11,18                   | -1337,06                 | 7,07                | -0,21        |
| A4   | 1,344                | 0,398 | 536,84                | -1,82                    | -624,83                  | 6,97                | 15,98        |
| A5   | 0,9285               | 0,457 | 508,77                | 20,00                    | -97,76                   | 6,89                | 21,92        |
| A7   | 1,344                | 0,385 | 540,81                | 0,51                     | -586,08                  | 6,61                | 16,10        |

De la Tabla 4.6 se observa que cuando el edificio es desplazado en -Y, el muro A1 se encuentra traccionado (P<sub>u</sub><0), con un bajo nivel de carga axial, para un desplazamiento de techo elástico (δ<sub>e</sub>) igual a 7,1 cm. El muro A1 no presentó daños en esta dirección de análisis. En general, los desplazamientos de techo elásticos (δ<sub>e</sub>) en la dirección -Y son menores que en el sentido opuesto ya que el muro A1, cuando el ala está comprimida, entra antes al rango inelástico. Sin embargo, los muros restantes aún pueden seguir desplazándose dentro del rango elástico.

### c. Análisis en X

Ahora si se analiza el edificio en la dirección X, se tiene lo siguiente:

**Tabla 4.7** Análisis en la dirección X, Edificio A.

| PIER | Ag [m <sup>2</sup> ] | FU | P <sub>u</sub> [tonf] | M <sub>u2</sub> [tonf m] | M <sub>u3</sub> [tonf m] | δ <sub>e</sub> [cm] | Pu/fc'Ag [%] |
|------|----------------------|----|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|
| A2   | 0,8525               | 1  | -142,72               | 49,72                    | 101,80                   | 5,77                | -6,70        |

Se observa que cuando el edificio es desplazado en la dirección X, el primer muro que alcanza el FU=1 se encuentra traccionado (P<sub>u</sub><0) para un desplazamiento de techo igual a 5,8 cm aproximadamente y un bajo nivel de carga axial. El muro A2 no presentó daños.

#### d. Análisis en -X

En la dirección -X, se obtiene lo siguiente:

**Tabla 4.8** Análisis en la dirección -X, Edificio A.

| PIER | Ag [m <sup>2</sup> ] | FU | P <sub>u</sub> [tonf] | M <sub>u2</sub> [tonf m] | M <sub>u3</sub> [tonf m] | δ <sub>e</sub> [cm] | Pu/fc'Ag [%] |
|------|----------------------|----|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|
| A3   | 0,8525               | 1  | -132,11               | 64,13                    | -105,43                  | 5,86                | -6,20        |

Se observa que en la dirección -X, el primer muro que alcanza el FU=1 se encuentra traccionado (P<sub>u</sub><0) para un desplazamiento de techo igual a 5,9 cm aproximadamente. El muro A3 no presentó daños.

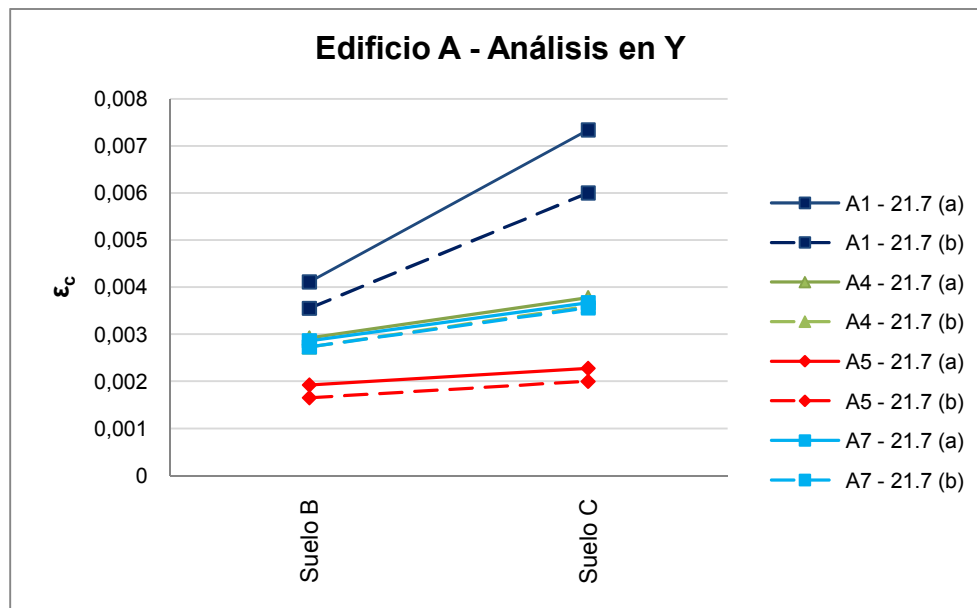
#### 4.1.6 Estudio de demanda de deformaciones

Considerando los estados de carga y desplazamientos de techo elásticos obtenidos del análisis indicado en el punto anterior, se procede a estudiar la demanda de deformaciones de cada uno de estos muros. Adicionalmente, se estudian tres muros en la dirección Y y en la dirección -Y. Estos muros se seleccionaron considerando que tienen FU mayores (FU>0,9) en la dirección Y (dirección de daño) y cercanos al muro dañado. Estos muros corresponden a los indicados en la Tabla 4.5.

Para el cálculo de φ<sub>u</sub>, se consideró φ<sub>e</sub> como la curvatura de fluencia (φ<sub>y</sub>, ε<sub>y</sub>=0,002), con ello se determinaron las deformaciones unitarias.

##### a. Estimación bajo el supuesto de I<sub>p</sub>=I<sub>w</sub>/2

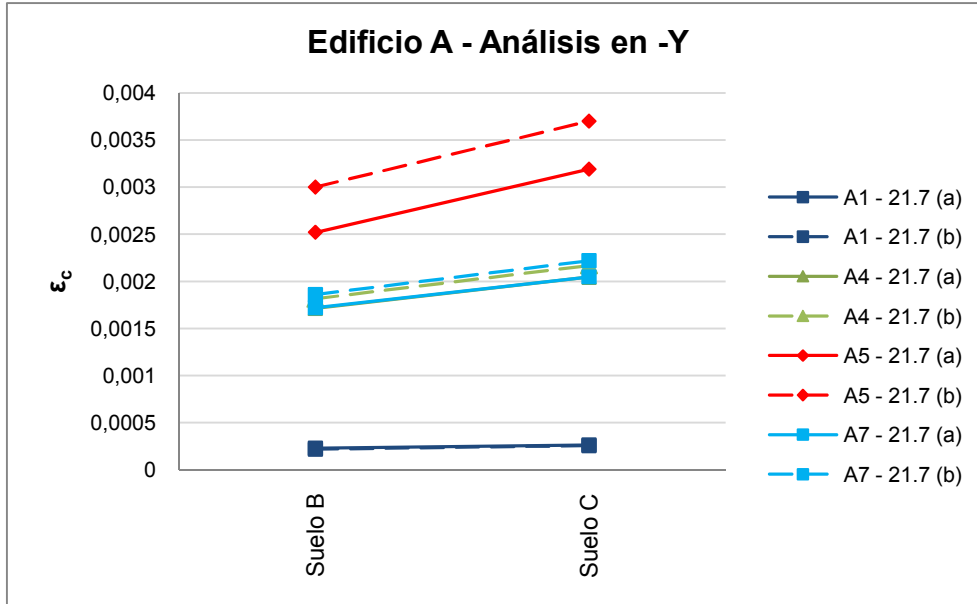
En las siguientes figuras se entrega la información relativa a las deformaciones unitarias del hormigón de los muros analizados, considerando que la longitud de la rótula plástica es 0,5 veces la longitud del muro. Se comparan las deformaciones obtenidas para suelo tipo B y C. Se considera deformación unitaria de compresión cuando ε<sub>c</sub>>0. Los resultados en detalle se presentan en el ANEXO A.



**Figura 4.3** Deformaciones unitarias del hormigón ε<sub>c</sub>, dirección Y, Edificio A.

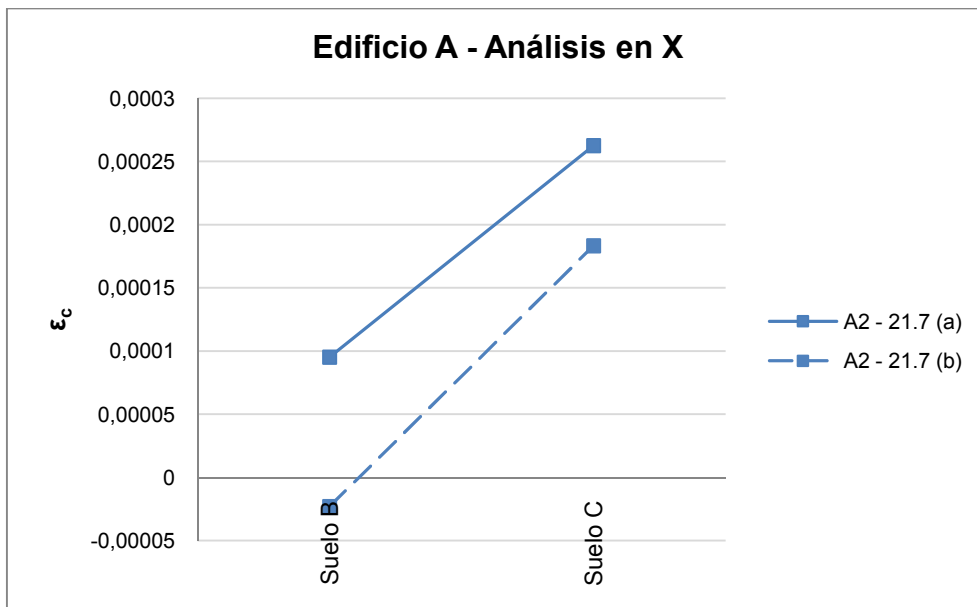
De la Figura 4.3 se puede observar el elevado nivel de deformación para el muro A1 (FU=1). Para ambas fórmulas del DS61 y tipo de suelo, se obtiene que la deformación unitaria del hormigón supera el 0,003 que establece la norma, por lo que el borde de muro falla por compresión. De esta forma, los resultados reflejan lo observado en la descripción de daños.

Si se observan los otros muros de la figura, podemos apreciar que los niveles de deformación son cercanos a 0,003, sin embargo, estos muros no presentaron daños estructurales posteriores al sismo del 27F, pero si se observaron fisuras en ellos y daños en la tabiquería cercana a los muros. Cabe señalar que debido a que estos muros aún no alcanzan su máxima capacidad, pueden seguir desplazándose elásticamente, lo que implicaría que alcanzan deformaciones unitarias menores, por lo que este análisis es conservador.



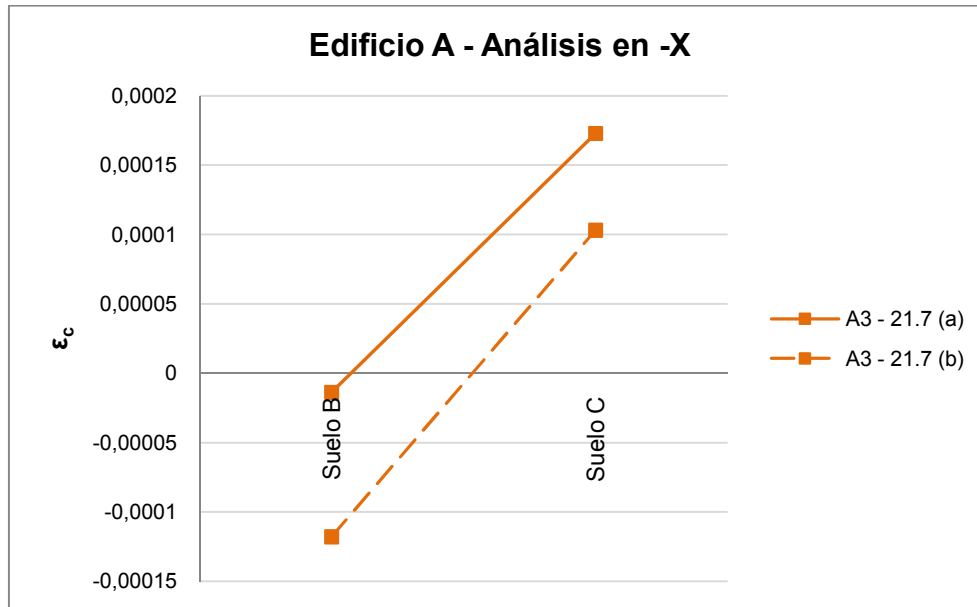
**Figura 4.4** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$ , dirección -Y, Edificio A.

Analizando la dirección -Y, de la Figura 4.4 se puede apreciar que el muro A5 (FU=0,457) obtiene los niveles de deformación superiores, superando el 0,003 para el suelo tipo C y también para el suelo tipo B, según la fórmula 21.7 (b). Sin embargo, este muro aún no alcanza su capacidad máxima, por lo que las deformaciones obtenidas son conservadoras.



**Figura 4.5** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$ , dirección X, Edificio A.

La Figura 4.5 muestra que para suelo B (21.7b) las fibras de hormigón del borde del muro A2 (FU=1) se encuentran traccionadas ( $\epsilon_c < 0$ ). Para los casos restantes, se observa que el muro alcanza deformaciones unitarias a compresión que se encuentran por debajo del 0,003. En la dirección X no se presentaron daños estructurales.



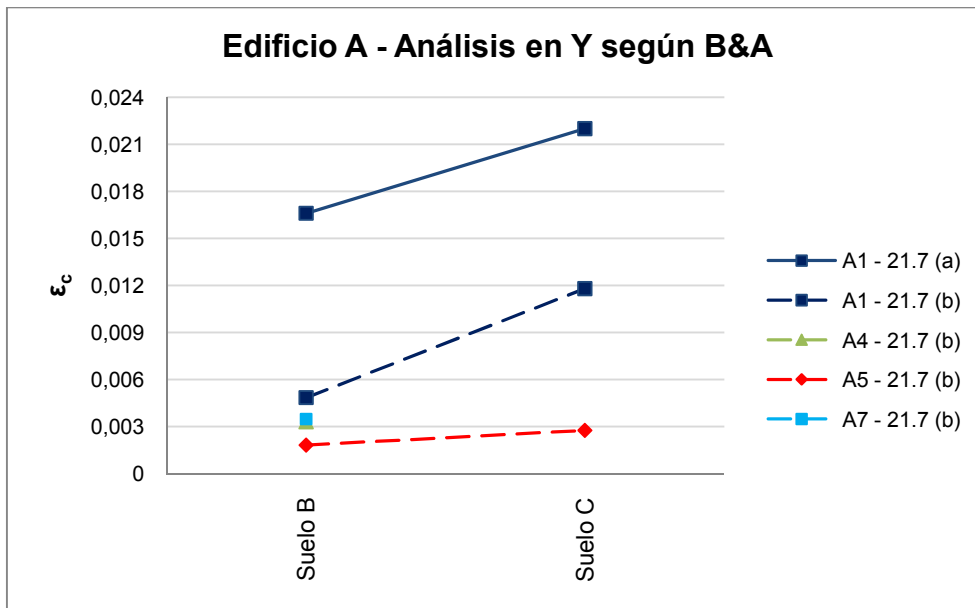
**Figura 4.6** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$ , dirección -X, Edificio A.

De la Figura 4.6 se observa para suelo B las fibras de hormigón de la cabeza de muro A3 (FU=1) se encuentran traccionadas ( $\epsilon_c < 0$ ). Así, para suelo C, el muro alcanza deformaciones unitarias a compresión ( $\epsilon_c > 0$ ) menores que el 0,003. En la dirección -X no se presentaron daños estructurales.

#### **b. Estimación bajo el supuesto de Bohl y Adebar**

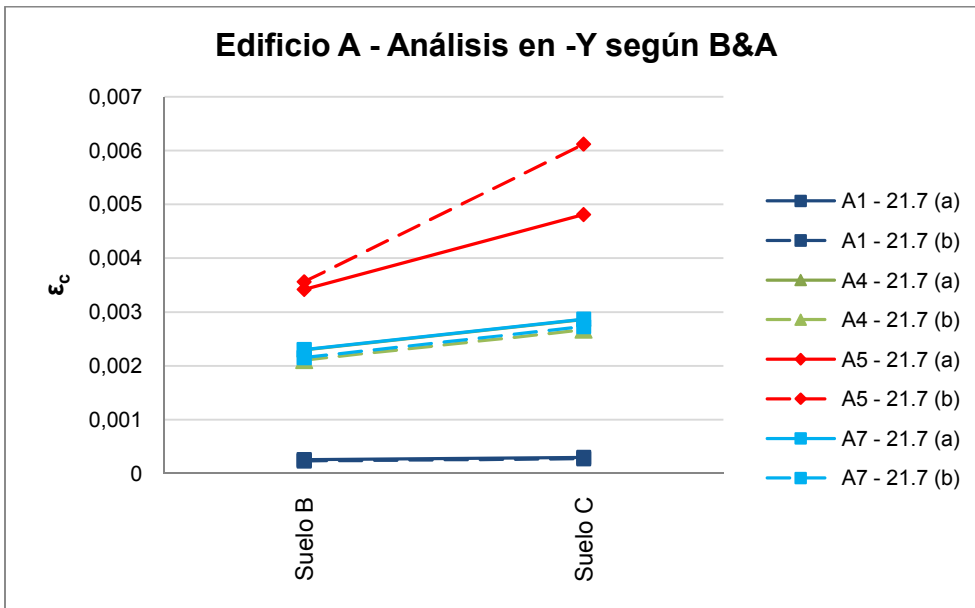
Al calcular las deformaciones unitarias utilizando los supuestos estipulados por Bohl y Adebar (2011), se obtienen mayores demandas de curvaturas y por ende deformaciones unitarias superiores. Estos cálculos se realizaron sólo para las direcciones Y y -Y, que corresponden a las direcciones de interés del estudio. Las siguientes figuras reflejan los resultados obtenidos bajo este supuesto. Los resultados en detalle se presentan en el ANEXO A.





**Figura 4.7** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$  según B&A, dirección Y, Edificio A.

La Figura 4.7 muestra que el muro A1 presenta los mayores niveles de deformación. En relación a los muros restantes, para el suelo tipo C no es posible determinar las deformaciones unitarias puesto que las demandas de curvatura son superiores al valor máximo de la curvatura para cada uno de los casos. Esto se repite para las deformaciones estimadas a partir de la fórmula 21.7 (a) que no se indican en la figura.



**Figura 4.8** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$  según B&A, dirección -Y, Edificio A.

En la Figura 4.8 se muestra que las deformaciones unitarias del muro A5 ( $FU=0,457$ ) son superiores a 0,003 cuando se analiza en la dirección -Y. Sin embargo, este muro aún no alcanza su capacidad máxima, por lo que las deformaciones obtenidas son conservadoras. Los muros restantes obtienen deformaciones unitarias del hormigón menores a 0,003.

## 4.2 EDIFICIO B

### 4.2.1 Determinación del factor de agrietamiento de muros

Se determinaron los factores de agrietamiento para algunos muros del primer subterráneo. Estos muros fueron seleccionados considerando su incidencia en el comportamiento de la estructura además de la geometría de los mismos, para de esta manera tener un patrón variado del tipo de muros analizados. La calidad del hormigón corresponde a H30, y así se obtiene el módulo de elasticidad del hormigón:

$$E_c = 4700\sqrt{25} = 23500 [MP ]$$

De acuerdo a lo indicado en el punto 2.2.5, es posible el obtener el factor de agrietamiento ( $\lambda$ ) de los muros, cuyos valores se muestran en la Tabla 4.8. Se estimaron los factores de agrietamiento cuando el edificio es desplazado en la dirección Y, en ambos sentidos. Los resultados en detalle se presentan en el ANEXO A. Las plantas de los muros analizados se presentan en el ANEXO B.

**Tabla 4.9** Factores de agrietamiento muros primer piso, Edificio B.

| PIER | $\lambda$ en Y | $\lambda$ en -Y |
|------|----------------|-----------------|
| B1   | 0,483          | 0,182           |
| B2   | 0,448          | 0,338           |
| B4   | 0,414          | 0,143           |
| B5   | 0,452          | 0,470           |
| B6   | 0,614          | 0,622           |
| B10  | 0,665          | 0,537           |
| B12  | 0,182          | 0,375           |

De la Tabla 4.9, se puede observar que el factor de agrietamiento de los muros depende de la dirección de análisis de los muros. En algunos casos se obtienen valores menores que 0,2 en un sentido de análisis mientras que en el otro se obtienen valores cercanos y mayores que 0,4. Se determinó que individualizar los factores de agrietamiento por muro no generaba cambios significativos en los desplazamientos de techo de la estructura y bajo el supuesto de que el método corresponde a una aproximación del comportamiento de la estructura se asumió un valor base de 0,4.

### 4.2.2 Asignación de factores de agrietamiento a muros

La asignación de los factores de agrietamiento se realizó de manera escalonada en la altura, partiendo de la base del valor obtenido en el punto anterior, tal como se indica en la Tabla 4.10.

**Tabla 4.10** Asignación de agrietamiento de muros en la altura, Edificio B.

| Pisos    | $\lambda$ |
|----------|-----------|
| -1 al 3  | 0.4       |
| 4 al 6   | 0.6       |
| 9 al 12  | 0.8       |
| 12 al 18 | 1.0       |

Por simplicidad se realizó un incremento de 0,2 en el factor de agrietamiento en la altura. Este factor se ingresó al modelo modificando la inercia de los muros. Si bien el edificio tiene 2 subterráneos, se consideró modificar el modelo a partir del primer subterráneo debido a la continuidad de los muros y la restricción lateral del subterráneo inferior.

#### 4.2.3 Asignación de factores de agrietamiento a losas y vigas

En este caso, la modificación de la sección de las losas se realizó en los modificadores de “*bending*”, denominados en ETABS como  $m11$  y  $m22$ , del elemento. Se asignó el valor de 0,25 de acuerdo a lo indicado en el punto 2.2.6.

La modificación de la sección de las vigas se realizó en los modificadores de la inercia con respecto al eje 2 y 3. Se asignó el valor de 0,35 de acuerdo a lo indicado en el punto 2.2.6.

#### 4.2.4 Comparación de períodos agrietados según el DS61 y el modelo computacional

Una vez realizadas todas las modificaciones al modelo, se obtienen nuevos períodos del modelo que incluyen el agrietamiento de la estructura ( $T_{cr}$ ). En la Tabla 4.11 se muestran estos períodos junto con los determinados de acuerdo al punto 2.1.6 indicados en la Tabla 3.8.

**Tabla 4.11** Períodos agrietados según el DS61 y el modelo computacional, Edificio B.

| Dirección | $T_{cr}$ [s] | $T_{ag}$ [s] |
|-----------|--------------|--------------|
| X         | 0,607        | 0,720        |
| Y         | 1,109        | 1,278        |

Al comparar estos valores se puede notar una semejanza que sólo representa una diferencia del 16% para la dirección X y un 13% para la dirección Y, siendo mayores los períodos obtenidos según el DS61 ( $T_{ag}$ ). Por lo tanto, la estimación del desplazamiento de techo último obtenida de acuerdo al DS61 (MINVU 2011) es adecuada.

#### 4.2.5 Análisis del modelo

El análisis contempla desplazar el modelo en las distintas direcciones y determinar cuál es el primer muro que alcanza el Factor de Utilización (FU) o Razón de Capacidad (RC) igual a 1. Esto indicaría hipotéticamente cuál es el primer muro que falla cuando el edificio es desplazado en las distintas direcciones y se consideraría este nivel de deformación del modelo para analizar los muros restantes. Esto es razonable considerando que las diferencias entre la capacidad máxima y la capacidad al momento de la fluencia son similares. De esta forma la estimación de la capacidad elástica de deformación puede ser algo sobre-estimada.

Cuando un muro alcanza un  $FU=1$ , esto indica que alcanza su deformación elástica y luego comienza a incurrir en el rango inelástico, y potencialmente en el daño.

A modo de resumen se presenta la Tabla 4.12 donde se indican la cantidad de muros (en %) que se ubican dentro de ciertos rangos de FU para cada dirección de análisis.

**Tabla 4.12** Resumen de FU dependiendo de la dirección de análisis, Edificio B.

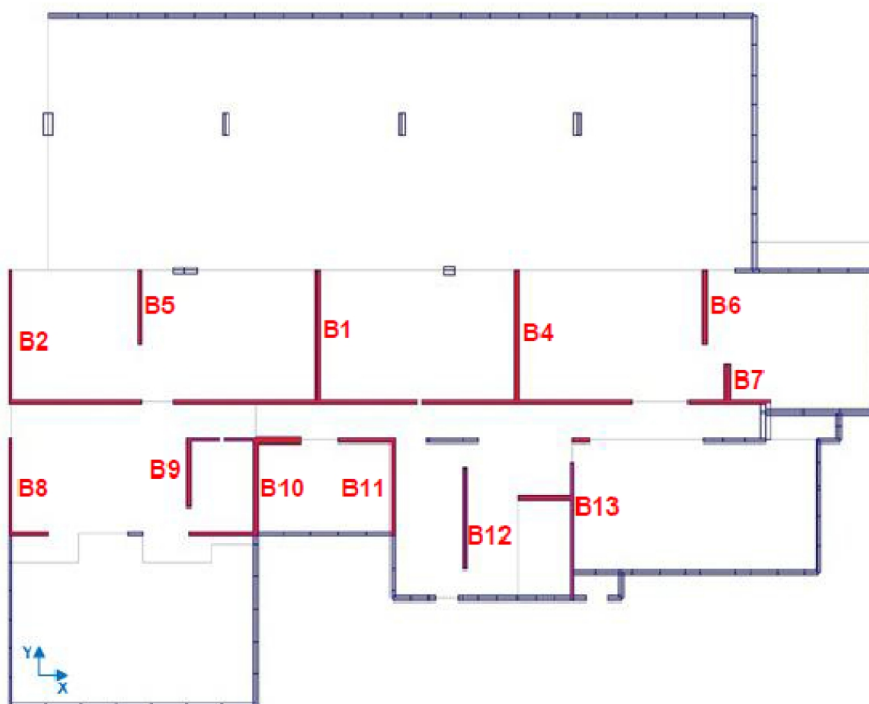
| Rango de FU | Y [%] | -Y [%] | X [%] | -X [%] |
|-------------|-------|--------|-------|--------|
| <0,5        | 32,84 | 56,66  | 60,86 | 26,71  |
| 0,5-0,9     | 45,40 | 7,99   | 20,09 | 67,09  |
| 0,9-1,0     | 21,75 | 35,35  | 10,13 | 6,20   |

Cuando se analiza la dirección Y, de la tabla anterior se observa que los muros mayormente solicitados ( $FU>0,9$ ) corresponden a un 22% mientras que para la dirección -Y se tiene un 35%, aproximadamente. En las direcciones restantes se tiene un bajo nivel de sollicitación. Los daños por flexo-compresión en los muros se produjeron en la dirección Y.

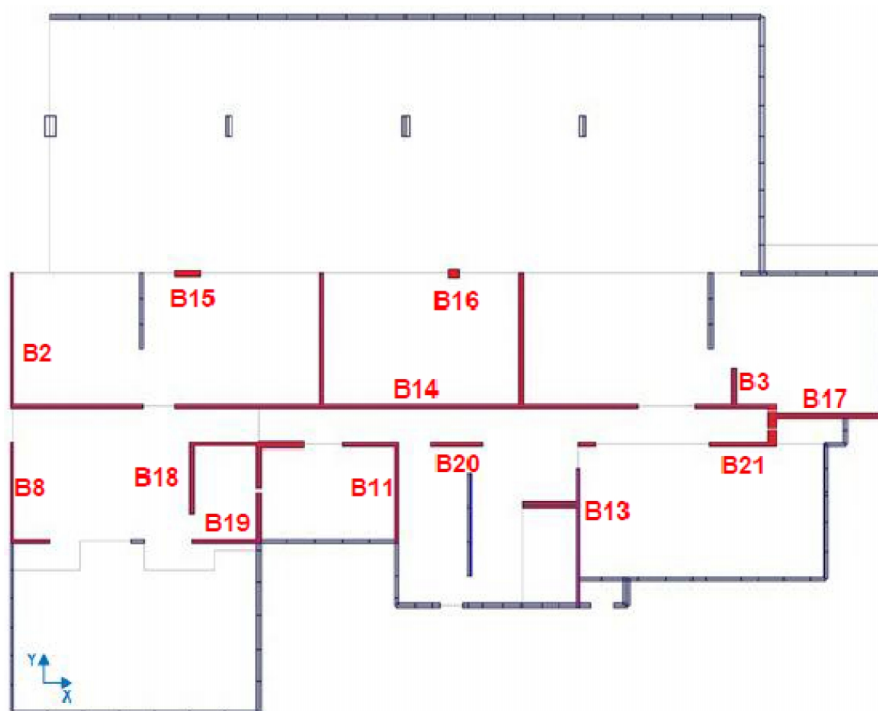
A continuación se presentan los resultados para los muros que alcanzan un  $FU=1$  en las distintas direcciones de análisis y además se incluyen muros con FU menores y cercanos a 1 en las direcciones

de interés (Y e -Y). Los resultados en detalle para todos los muros del piso de análisis se presentan en el ANEXO A. Las plantas de los muros analizados se presentan en el ANEXO B.

La Figura 4.9 muestra los muros considerados para el análisis en la dirección Y mientras que la Figura 4.10 muestra los muros considerados en la dirección X.



**Figura 4.9** Muros definidos en la dirección Y, Edificio B.



**Figura 4.10** Muros definidos en la dirección X, Edificio B.

### a. Análisis en Y

De acuerdo a los análisis realizados, al desplazar el edificio en la dirección Y, se obtiene que el primer muro que alcanza el factor de utilización (FU) igual a 1, corresponde efectivamente a uno de los muros dañados producto del sismo del 27F. En Tabla 4.13 se adjuntan los resultados obtenidos para los muros mayormente solicitados en esta dirección de análisis y que presentaron daños.

**Tabla 4.13** Análisis en la dirección Y, Edificio B.

| PIER | Ag [m <sup>2</sup> ] | FU    | P <sub>u</sub> [tonf] | M <sub>u2</sub> [tonf m] | M <sub>u3</sub> [tonf m] | δ <sub>e</sub> [cm] | Pu/fc'Ag [%] |
|------|----------------------|-------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|
| B1   | 3,2337               | 1     | 2125,34               | 2733,15                  | 57,97                    | 10,17               | 26,29        |
| B2   | 2,224                | 0,955 | 1836,06               | 2112,60                  | -989,35                  | 12,84               | 33,02        |
| B4   | 3,1238               | 0,836 | 2028,40               | 2197,85                  | -22,28                   | 9,16                | 25,97        |
| B5   | 0,634                | 0,886 | 576,41                | 2,11                     | 348,61                   | 11,91               | 36,37        |

Es posible observar un elevado porcentaje de carga axial de compresión (P<sub>u</sub>>0) al que se ven sometidos los muros frente a un desplazamiento de techo elástico (δ<sub>e</sub>) superior a 10 cm. Esto permite corroborar el comportamiento frágil que tuvieron los muros para el 27F. Los muros B1, B2 y B4 sufrieron daños por flexo-compresión de acuerdo al reporte de daños, mientras que el muro B5 presentó daños en menor magnitud, atribuibles a la potencial secuencia de falla que tuvieron los muros cercanos.

En relación a las diferencias que presentan los valores de δ<sub>e</sub>, y en general para todos los muros analizados en Y, son producto de la rotación a la que se ve afectado el modo cuando es desplazado en la dirección Y.

### b. Análisis en -Y

Al analizar el edificio ahora en la dirección -Y, se obtiene que el muro B1 alcanza primero su capacidad máxima. En la siguiente tabla se muestran los resultados de los mismos muros del punto anterior.

**Tabla 4.14** Análisis en la dirección -Y, Edificio B.

| PIER | Ag [m <sup>2</sup> ] | FU    | P <sub>u</sub> [tonf] | M <sub>u2</sub> [tonf m] | M <sub>u3</sub> [tonf m] | δ <sub>e</sub> [cm] | Pu/fc'Ag [%] |
|------|----------------------|-------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|
| B1   | 3,2337               | 1     | 437,84                | -966,54                  | -168,21                  | 5,82                | 5,42         |
| B2   | 2,224                | 0,938 | 180,08                | -1240,95                 | 626,81                   | 8,02                | 3,24         |
| B4   | 3,1238               | 0,929 | 392,14                | -820,19                  | 81,81                    | 4,40                | 5,02         |
| B5   | 0,634                | 0,428 | 348,63                | -0,63                    | -91,36                   | 7,15                | 22,00        |

De la Tabla 4.14 se observa que cuando el edificio es desplazado en el otro sentido, los muros presentan un bajo nivel de carga axial, lo que permite que sea más dúctil en -Y, para un desplazamiento de techo elástico (δ<sub>e</sub>) superior a 5,8 cm. Los muros no presentaron daños estructurales en esta dirección de análisis.

En relación a las diferencias que presentan los valores de δ<sub>e</sub>, atribuibles a la rotación del modo.

### c. Análisis en X

Ahora si analizamos que sucede en la dirección X, se tiene lo siguiente:

**Tabla 4.15** Análisis en la dirección X, Edificio B.

| PIER | Ag [m <sup>2</sup> ] | FU | P <sub>u</sub> [tonf] | M <sub>u2</sub> [tonf m] | M <sub>u3</sub> [tonf m] | δ <sub>e</sub> [cm] | Pu/fc'Ag [%] |
|------|----------------------|----|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|
| B2   | 2,224                | 1  | -468,24               | -331,26                  | 528,63                   | 4,98                | -8,42        |

Se observa que cuando el edificio es desplazado en la dirección X, el primer muro (B2) que alcanza el FU=1 se encuentra traccionado ( $P_u < 0$ ) para un desplazamiento de techo de 5 cm aproximadamente. El muro B2 no presentó daños en esta dirección de análisis.

#### d. Análisis en -X

En la dirección -X, se obtiene lo siguiente:

**Tabla 4.16** Análisis en la dirección -X, Edificio B.

| PIER | Ag [m <sup>2</sup> ] | FU | P <sub>u</sub> [tonf] | M <sub>u2</sub> [tonf m] | M <sub>u3</sub> [tonf m] | δ <sub>e</sub> [cm] | Pu/fc'Ag [%] |
|------|----------------------|----|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|
| B3   | 1,089                | 1  | -233,55               | -37,55                   | 226,71                   | 4,94                | -8,58        |

Se observa que en la dirección -X, el primer muro (B3) que alcanza el FU=1 se encuentra traccionado ( $P_u < 0$ ) para un desplazamiento de techo de 5 cm, aproximadamente. El muro B3 no presentó daños en esta dirección de análisis.

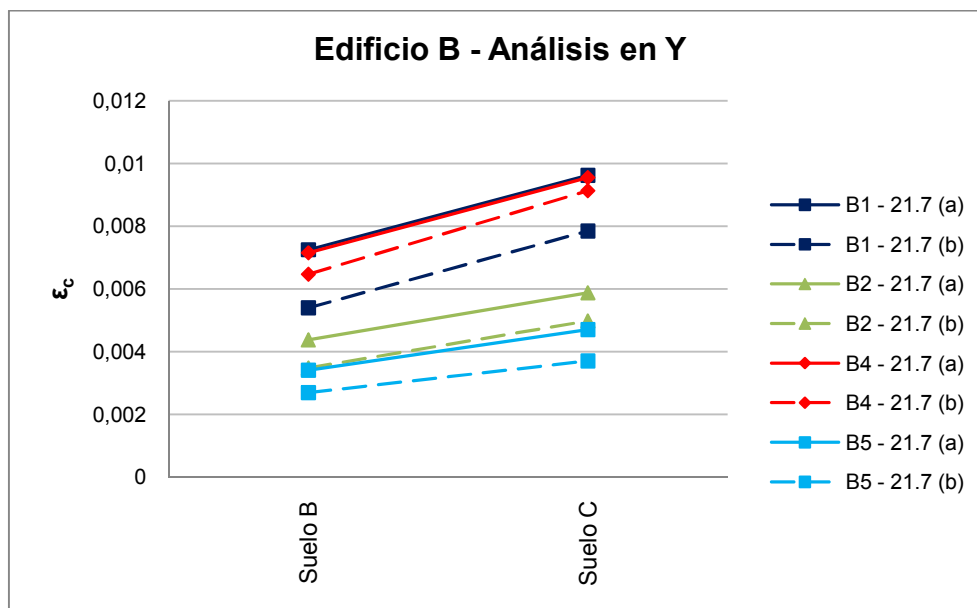
#### 4.2.6 Estudio de demanda de deformaciones

Considerando los estados de carga y desplazamientos de techo elásticos obtenidos del análisis indicado en el punto anterior, se procede a estudiar la demanda de deformaciones de cada uno de estos muros. Adicionalmente, se estudian tres muros en la dirección Y y en la dirección -Y. Estos muros se seleccionaron considerando que tienen FU mayores ( $FU > 0,8$ ) en la dirección Y (dirección de daño) y que presentaron daños. Estos muros corresponden a los indicados en la Tabla 4.13.

Para el cálculo de  $\phi_u$ , se consideró  $\phi_e$  como la curvatura de fluencia ( $\phi_y, \epsilon_y = 0,002$ ), con ello se determinaron las deformaciones unitarias.

##### a. Estimación bajo el supuesto de $l_p = l_w/2$

En las siguientes figuras se entrega la información relativa a las deformaciones unitarias del hormigón de los muros analizados, considerando que la longitud de la rótula plástica es 0,5 veces la longitud del muro. Se comparan las deformaciones obtenidas para suelo tipo B y C. Se considera deformación unitaria de compresión cuando  $\epsilon_c > 0$ . Los resultados en detalle se presentan en el ANEXO A.

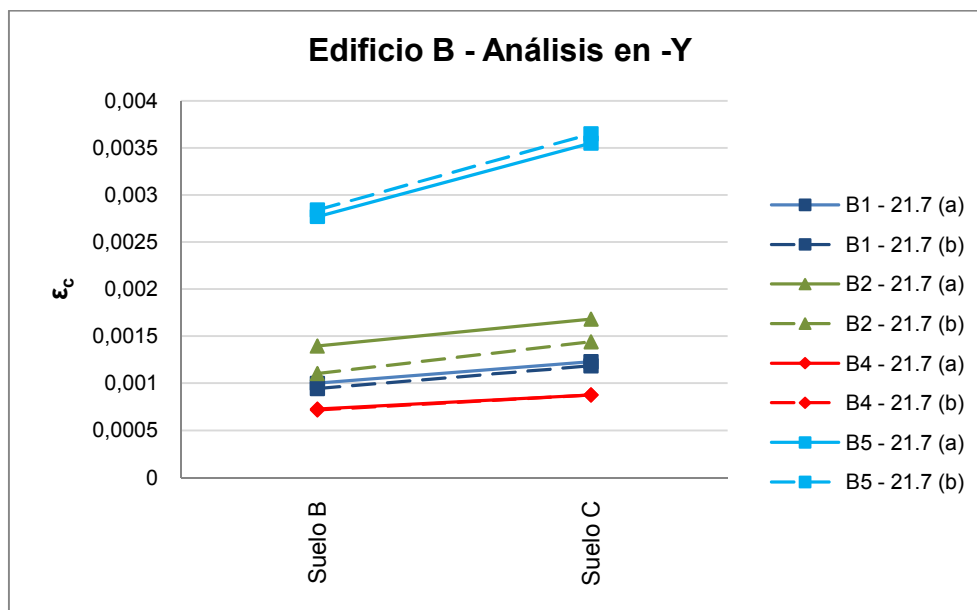


**Figura 4.11** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$ , dirección Y, Edificio B.

De la Figura 4.11 se puede observar el elevado nivel de deformación para el muro B1, que de acuerdo al análisis indicado en el punto 4.2.5 es el primer muro que alcanza su capacidad máxima. Se puede observar que la deformación unitaria del hormigón del muro B1 supera el 0,003 que establece la norma, duplicando y hasta triplicando su valor para suelo C, por lo que el borde de muro falla por compresión. Así mismo, se observa que los muros restantes también superan este nivel de deformación.

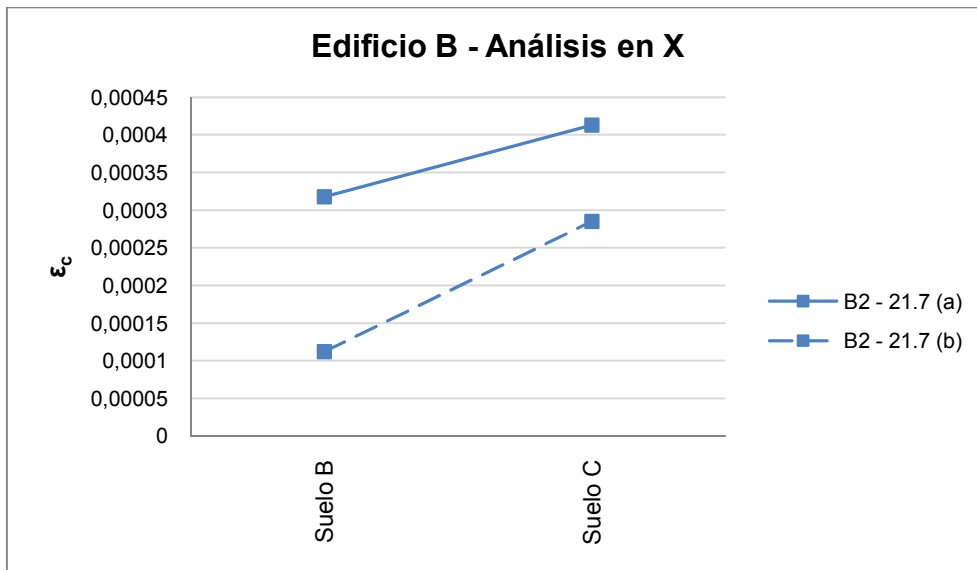
Cabe mencionar que debido a que estos muros (B2, B4 y B5) aún no alcanzan su máxima capacidad, pueden seguir desplazándose elásticamente, lo que implicaría que alcanzan deformaciones unitarias menores, por lo que este análisis es conservador, sin embargo, las deformaciones son superiores al 0,004 en algunos casos. De esta forma, los resultados reflejan lo observado en la descripción de daños, además que estos muros presentan cambios de sección en la zona de falla lo que implicaría un refuerzo adicional.

Cabe señalar que el muro B5 no presenta un nivel de daño como los observados en los muros restantes (B1, B2 y B4), sin embargo, también presenta pérdida del hormigón en el borde de muro evidenciando pandeo en las barras.



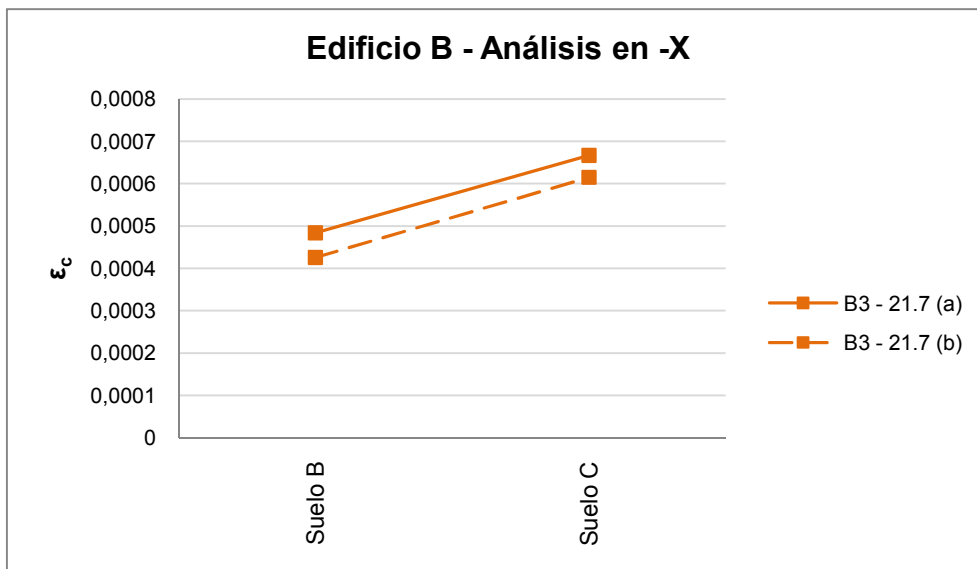
**Figura 4.12** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$ , dirección -Y, Edificio B.

Se puede apreciar de la Figura 4.12 que el muro B5 obtiene las mayores deformaciones, que son cercanas al 0,003 para suelo B y superiores para suelo C. Se esperaba que este muro presente daños estructurales, sin embargo, sólo presentó descascaramiento del hormigón en esta dirección de análisis. En relación a los muros restantes, se obtienen niveles de deformación menores al 0,0015, lo que indica que no presentarían daños por compresión en esta dirección de análisis, lo que se relaciona con el reporte de daños.



**Figura 4.13** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$ , dirección X, Edificio B.

La Figura 4.13 muestra que el muro B2, frente al estado de cargas último, se encuentra por debajo del 0,003, lo que se relaciona con el reporte de daños, pues no se presentaron daños estructurales en esta dirección de análisis.



**Figura 4.14** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$ , dirección -X, Edificio B.

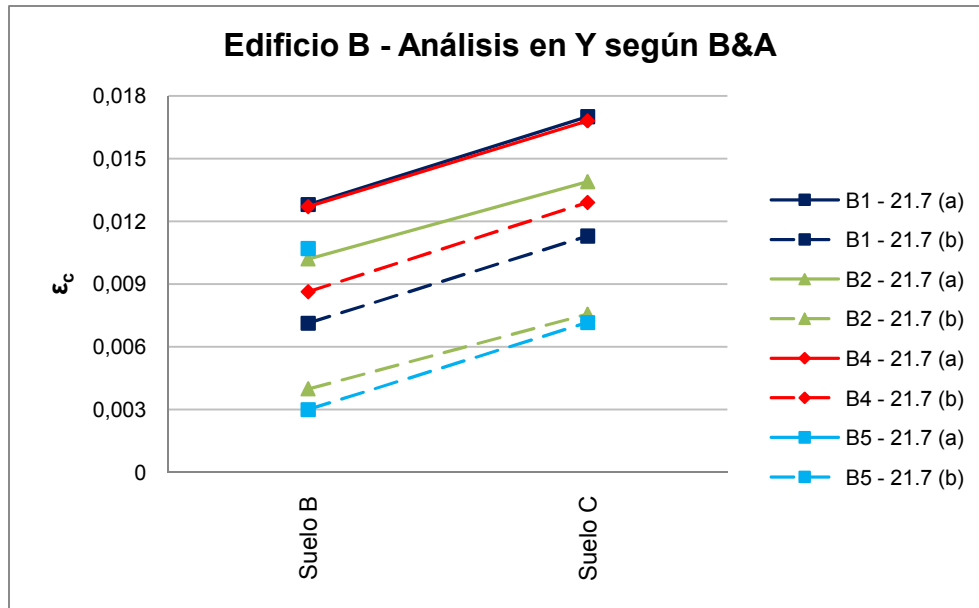
La Figura 4.14 muestra que el muro B3, frente al estado de cargas último, se encuentra por debajo del 0,003. En la dirección -X no se presentaron daños estructurales en este muro, por lo que se relaciona con lo obtenido.

Cabe mencionar que la columna definida como B16, ubicada en el eje 10 entre los ejes F y J de la Figura 3.10, presentó aplastamiento del hormigón. Esto se puede relacionar con la secuencia de falla de los muros cercanos B1 y B4 debido a que al no poder resistir más cargas éstas son redistribuidas a los elementos estructurales más cercanos y de esta forma la columna se ve sometida a un elevado nivel de carga axial.



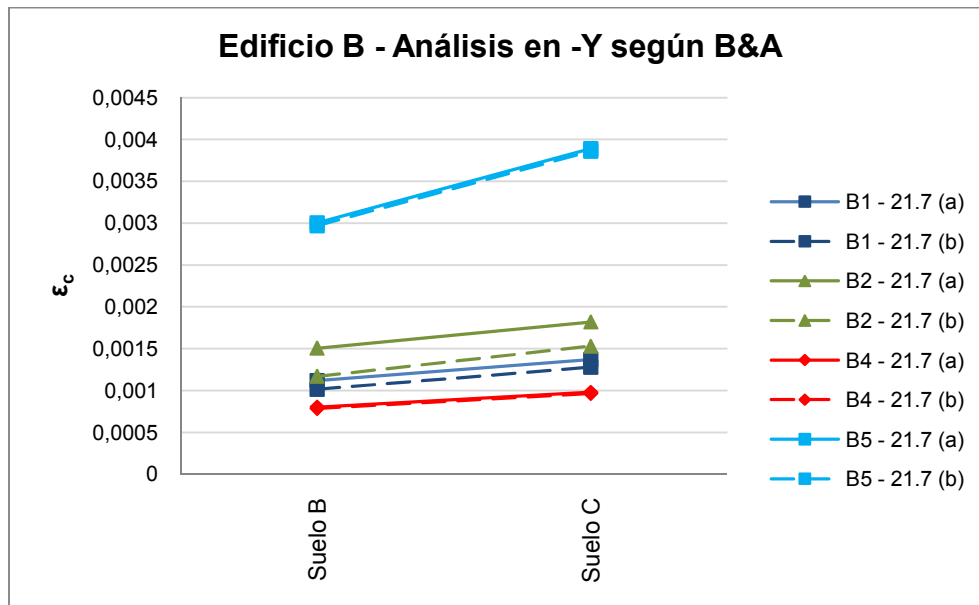
**b. Estimación bajo el supuesto de Bohl y Adebar**

Las siguientes figuras reflejan los resultados obtenidos considerando el supuesto estipulado por Bohl y Adebar (2011). Estos cálculos se realizaron sólo para las direcciones Y y -Y, que corresponden a las direcciones representativas del estudio. Los resultados en detalle se presentan en el ANEXO A.



**Figura 4.15** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$  según B&A, dirección Y, Edificio B.

La Figura 4.15 muestra que todos los muros superan el 0,003 cuando se analiza en la dirección Y. Para el muro B5 y suelo tipo C, fórmula 21.7 (a), no es posible obtener la deformación unitaria del hormigón puesto que la demanda de curvatura es superior al valor máximo de la curvatura.



**Figura 4.16** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$  según B&A, dirección -Y, Edificio B.

En la Figura 4.16 se observa que sólo el muro B5 supera el 0,003 cuando se analiza en -Y.

### 4.3 EDIFICIO C

#### 4.3.1 Determinación del factor de agrietamiento de muros

Se determinaron los factores de agrietamiento para algunos muros del primer piso. Estos muros fueron seleccionados considerando su incidencia en el comportamiento de la estructura además de la geometría de los mismos, para de esta manera tener un patrón variado del tipo de muros analizados. La calidad del hormigón corresponde a H30, y así se obtiene el módulo de elasticidad del hormigón:

$$E_c = 4700\sqrt{25} = 23500 [MP ]$$

De acuerdo a lo indicado en el punto 2.2.5, es posible el obtener el factor de agrietamiento ( $\lambda$ ) de los muros, cuyos valores se muestran en la Tabla 4.17. Se estimaron los factores de agrietamiento cuando el edificio es desplazado en la dirección Y, en ambos sentidos. Los resultados en detalle se presentan en el ANEXO A. Las plantas de los muros analizados se presentan en el ANEXO B.

**Tabla 4.17** Factores de agrietamiento muros primer piso, Edificio C.

| PIER | $\lambda$ en Y | $\lambda$ en -Y |
|------|----------------|-----------------|
| B1   | 0,283          | 0,298           |
| B2   | 0,411          | 0,140           |
| B4   | 0,473          | 0,220           |
| B5   | 0,445          | 0,260           |
| B6   | 0,233          | 0,422           |
| B10  | 0,134          | 0,399           |
| B12  | 0,283          | 0,298           |

Observando la Tabla 4.17, se obtiene que el factor de agrietamiento de los muros depende de la dirección de análisis de los muros. En algunos casos se obtienen valores menores que 0,2 en un sentido de análisis mientras que en el otro se obtienen valores cercanos a 0,4. Se determinó que individualizar los factores de agrietamiento por muro no generaba cambios significativos en los desplazamientos de techo de la estructura y bajo el supuesto de que el método corresponde a una aproximación del comportamiento de la estructura se asumió un valor base de 0,4.

#### 4.3.2 Asignación de factores de agrietamiento a muros

La asignación de los factores de agrietamiento de realizó de manera escalonada en la altura, partiendo de la base del valor obtenido en el punto anterior, tan como se muestra en la Tabla 4.18.

**Tabla 4.18** Asignación de agrietamiento de muros en la altura, Edificio C.

| Pisos    | $\lambda$ |
|----------|-----------|
| -1 al 2  | 0,4       |
| 3 al 5   | 0,6       |
| 6 al 9   | 0,8       |
| 10 al 13 | 1,0       |

Por simplicidad se realizó un incremento de 0,2 en el factor de agrietamiento en la altura. Este factor se ingresó al modelo modificando la inercia de los muros. Si bien el edificio tiene 2 subterráneos, se consideró modificar el modelo a partir del primer subterráneo debido a la continuidad de los muros y la restricción lateral del subterráneo inferior.

### 4.3.3 Asignación de factores de agrietamiento a losas y vigas

En este caso, la modificación de la sección de las losas se realizó en los modificadores de “*bending*”, denominados en ETABS como *m11* y *m22*, del elemento. Se asignó el valor de 0,25 de acuerdo a lo indicado en el punto 2.2.6.

La modificación de la sección de las vigas se realizó en los modificadores de la inercia con respecto al eje 2 y 3. Se asignó el valor de 0,35 de acuerdo a lo indicado en el punto 2.2.6.

### 4.3.4 Comparación de períodos agrietados según el DS61 y el modelo computacional

Una vez realizadas todas las modificaciones al modelo, se obtienen nuevos períodos del modelo que incluyen el agrietamiento de la estructura ( $T_{cr}$ ). En la Tabla 4.19 se muestran estos períodos junto con los determinados de acuerdo al punto 2.1.6 indicados en la Tabla 3.12.

**Tabla 4.19** Períodos agrietados según el DS61 y el modelo computacional, Edificio C.

| Dirección | $T_{cr}$ [s] | $T_{ag}$ [s] |
|-----------|--------------|--------------|
| X         | 0,550        | 0,575        |
| Y         | 0,910        | 0,935        |

Al comparar estos valores se puede notar una semejanza que sólo representa una diferencia del 4% para la dirección X y un 3% para la dirección Y, siendo mayores los períodos obtenidos según el DS61 ( $T_{ag}$ ). Por lo tanto, la estimación del desplazamiento de techo último obtenida de acuerdo al DS61 es adecuada.

### 4.3.5 Análisis del modelo

El análisis contempla desplazar el modelo en las distintas direcciones y determinar cuál es el primer muro que alcanza el Factor de Utilización (FU) o Razón de Capacidad (RC) igual a 1. Esto indicaría hipotéticamente cual es el primer muro que falla cuando el edificio es desplazado en las distintas direcciones y se consideraría este nivel de deformación del modelo para analizar los muros restantes. Esto es razonable considerando que las diferencias entre la capacidad máxima y la capacidad al momento de la fluencia son similares. De esta forma la estimación de la capacidad elástica de deformación puede ser algo sobre-estimada. El edificio C se analiza a modo de comparación ya que no presentó daños estructurales.

Cuando un muro alcanza un  $FU=1$ , esto indica que alcanza su deformación elástica y luego comienza a incurrir en el rango inelástico, y potencialmente en el daño.

A modo de resumen se presenta la Tabla 4.20 donde se indican los muros (en %) que se ubican dentro de ciertos rangos de FU para cada dirección de análisis.

**Tabla 4.20** Resumen de FU dependiendo de la dirección de análisis, Edificio C.

| Rango de FU | Y [%] | -Y [%] | X [%] | -X [%] |
|-------------|-------|--------|-------|--------|
| <0,5        | 59,95 | 73,20  | 27,84 | 38,65  |
| 0,5-0,9     | 37,73 | 24,72  | 66,69 | 59,90  |
| 0,9-1,0     | 2,32  | 2,07   | 5,46  | 1,44   |

De la Tabla 4.20 podemos observar que cuando se analiza la dirección Y se observa un bajo nivel de sollicitación de los muros en todas las direcciones lo que se relaciona con el comportamiento que tuvo el edificio frente al sismo del 27F donde no presentó daños estructurales

A continuación se presentan los resultados para los muros que alcanzan un  $FU=1$  en las distintas direcciones de análisis y además se incluyen muros con FU menores y cercanos a 1 en las direcciones

de interés (Y e -Y). Los resultados en detalle para todos los muros del piso de análisis se presentan en el ANEXO A. Las plantas de los muros analizados se presentan en el ANEXO B.

La Figura 4.17 muestra los muros considerados para el análisis en la dirección Y mientras que la Figura 4.18 muestra los muros considerados en la dirección X.

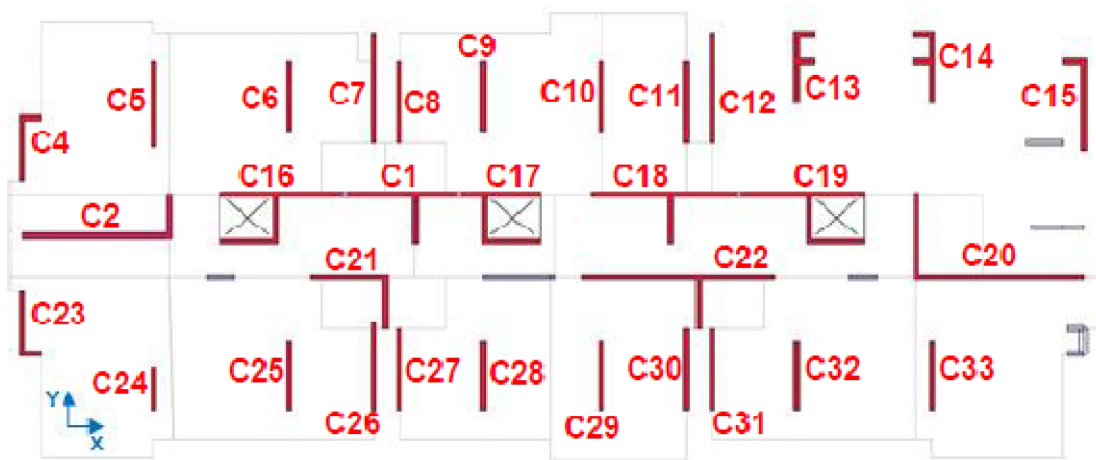


Figura 4.17 Muros definidos en la dirección Y, Edificio C.

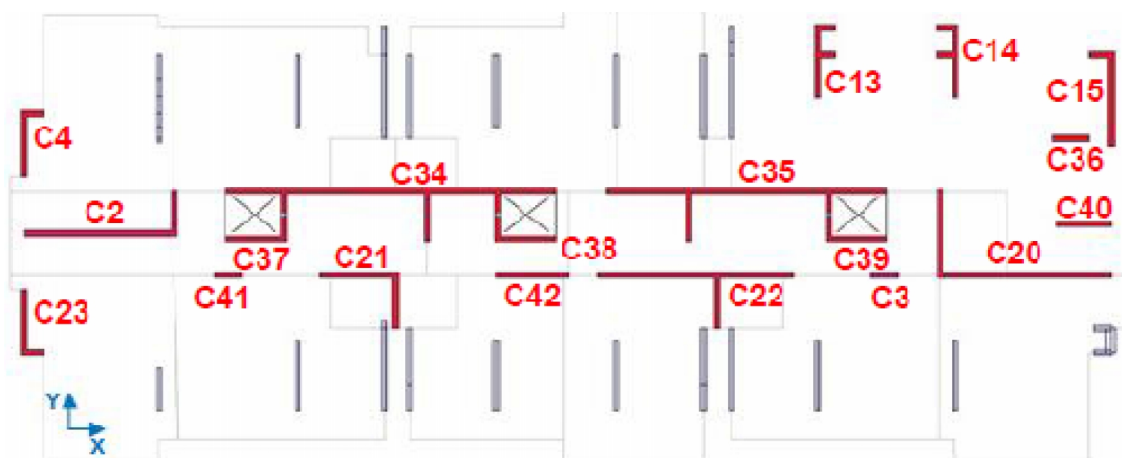


Figura 4.18 Muros definidos en la dirección X, Edificio C.

#### a. Análisis en Y

De acuerdo a los análisis realizados, al desplazar el edificio en la dirección Y, se obtiene que el primer muro que alcanza el  $FU=1$ , junto con los más solicitados, son los siguientes:

Tabla 4.21 Análisis en la dirección Y, Edificio C.

| PIER | Ag [m <sup>2</sup> ] | FU    | P <sub>u</sub> [tonf] | M <sub>u2</sub> [tonf m] | M <sub>u3</sub> [tonf m] | δ <sub>e</sub> [cm] | Pu/f'cAg [%] |
|------|----------------------|-------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|
| C1   | 0,963                | 1     | 121,88                | 71,395                   | 0,286                    | 4,71                | 5,06         |
| C6   | 0,525                | 0,745 | 370,95                | -0,56                    | 208,97                   | 4,88                | 28,26        |
| C7   | 0,82                 | 0,713 | 659,09                | -0,91                    | 329,22                   | 4,57                | 32,15        |
| C8   | 0,61                 | 0,764 | 483,65                | 0,14                     | 245,16                   | 4,47                | 31,71        |

Es posible observar un bajo porcentaje de carga axial de compresión ( $P_u > 0$ ) al que se ve sometido el muro C1, muro T con ala en compresión, frente a un desplazamiento de techo elástico ( $\delta_e$ ) igual a 4,7 cm, aproximadamente. Esto permite esperar un comportamiento dúctil del muro frente a

solicitaciones sísmicas. Este muro no presentó daños estructurales. En relación a los muros restantes, estos corresponden a muros rectangulares que presentan un elevado porcentaje de carga axial para  $\delta_e$  similares.

#### b. Análisis en -Y

Al analizar el edificio en la dirección -Y, el primer muro que alcanza su capacidad máxima es el muro C2, En la siguiente tabla se muestran sus resultados junto con los muros C6, C7 y C8 pero con FU menores. Esto se realiza debido a que tienen una ubicación y disposición similar a los muros dañados del edificio A y B.

**Tabla 4.22** Análisis en la dirección -Y, Edificio C.

| PIER | Ag [m <sup>2</sup> ] | FU    | P <sub>u</sub> [tonf] | M <sub>u2</sub> [tonf m] | M <sub>u3</sub> [tonf m] | $\delta_e$ [cm] | Pu/f'cAg [%] |
|------|----------------------|-------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|--------------|
| C2   | 1,44                 | 1     | 317,815               | -86,45                   | -209,42                  | 5,28            | 8,83         |
| C6   | 0,525                | 0,292 | 173,07                | -0,65                    | -65,00                   | 5,23            | 13,19        |
| C7   | 0,82                 | 0,234 | -103,57               | -0,80                    | -268,74                  | 4,99            | -5,05        |
| C8   | 0,61                 | 0,237 | -75,23                | 1,31                     | -170,61                  | 4,92            | -4,93        |

De la Tabla 4.22 se observa que cuando el edificio es desplazado en -Y, el muro C2 presenta un bajo nivel de carga axial a compresión ( $P_u > 0$ ), lo que permite que sea más dúctil, para un desplazamiento de techo elástico ( $\delta_e$ ) igual a 5,3 cm, aproximadamente. Este muro no presentó daños estructurales. En relación a los muros restantes, el muro C6 presenta un bajo nivel de carga axial a compresión mientras que los muros C7 y C8 se encuentran traccionados para  $\delta_e$  similares.

#### c. Análisis en X

Ahora si analizamos que sucede en la dirección X, se tiene lo siguiente:

**Tabla 4.23** Análisis en la dirección X, Edificio C.

| PIER | Ag [m <sup>2</sup> ] | FU | P <sub>u</sub> [tonf] | M <sub>u2</sub> [tonf m] | M <sub>u3</sub> [tonf m] | $\delta_e$ [cm] | Pu/f'cAg [%] |
|------|----------------------|----|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|--------------|
| C3   | 0,1568               | 1  | 102,817               | -0,22                    | 40,09                    | 3,89            | 26,23        |

Se observa que cuando el edificio es desplazado en la dirección X, el muro C3 se ve sometido a un desplazamiento de techo aproximado de 3,9 cm y a un elevado nivel de carga axial de compresión ( $P_u > 0$ ). Este muro no presentó daños estructurales.

#### d. Análisis en -X

En la dirección -X, se obtiene lo siguiente:

**Tabla 4.24** Análisis en la dirección -X, Edificio C.

| PIER | Ag [m <sup>2</sup> ] | FU | P <sub>u</sub> [tonf] | M <sub>u2</sub> [tonf m] | M <sub>u3</sub> [tonf m] | $\delta_e$ [cm] | Pu/f'cAg [%] |
|------|----------------------|----|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|--------------|
| C3   | 0,1568               | 1  | 37,935                | 0,20                     | -51,36                   | 3,44            | 9,68         |

Se observa que en la dirección -X, el muro C3 posee un bajo nivel de carga axial de compresión ( $P_u > 0$ ) para un desplazamiento de techo igual a 3,4 cm, aproximadamente. Este muro no presentó daños estructurales.

#### 4.3.6 Estudio de demanda de deformaciones

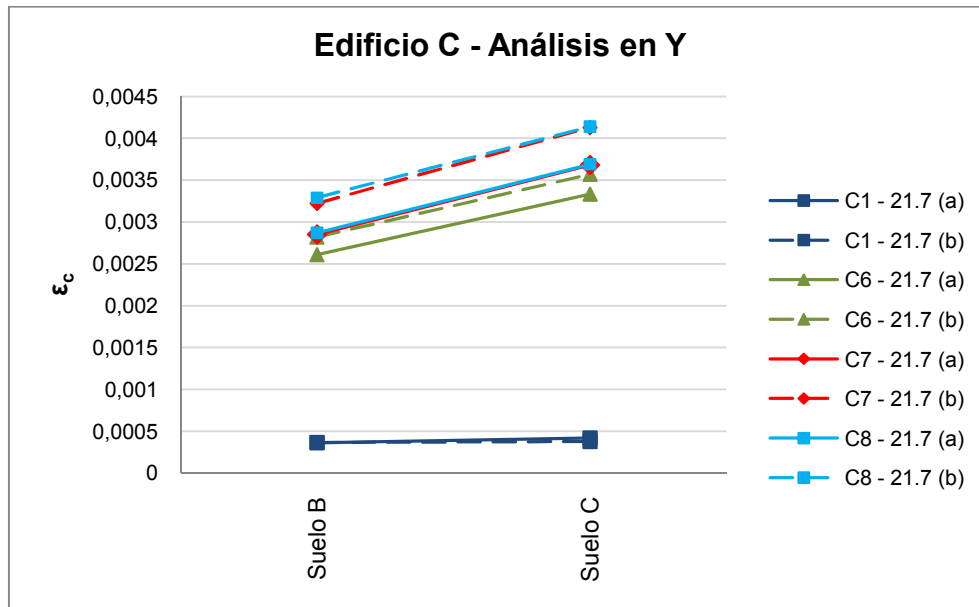
Considerando los estados de carga y desplazamientos de techo elásticos obtenidos del análisis indicado en el punto anterior, se procede a estudiar la demanda de deformaciones de cada uno de estos muros. Adicionalmente, se estudian tres muros en la dirección Y y en la dirección -Y. Estos muros se

seleccionaron considerando que tienen FU mayores ( $FU > 0,7$ ) en la dirección Y (dirección de daño de los edificios A y B). Estos muros corresponden a los indicados en la Tabla 4.21.

Para el cálculo de  $\phi_u$ , se consideró  $\phi_e$  como la curvatura de fluencia ( $\phi_y, \epsilon_y = 0,002$ ), con ello se determinaron las deformaciones unitarias.

**a. Estimación bajo el supuesto de  $I_p = I_w / 2$**

En las siguientes figuras se entrega la información relativa a las deformaciones unitarias del hormigón de los muros analizados, considerando que la longitud de la rótula plástica es 0,5 veces la longitud del muro. Se comparan las deformaciones obtenidas para suelo tipo B y C. Se considera deformación unitaria de compresión cuando  $\epsilon_c > 0$ . Los resultados en detalle se presentan en el ANEXO A.



**Figura 4.19** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$ , dirección Y, Edificio C.

La Figura 4.19 muestra que el muro C1 ( $FU=1$ ) se encuentra muy por debajo del 0,003, lo que evidencia que el muro no presente daños. Este muro corresponde a un muro T con el ala en compresión por lo que entra antes en el rango inelástico. Los muros restantes (rectangulares) presentan deformaciones unitarias cercanas al 0,003, pero estos muros aún no alcanzan su máxima capacidad, por lo que pueden seguir desplazándose elásticamente, lo que implicaría que alcanzan deformaciones unitarias menores, por lo que este análisis es conservador.

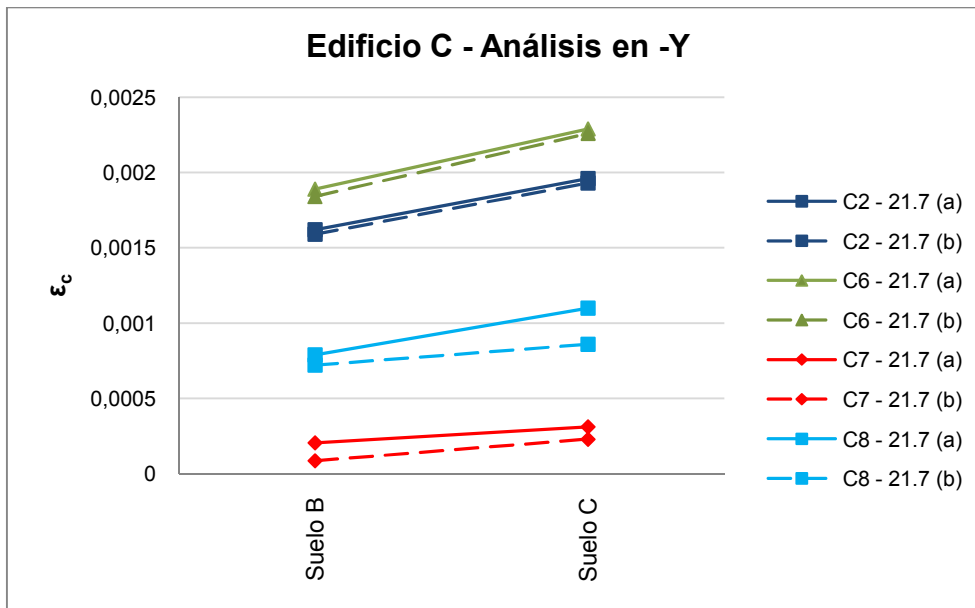


Figura 4.20 Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$ , dirección -Y, Edificio C.

La Figura 4.20 muestra que los muros alcanzan deformaciones unitarias menores que 0,003, lo que evidencia que los muros no presentaron daños.

Al calcular las deformaciones unitarias del muro C2 en la dirección -Y se consideró un *largo equivalente* ( $L^{equiv}$ ) debido que frente al estado de cargas se tiene una rotación ( $\alpha$ ) de la línea neutra (LN) debido a la flexión bi-axial a la que se ve sometida el muro, por lo tanto la distribución de la plasticidad del muro sería distribuida en un longitud superior, tal como se muestra en la Figura 4.21.

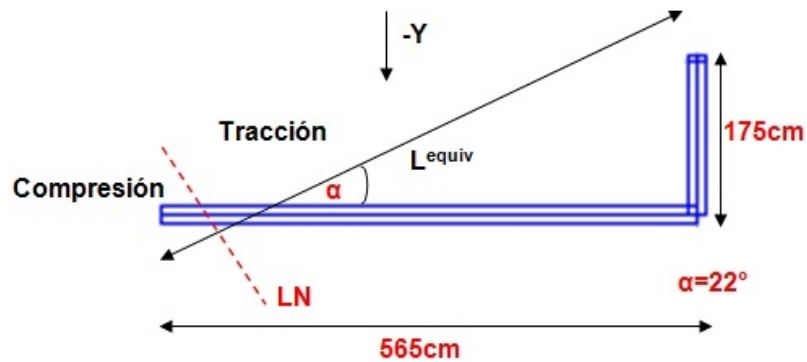


Figura 4.21 Diagrama largo equivalente muro C2, Edificio C.

De esta forma, y de modo simplificado, el largo equivalente ( $L^{equiv}$ ) queda determinado como:

$$L^{equiv} = 565cm / \cos(22^\circ) = 611cm$$

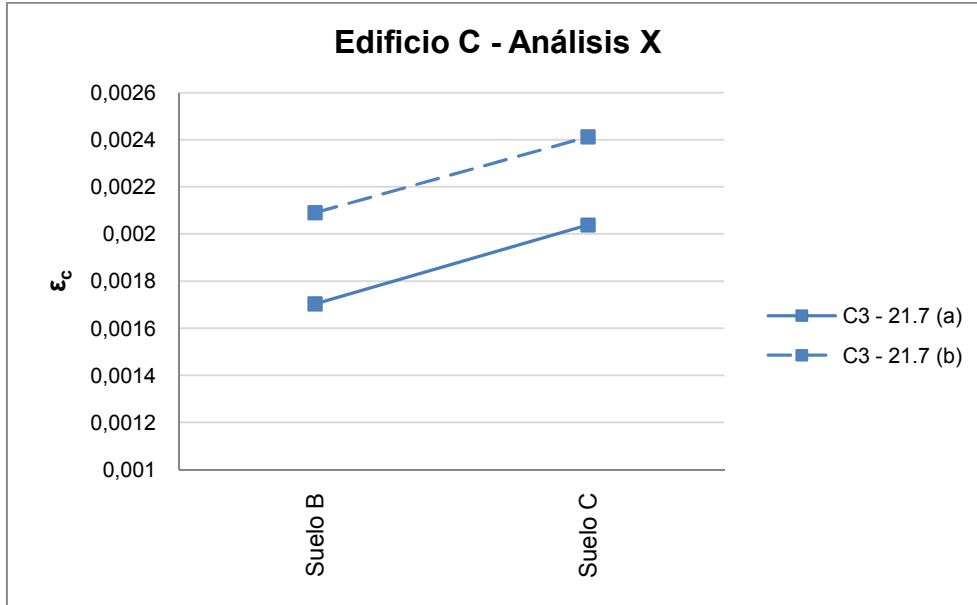
Ahora, si erróneamente se hubiera considerado el largo del muro en la dirección -Y ( $L=175cm$ ), se hubieran obtenido los siguientes valores.

Tabla 4.25 Deformaciones unitarias para muro C2 sin considerar  $L^{equiv}$ , Edificio C.

| C2      | 21.7 (a) | 21.7 (b) |
|---------|----------|----------|
| Suelo B | 4,58E-03 | 3,82E-03 |
| Suelo C | 1,27E-02 | 4,20E-03 |

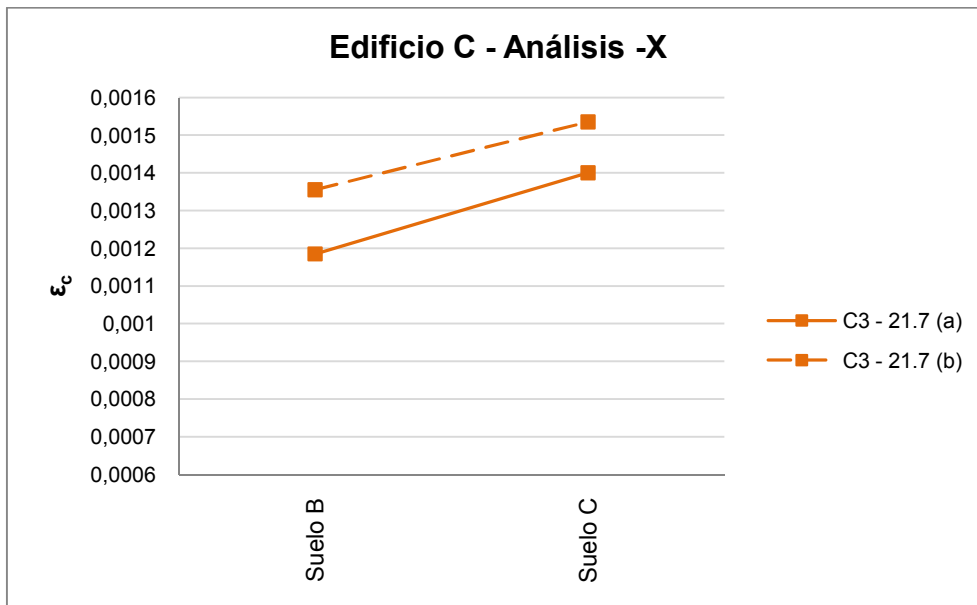
De la Tabla 4.25 se puede observar que al no considerar el largo equivalente producto de la rotación de la línea neutra y por lo tanto una variación de la longitud de la distribución de la plasticidad del muro, los valores excederían considerablemente el 0,003 y se esperaría que este muro se encuentre completamente dañado, lo que no ocurrió en la realidad. Si se comparan estos valores con los mostrados en la Figura 4.20 podemos apreciar una disminución de más del 60% en la deformación unitaria.

Analizando la dirección X, se obtiene lo siguiente:



**Figura 4.22** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$ , dirección X, Edificio C.

La Figura 4.22 muestra que el muro C3, frente al estado de cargas último, se encuentra por debajo del 0,003, lo que evidencia que el muro no presenta daños.



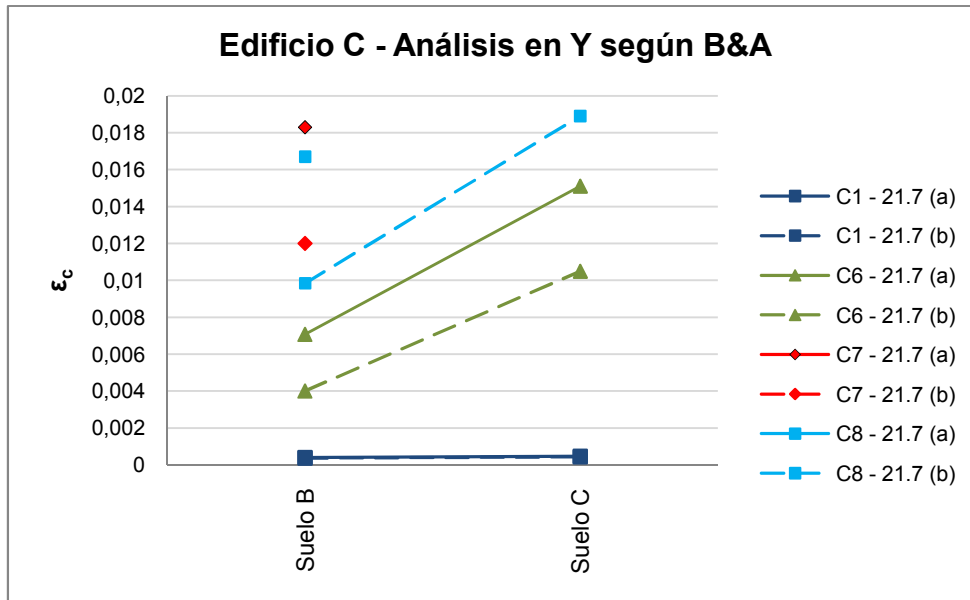
**Figura 4.23** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$ , dirección -X, Edificio C.

Es posible apreciar de la Figura 4.23 que el muro C3, frente al estado de cargas último, se encuentra por debajo del 0,003, lo que evidencia que el muro no presenta daños.



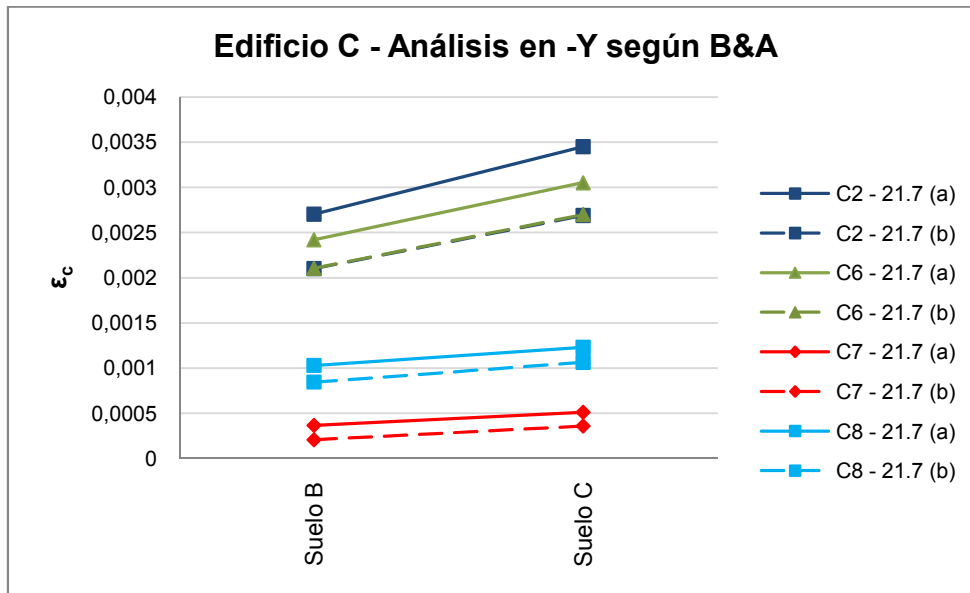
**b. Estimación bajo el supuesto de Bohl y Adebar**

Las siguientes figuras reflejan los resultados obtenidos considerando el supuesto estipulado por Bohl y Adebar (2011). Estos cálculos se realizaron sólo para las direcciones Y y -Y, que corresponden a las direcciones representativas del estudio. Los resultados en detalle se presentan en el ANEXO A.



**Figura 4.24** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$  según B&A, dirección Y, Edificio C.

En la Figura 4.24 se muestra que los muros C6, C7 y C8 superan el 0,003. En relación a los valores no indicados en la figura para los muros C1 y C8, no es posible determinar las deformaciones unitarias puesto que las demandas de curvatura son superiores al valor máximo de la curvatura para cada uno de los casos.



**Figura 4.25** Deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$  según B&A, dirección -Y, Edificio C.

En Figura 4.25 se observa que el muro C2, para suelo C y fórmula 21.7 (a), supera el 0,003 mientras que para los muros restantes se obtienen valores menores a 0,003.

#### 4.4 COMPARACIÓN Y COMENTARIOS

A continuación se muestra un resumen de los desplazamientos de techo obtenidos de los modelos computacionales bajo el análisis descrito anteriormente.

**Tabla 4.26** Resumen desplazamientos de techo elásticos ( $\bar{\delta}_e$ ) según las direcciones de análisis.

| Edificio | Y [cm] | -Y [cm] | X [cm] | -X [cm] |
|----------|--------|---------|--------|---------|
| <b>A</b> | 12,16  | 7,07    | 5,77   | 5,86    |
| <b>B</b> | 10,17  | 5,82    | 4,98   | 4,94    |
| <b>C</b> | 4,71   | 5,28    | 3,89   | 3,44    |

Las demandas de desplazamiento obtenidas según el DS61 para cada edificio son las siguientes:

**Tabla 4.27** Demandas de desplazamientos de techo estimadas según DS61.

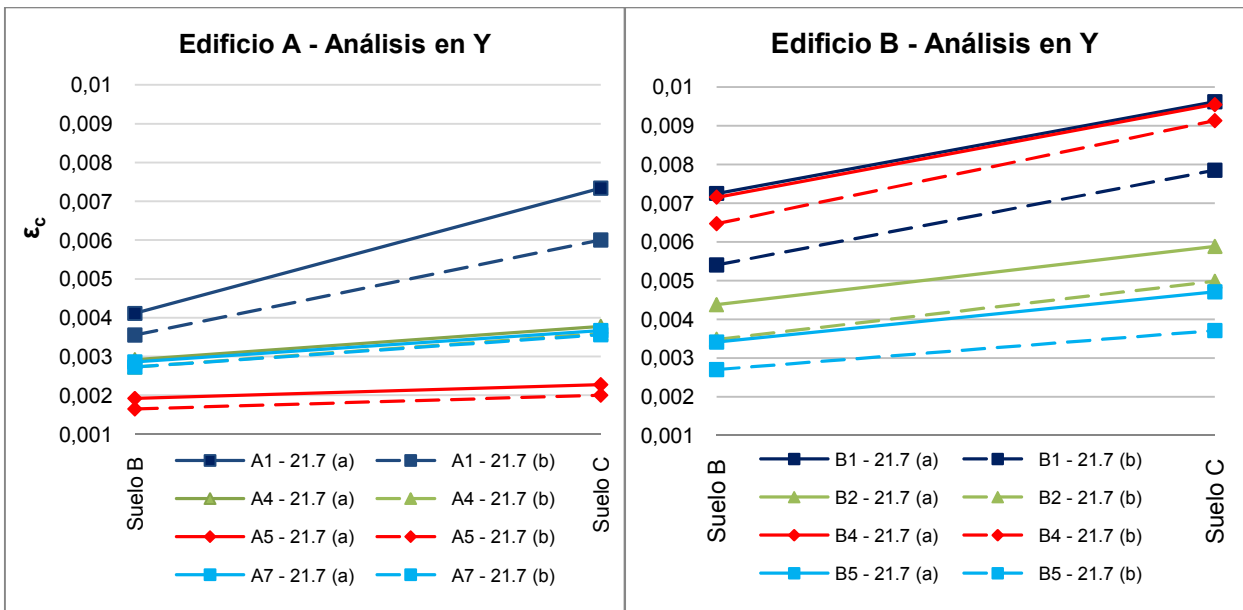
| Edificio | Suelo B |        | Suelo C |        |
|----------|---------|--------|---------|--------|
|          | Y [cm]  | X [cm] | Y [cm]  | X [cm] |
| <b>A</b> | 14      | 11,65  | 18,5    | 15,41  |
| <b>B</b> | 14,46   | 7,42   | 19,1    | 9,58   |
| <b>C</b> | 10,03   | 5,65   | 13,23   | 7,29   |

Al analizar los edificios A y B en la dirección Y se obtiene que los muros alcanzan un  $FU=1$  para un desplazamiento mayor que el determinado para la dirección -Y, lo contrario del edificio C. Esto es atribuible a que los primeros muros que alcanzan un  $FU=1$  en la dirección Y, para los edificios A y B, son muros T con el alma en compresión. En cambio para el edificio C el primer muro que alcanza su capacidad máxima en Y corresponde a un muro T pero con el ala en compresión lo que implica una menor ductilidad.

De los análisis realizados en los modelos de ETABS es posible detectar un acoplamiento mayoritario en la dirección X y -X lo que se evidencia en los bajos desplazamientos de techo obtenidos. Esto ocurre pese a haber disminuido estos efectos agrietando las losas y vigas. En algunas ocasiones se obtuvieron tracciones en los muros al realizar los análisis, lo que también lleva a pensar en tal acoplamiento. A esto se suma que la rigidez de los edificios en X, dirección larga, es superior a la de la dirección transversal (dirección Y), por ende se requieren mayores esfuerzos para desplazarlo en esta dirección. Sin embargo, los análisis fueron enfocados principalmente en la dirección de falla que tuvieron los muros de los edificios A y B, dirección Y, siendo ésta la dirección más representativa del estudio.

En términos de deformaciones unitarias, al comparar los edificios dañados en la dirección de análisis donde se presentaron los daños, se pueden apreciar los elevados niveles de deformación a los que se ven sometidos los muros frente a las solicitaciones impuestas en el presente estudio.

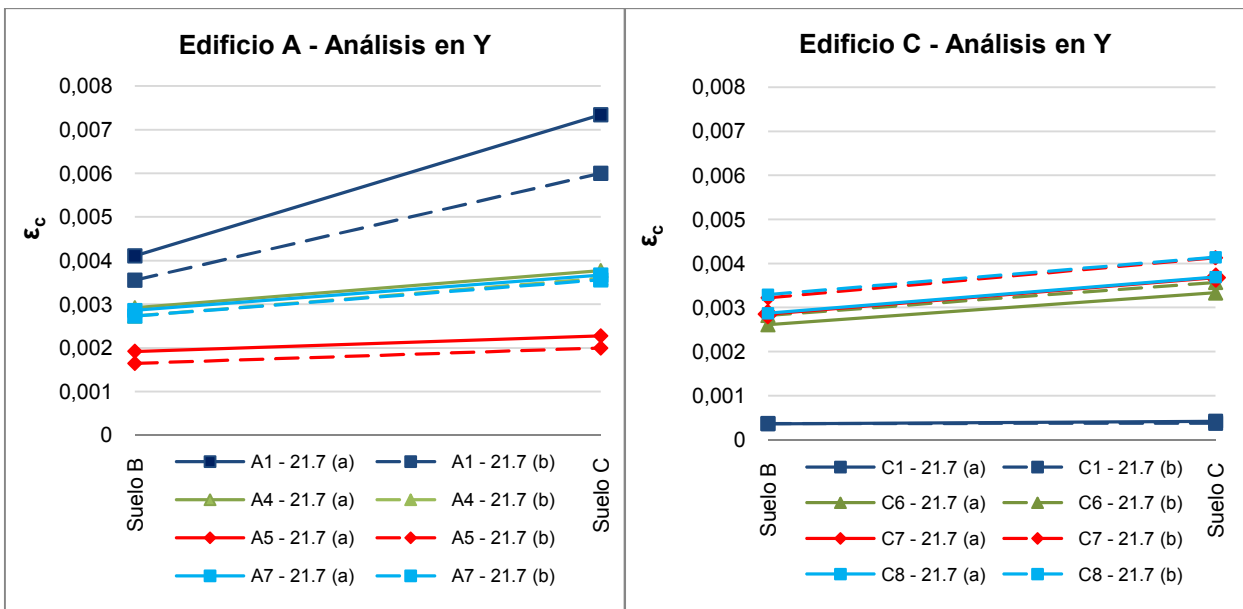
En la Figura 4.26 se muestra una comparación de las deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$  obtenidas para los edificios dañados (A y B) mientras que la Figura 4.27 muestra la comparación del edificio A con el edificio C, en la dirección Y, bajo el supuesto que la longitud de la rótula plástica es 0,5 veces la longitud del muro en la dirección de análisis.



**Figura 4.26** Comparación deformaciones unitarias del hormigón, dirección Y, Edificios A y B.

Se puede observar en la Figura 4.26 que el Edificio B (18 pisos) posee mayores niveles de deformación que el Edificio A (21 pisos). Se puede apreciar que los muros indicados del Edificio B superan el 0,003, por lo que se esperaba que estos muros incurrieran en el daño por compresión en el extremo libre del muro, lo que efectivamente ocurrió puesto que estos muros tuvieron daños estructurales en el alma producto del sismo del 27F. Algo similar se aprecia en el Edificio A, no obstante, sólo uno de estos muros sufrió daños por flexo-compresión (muro A1).

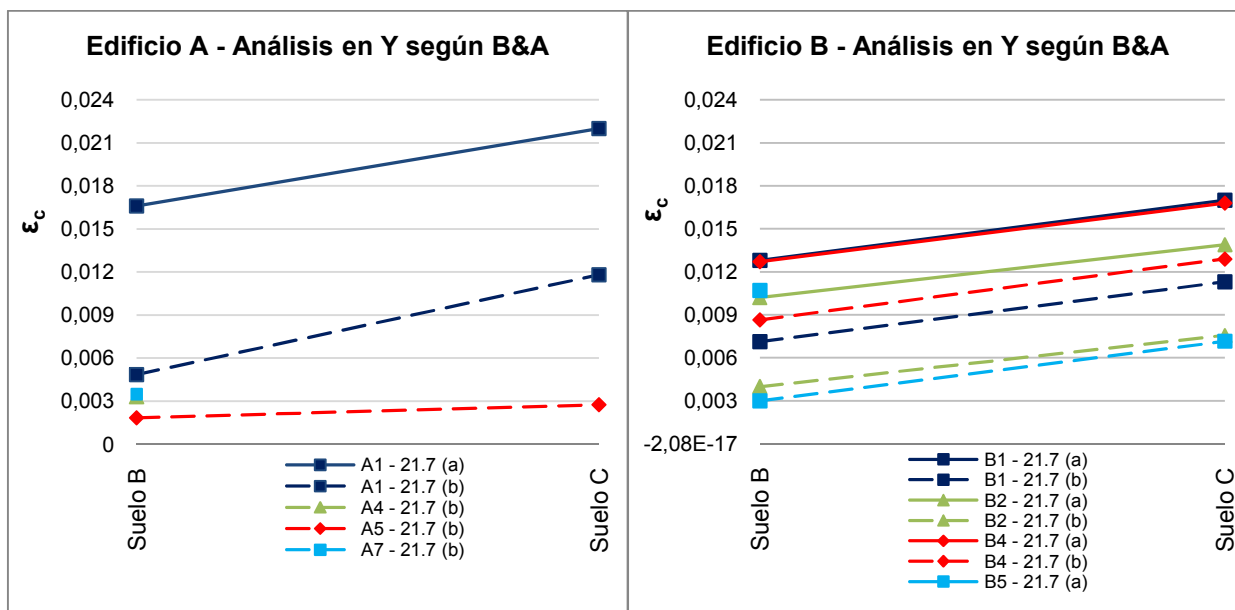
En relación al párrafo anterior, un punto importante del análisis realizado corresponde al supuesto que se hace al considerar el estado límite cuando un muro alcanza su capacidad máxima ( $FU=1$ ), pero los muros restantes (con  $FU<1$ ), aún tienen capacidad de deformación por lo que al estimar las deformaciones nos encontramos dentro del lado conservador, y esto es porque se asume un valor de desplazamiento elástico ( $\delta_e$ ) menor al real, así al estimar las deformaciones unitarias se obtienen valores sobre-estimados.



**Figura 4.27** Comparación deformaciones unitarias del hormigón, dirección Y, Edificios A y C.

Comparando los niveles de deformación del edificio A con el edificio C, que se encuentran distanciados a menos de 100 metros, se puede apreciar cierta similitud, obteniendo en este último caso valores cercanos a 0,003. Con esto se esperarían potenciales daños por compresión en los muros del Edificio C, sin embargo, los muros que superan el 0,003 aún no alcanzan su capacidad máxima por lo que podrían seguir desplazando elásticamente y los valores de  $\epsilon_c$  se encontrarían por debajo del 0,003, particularmente para el suelo B. En relación al muro C1, valor mínimo de la Figura 4.27, se observa una diferencia considerable y es atribuible a la sección que tienen los muros, donde el muro C1 corresponde a un muro T y los restantes a muros rectangulares.

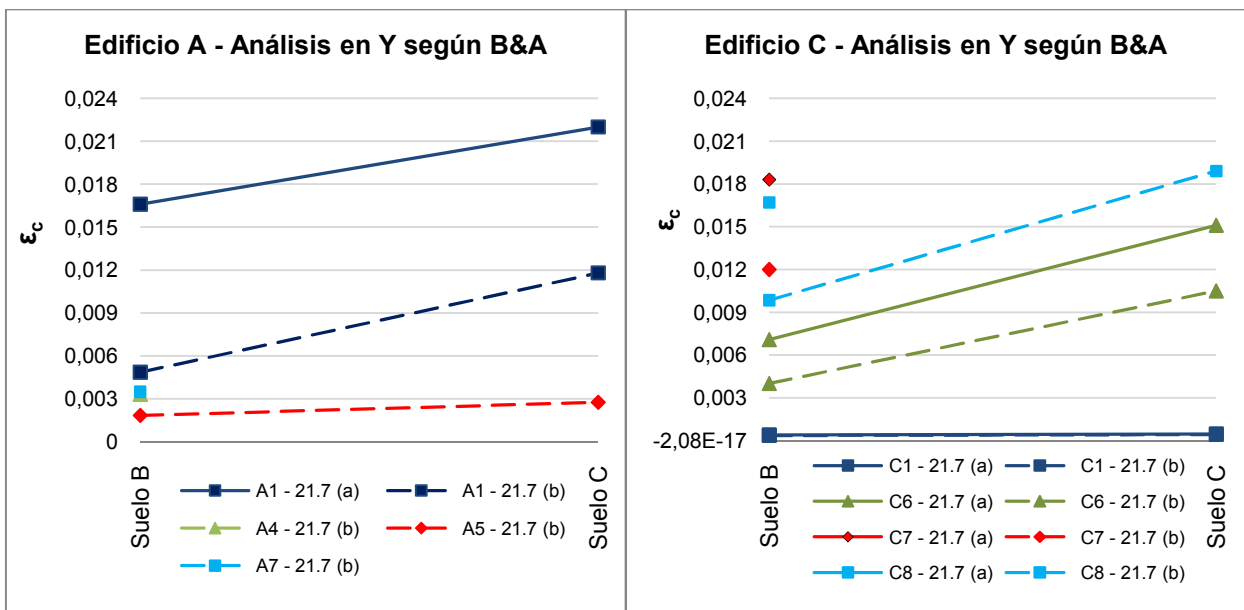
En la Figura 4.28 se muestra una comparación de las deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$  obtenidas para los edificios dañados (A y B) mientras que la Figura 4.27 muestra la comparación del edificio A con el edificio C, en la dirección Y, bajo el supuesto que la longitud de la rótula plástica depende del corte y la carga axial (Bohl y Adebar 2011).



**Figura 4.28** Comparación deformaciones unitarias del hormigón según B&A, dirección Y, Edificios A y B.

Al comparar el edificio A con el edificio B, es posible observar que para el edificio A y suelo tipo B, los muros tienen valores cercanos a 0,003, sin embargo, el muro A1 es el único que supera este valor ampliamente el 0,003. Para el edificio B, la totalidad de los muros y para ambos tipos de suelo superan este valor, pudiendo de esta forma correlacionar los análisis con el daño observado, donde en el edificio A sólo el muro A1 presentó daños por flexo-compresión mientras que el edificio B en los muros B1, B2 y B4 y daños en menor magnitud en el muro B5.

En relación a los valores obtenidos utilizando la estimación de la longitud de la rótula plástica según Bohl y Adebar (2011), se aprecia que la fórmula propuesta por los autores es sensible a altos niveles de carga axial y así los valores de la curvatura se disparan haciendo bastante conservadores los análisis. Esto es posible observarlo en los muros para los cuales no fue posible estimar las deformaciones unitarias puesto que los niveles de curvatura superaban el máximo del diagrama M- $\phi$ .



**Figura 4.29** Comparación deformaciones unitarias del hormigón según B&A, dirección Y, Edificios A y C.

La Figura 4.29 muestra que los muros del edificio C presentan altos niveles de deformación superando en algunos casos a los del edificio A y en algunos casos no es posible determinar las deformaciones unitarias.

Particularmente para el edificio C, estimar las deformaciones unitarias bajo el supuesto de Bohl y Adebar (2011) se hace bastante desfavorable, como se señaló anteriormente, puesto que al tener elevados niveles de carga axial la longitud de la rótula plástica disminuye considerablemente lo que dispara el valor de la curvatura última. A esto se suma que al desplazar el edificio se obtienen bajos desplazamientos de techo producto del acoplamiento que presenta el edificio y que la fórmula depende de “z” (cambio de signo del momento flector) se está sobre-estimando las demandas, siendo más representativo lo obtenido bajo el otro supuesto ( $l_p=0,5l_w$ ).

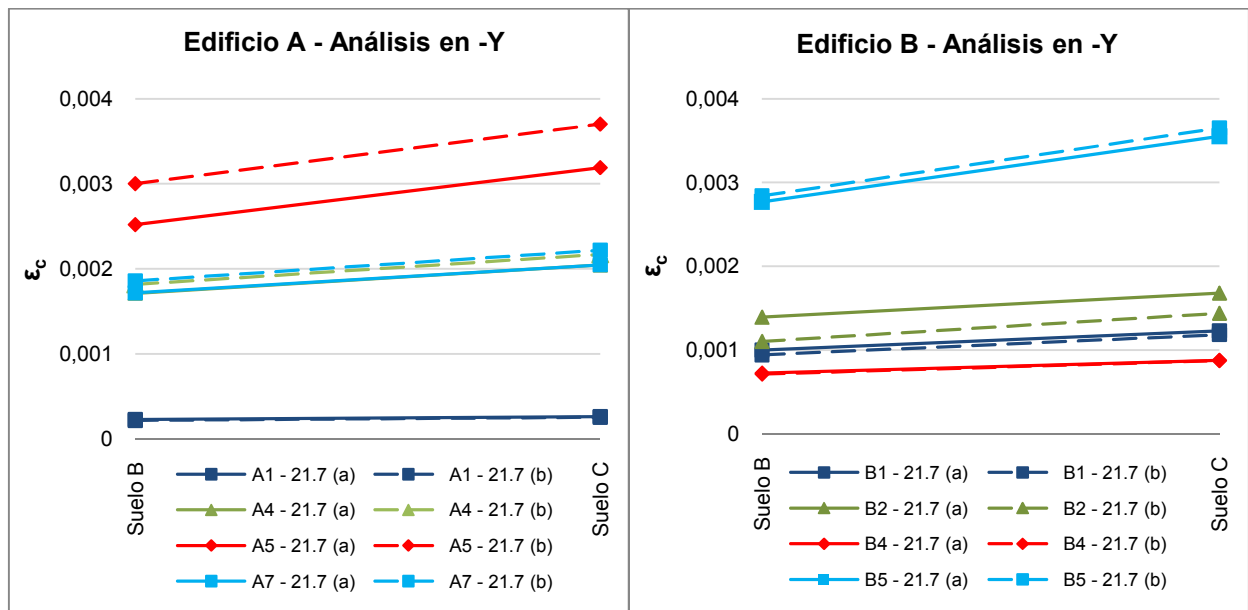
Ahora si se comparan los niveles de deformación para ambos tipos de suelos se pueden determinar notables diferencias. Si bien los tres edificios fueron clasificados como suelo tipo II en sus respectivas mecánicas de suelos conforme a la NCh433Of.1996 (INN 1996), al relacionarlos con la clasificación impuesta en el DS61 (MINVU 2011), podrían ser clasificados como suelo tipo B. Sin embargo, utilizando los antecedentes de los edificios cercanos a los edificios contemplados en el estudio se podría considerar lo siguiente:

- En relación al Edificio A, este sería el único edificio dañado del sector considerando un total de 4 edificios vecinos sin daños, dentro de ellos se incluye el Edificio C. Así, mirando los niveles de deformación junto con el reporte de daños, se podría mencionar que las deformaciones más representativas serían atribuibles a suelo tipo B.
- En relación al Edificio B, este edificio junto a otros tres edificios del sector presentaron daños posteriores al sismo. Si observamos el nivel de daños al que se vio afectado el edificio B y relacionándolas con las deformaciones unitarias obtenidas, se podría pensar que el suelo más representativo del edificio sería el suelo tipo C.

Lo mencionado anteriormente permitiría notar diferencias importantes en términos de deformaciones unitarias entre los edificios. Al considerar que el Edificio A estaría emplazado en un suelo B, de acuerdo al DS61, sólo el muro A1 (Figura 4.26) tendría deformaciones unitarias mayores que el 0,003 y potenciales daños, lo que efectivamente ocurrió. En el caso del Edificio B, para ambos tipos de suelo se tienen deformaciones unitarias superiores al 0,003, pero al estar emplazado en suelo C éstas

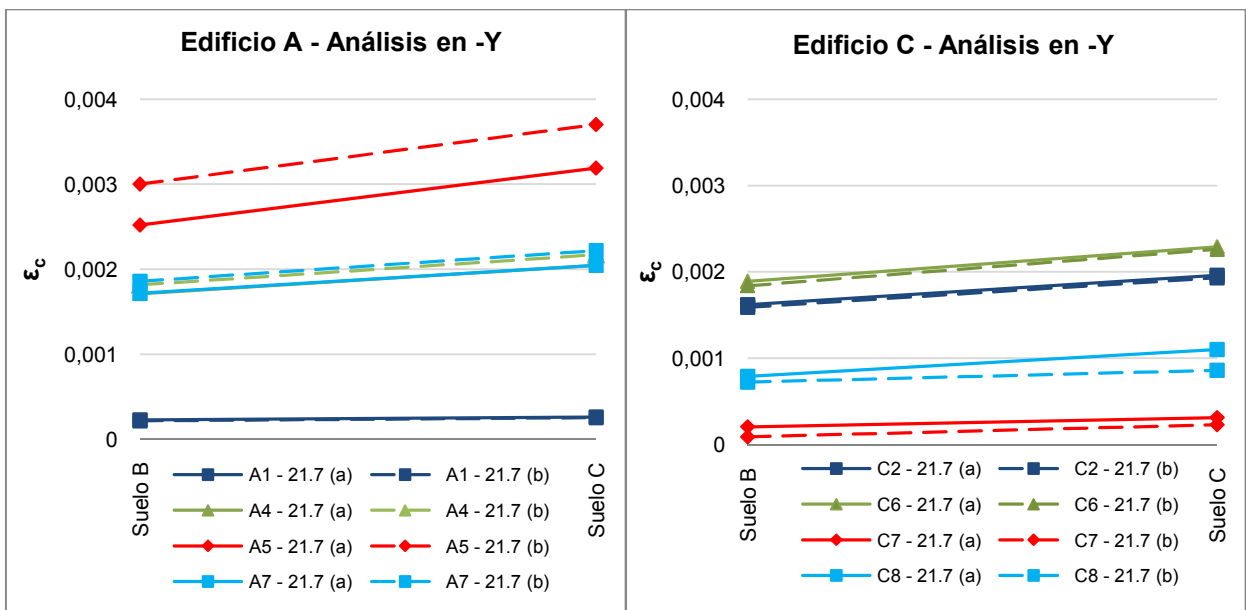
aumentan considerablemente lo que implicaría mayor daño, lo que considerando la cantidad de muros y los daños sufridos sería aceptable. Para el Edificio C, producto que no sufrió daños, considerar que el edificio se encuentra sobre un suelo tipo B es razonable puesto que los valores obtenidos para las deformaciones unitarias son cercanos al 0,003 y en algunos casos inferiores, en cambio para suelo tipo C este valor sería superado lo que sería un indicio de potenciales daños, lo que no ocurrió.

En la Figura 4.30 se muestra una comparación de las deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$  obtenidas para los edificios dañados (A y B) mientras que la Figura 4.31 muestra lo obtenido para el edificio C, en la dirección -Y, bajo el supuesto que la longitud de la rótula plástica es 0,5 veces la longitud del muro en la dirección de análisis.



**Figura 4.30** Comparación deformaciones unitarias del hormigón, dirección -Y, Edificios A y B.

Al observar la Figura 4.30 se puede apreciar que el muro A5 y muro B5 superan el 0,003 para el suelo tipo C. Es posible considerar los comentarios anteriores acerca de los tipo de suelos donde estarían emplazados estos edificios, sin embargo, se hace más importante considerar los factores de utilización de estos muros cuando el edificio es desplazado en la dirección -Y. Para el muro A5 se tiene un  $FU=0,457$  mientras que para el muro B5 se tiene un  $FU=0,428$ , y si se considera que estos muros aún no alcanzan su capacidad máxima, es decir, pueden seguir desplazándose elásticamente, las deformaciones unitarias del hormigón ( $\epsilon_c$ ) se reducirían considerablemente a valores menores que 0,003, por lo que no presentarían daños, que efectivamente es lo que ocurrió cuando los edificios fueron solicitados en esta dirección.

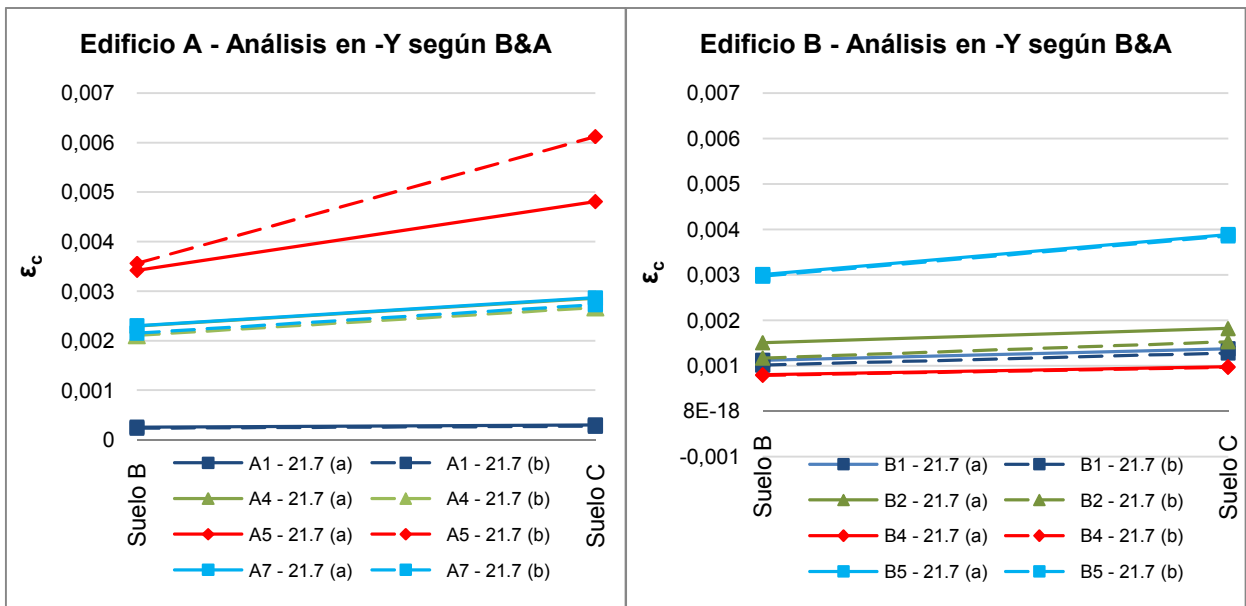


**Figura 4.31** Comparación deformaciones unitarias del hormigón, dirección -Y, Edificios A y C.

Al comparar los edificios dañados con el que no presentó daños (Figura 4.31), se observan niveles semejantes de deformación unitaria, y para este último caso, se obtienen deformaciones menores que 0,003, lo que reflejaría que los muros del edificio C no sufrirían daños por compresión en esta dirección de análisis, lo que efectivamente fue así.

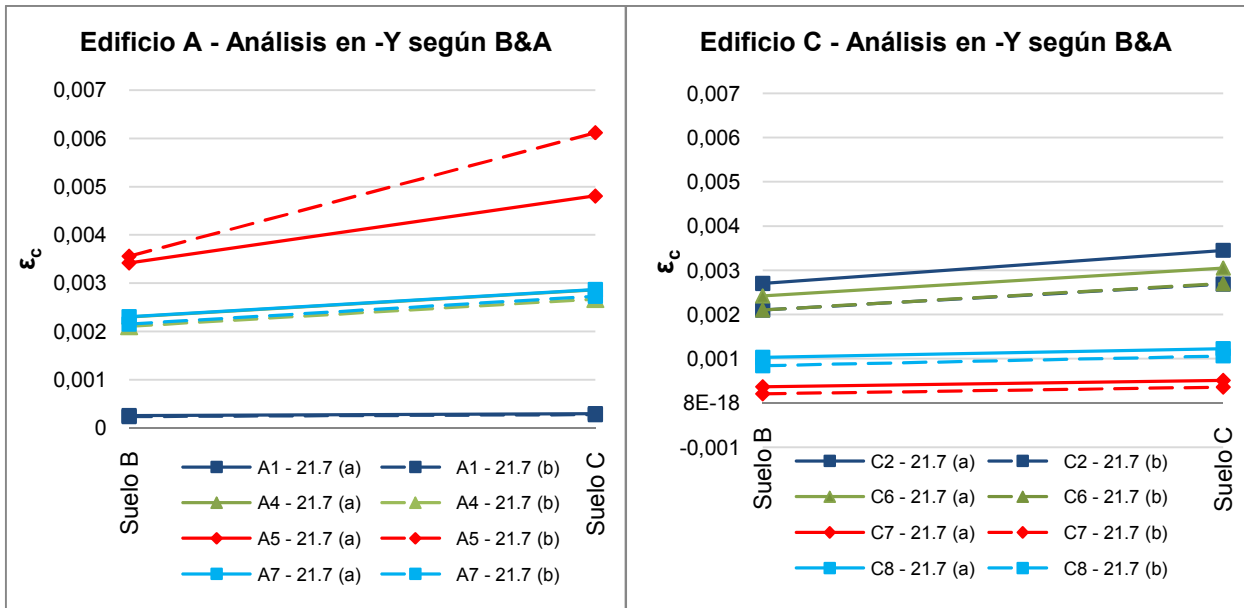
Comparando las principales direcciones de análisis, en la dirección Y se obtienen mayores demandas de deformaciones, lo que es razonable puesto que los muros sufrieron daños cuando se solicitaba mayormente en esta dirección.

En la Figura 4.32 se muestra una comparación de las deformaciones unitarias del hormigón  $\epsilon_c$  obtenidas para los edificios dañados (A y B) mientras que la Figura 4.33 muestra lo obtenido para el edificio C, en la dirección -Y, bajo el supuesto que la longitud de la rótula plástica depende del corte y la carga axial (Bohl y Adebar 2011).



**Figura 4.32** Comparación deformaciones unitarias del hormigón según B&A, dirección -Y, Edificios A y B.

Se observa en la Figura 4.32 que los muros para ambos casos presentan bajos niveles de deformación en la dirección -Y, y en particular los muros A5 (suelo tipo B y C) y B5 (suelo tipo C) superan el 0,003, sin embargo, sólo el muro B5 presentó daños menores en ésta dirección de análisis.



**Figura 4.33** Comparación deformaciones unitarias del hormigón según B&A, dirección -Y, Edificios A y C.

Al comparar el edificio A con el edificio C, la Figura 4.33 muestra que el edificio C presenta menores niveles de deformación superando el 0,003 sólo en los muros C2 y C6 para suelo tipo C. Si se considera el análisis del tipo de suelo en que se encontrarían ubicados ambos edificios es razonable pensar que éstos se ubican en suelo tipo B.

En general, se debe considerar que las estimaciones podrían estar sobre-estimadas producto del acoplamiento presente en los edificios y en particular que para la dirección -Y se obtienen menores valores del desplazamiento de techo en comparación con la dirección Y, así para una misma demanda de techo estimada de acuerdo al DS61 (MINVU 2011) se obtienen mayores curvaturas últimas, lo que implica mayores deformaciones unitarias.



## 5. CONCLUSIONES

Mediante modelos lineales y elásticos se han determinado los niveles de deformación unitaria de los principales muros de los 3 edificios que fueron parte de este estudio. Estos se encuentran ubicados en las comunas de Ñuñoa y Macul, región Metropolitana. Dichos niveles de deformación permiten correlacionarlos con los daños estructurales ocasionados producto del sismo del 27 de febrero de 2010, los que corresponden principalmente a daños por flexo-compresión en los muros.

Los daños estructurales se presentaron en el primer piso del Edificio A, ubicado en Ñuñoa, y en el primer subterráneo del Edificio B, ubicado en Macul. El Edificio A presentó daños en un muro en forma de T. El Edificio B presentó daños en tres muros, en donde dos de ellos corresponden a muros T y el restante a muro en forma de L. Los daños se presentaron en el alma de los muros.

Con respecto al Edificio A, se estima que el desplazamiento elástico del primer muro que alcanza su capacidad máxima en la dirección de la falla del muro es 12,2 cm mientras que el desplazamiento último, según el DS61 (MINVU 2011), es 14 cm para suelo tipo B y 18,5 cm para suelo tipo C. Bajo estos niveles de desplazamiento, se obtuvo que el muro dañado superaba la deformación unitaria admisible para un hormigón no confinado. Esto indica que el muro requería detallamiento especial de armadura.

Con respecto al Edificio B, se estima que el desplazamiento elástico del primer muro que alcanza su capacidad máxima en la dirección de la falla del muro es 10,2 cm mientras que el desplazamiento último, estimado según el DS61 (MINVU 2011), es 14,5 cm para suelo tipo B y 19,1 cm para suelo tipo C. Bajo estos niveles de desplazamiento, se obtuvo que los muros dañados superaban la deformación unitaria admisible para un hormigón no confinado. Esto indica que los muros requerían detallamiento especial de armadura.

Con respecto al Edificio C, se estima que el desplazamiento elástico, obtenido cuando alguno de sus muros alcanza su capacidad máxima, en la dirección de la falla del muro es 4,7 cm mientras que el desplazamiento último, estimado según el DS61 (MINVU 2011), es 10 cm para suelo tipo B y 13,2 cm para suelo tipo C. Bajo estos niveles de desplazamiento, se obtuvo que ciertos muros obtuvieron valores semejantes a la deformación unitaria admisible para un hormigón no confinado, pero considerando el análisis del tipo de suelo, se explicaría la ausencia de daños que presentó el edificio producto del sismo del 27F. Cabe señalar que al utilizar el método más refinado para estimar la longitud de la rótula plástica de los muros, los valores de las deformaciones se alejaban de los valores esperados puesto que no presentó daños. Esto se atribuye al acoplamiento que tenía el modelo lo que arroja valores bajos de desplazamientos de techo y sumado a que la fórmula de Bohl y Adebar (2011) es sensible frente a altos niveles de carga axial.

Es importante recalcar que el estudio realizado se hizo en base a modelos lineales y elásticos obtenidos directamente de las oficinas de cálculo, que corresponden a la misma modelación realizada para diseñar las estructuras. Sin embargo, al ser modelos lineales y elásticos corresponden a una aproximación del comportamiento real de la estructura. Es por ello que se modificaron los modelos de manera de incorporar variaciones en las propiedades del hormigón, por ejemplo la variación de la rigidez de los elementos. En general se obtuvo que los análisis fueron más representativos en la dirección Y y cuando se considera el supuesto simplificado de la rótula plástica, ya que fue posible relacionar las deformaciones unitarias con los daños ocurridos producto del sismo del 27F.

## 6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. ACI, 2008. "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary (ACI 318S-08)", American Concrete Institute, USA.
2. Bohl, A., Adebar, P., 2011. "Plastic Hinge Lengths in High-Rise Concrete Shear Walls", ACI Structural Journal, V.108, No. 2, pp. 148-157.
3. CIPER, 2010. "Estas son las constructoras e inmobiliarias de los edificios más dañados en Santiago", [www.ciperchile.cl](http://www.ciperchile.cl) <http://ciperchile.cl/2010/03/15/>, Centro de Investigación Periodística, Santiago, Chile.
4. CSI, 2000. "Three Dimensional Analysis and Design of Building Systems, Section Designer Manual", Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.
5. CSI, 2005. "Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS and SAFE", Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.
6. CSI, 2010. "Shear Wall Design Manual for ETABS, ACI318-08/IBC 2009", Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.
7. INN, 1996, NCh433.Of1996. "Diseño Sísmico de Edificios", Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile.
8. INN, 2009, NCh433.Of1996 Mod.2009. "Diseño Sísmico de Edificios", Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile.
9. MINVU, 2011. Diario Oficial No. 40133, Decreto Supremo N°60. "Requisitos de Diseño y Cálculo para el Hormigón Armado", Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Santiago, Chile.
10. MINVU, 2011. Diario Oficial No.40133, Decreto Supremo N°61. "Diseño Sísmico de Edificios", Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Santiago, Chile.
11. Paulay, T., 2002. "The Displacement Capacity of Reinforced Concrete Coupled Walls," Engineering Structures, V.24, 2002, pp. 1165-1175.
12. Priestley, M. J. N., Kowalsky, M. J., 1998, "Aspects of Drift and Ductility Capacity of Rectangular Cantilever Structural Walls", Structural Systems Research Group, University of California, San Diego, USA.
13. Priestley et al, 2007. "Displacement Based Seismic Design of Structures", Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia, Italia.
14. SSN, 2010. "Informe técnico terremoto Cauquenes 27 Febrero 2010", Servicio Sismológico Nacional, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
15. Taboada, J., De Izcue, A., 2009. "Análisis y Diseño de Edificios Asistido por Computadoras". Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

16. Thomsen, J. H., IV, Wallace, J. W., 2004. "Displacement-Based Design of Slender Reinforced Concrete Structural Walls - Experimental Verification," Journal of Structural Engineering, ASCE, pp. 618-630.
17. Wallace, J. W., Orakcal, K., 2002. "ACI 318-99 Provisions for Seismic Design of Structural Walls," ACI Structural Journal, V.99, No. 4, pp. 499-508.



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

## **ANEXO A: RESULTADOS**

## I. EDIFICIO A – ESTADO ÚLTIMO DE CARGAS

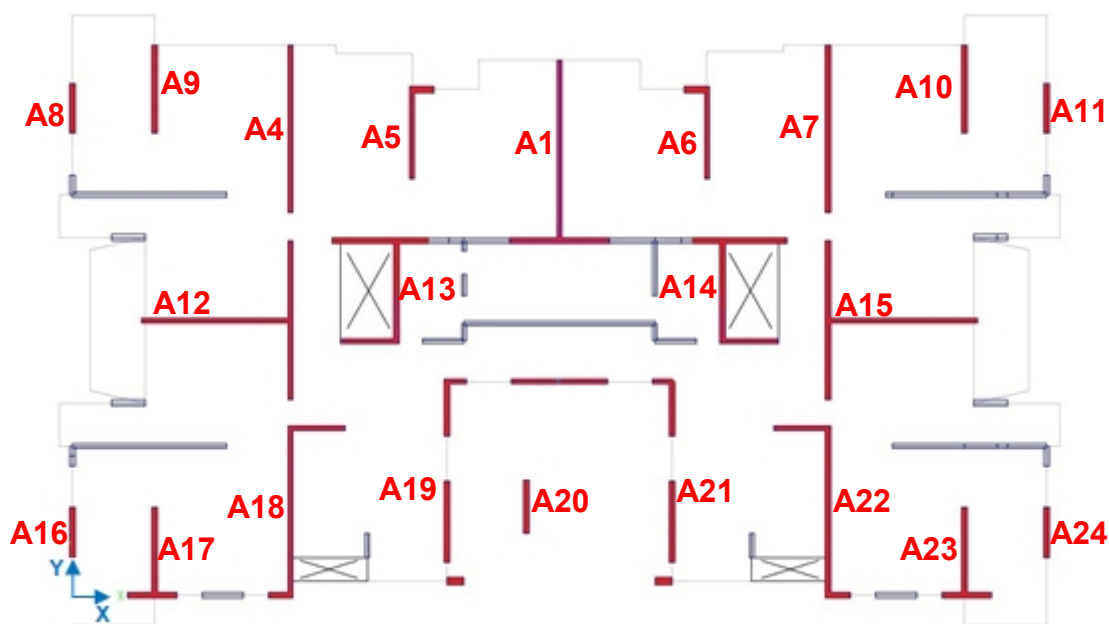


Figura 1 Muros definidos en la dirección Y. Edificio A.

Tabla 1 Resultados análisis en la dirección Y. Edificio A.

| PIER | Ag [m2] | FU    | Combo | Pu [tonf] | Mu2 [tonf m] | Mu3 [tonf m] | δe [cm] | Pu/fcAg [%] |
|------|---------|-------|-------|-----------|--------------|--------------|---------|-------------|
| A1   | 2,233   | 1     | 2     | 2147,92   | 2,80         | 2726,30      | 12,16   | 38,48       |
| A4   | 1,344   | 0,921 | 2     | 1402,56   | -2,56        | 1307,16      | 12,474  | 41,74       |
| A5   | 0,9285  | 0,929 | 2     | 943,958   | -19,43       | 567,81       | 12,331  | 40,67       |
| A6   | 0,9285  | 0,906 | 2     | 929,158   | 52,89        | 245,03       | 11,980  | 40,03       |
| A7   | 1,344   | 0,891 | 2     | 1356,512  | 2,88         | 1260,41      | 11,837  | 40,37       |
| A8   | 0,4     | 0,93  | 2     | 556,52    | -3,429       | 106,049      | 12,7335 | 55,65       |
| A9   | 0,704   | 0,92  | 2     | 769,502   | -4,534       | 276,909      | 12,6359 | 43,72       |
| A10  | 0,704   | 0,914 | 2     | 756,091   | -8,88        | 196,10       | 11,675  | 42,96       |
| A11  | 0,4     | 0,865 | 2     | 432,147   | -0,09        | 34,18        | 11,578  | 43,21       |
| A12  | 2,458   | 0,636 | 2     | 1369,028  | 293,58       | 1081,94      | 12,474  | 22,28       |
| A13  | 1,983   | 0,445 | 2     | 839,814   | -31,28       | 1013,48      | 12,3489 | 16,94       |
| A14  | 2,084   | 0,444 | 2     | 861,642   | 1055,06      | -75,14       | 11,962  | 16,54       |
| A15  | 2,458   | 0,639 | 2     | 1321,233  | -312,81      | 1052,46      | 11,837  | 21,50       |
| A16  | 0,4     | 0,573 | 4     | -88,317   | -0,62        | -23,15       | 12,433  | 8,83        |
| A17  | 1,179   | 0,667 | 4     | -53,926   | 26,77        | 247,48       | 12,338  | 1,83        |
| A18  | 1,9905  | 0,787 | 4     | 25,975    | -358,81      | 1881,51      | 12,181  | 0,52        |
| A19  | 2,0952  | 0,952 | 4     | 439,172   | -517,11      | 3690,72      | 12,002  | 8,38        |
| A20  | 0,525   | 0,38  | 2     | 247,774   | 1,12         | 50,48        | 12,195  | 18,88       |
| A21  | 2,1193  | 0,85  | 4     | 412,124   | 495,33       | 3737,25      | 11,741  | 7,78        |
| A22  | 1,9905  | 0,723 | 4     | 331,659   | 323,68       | 2494,05      | 11,562  | 6,66        |
| A23  | 1,179   | 0,611 | 4     | -91,205   | -12,661      | 237,277      | 11,4045 | 3,09        |
| A24  | 0,4     | 0,811 | 4     | -64,297   | 0,15         | 20,861       | 11,3096 | 6,43        |

Pu > 0, compresión

**Tabla 2** Resultados análisis en la dirección -Y. Edificio A.

| PIER | Ag [m2] | FU    | Combo | Pu [tonf] | Mu2 [tonf m] | Mu3 [tonf m] | δe [cm] | Pu/fcAg [%] |
|------|---------|-------|-------|-----------|--------------|--------------|---------|-------------|
| A1   | 2,233   | 1     | 3     | -11,64    | -11,18       | -1337,06     | 7,07    | 0,21        |
| A4   | 1,344   | 0,398 | 1     | 536,838   | -1,82        | -624,83      | 6,966   | 15,98       |
| A5   | 0,9285  | 0,457 | 1     | 508,768   | 20,00        | -97,76       | 6,886   | 21,92       |
| A6   | 0,9285  | 0,468 | 1     | 519,683   | -21,56       | -111,72      | 6,689   | 22,39       |
| A7   | 1,344   | 0,385 | 1     | 540,814   | 0,51         | -586,08      | 6,609   | 16,10       |
| A8   | 0,4     | 0,387 | 1     | 134,286   | -3,465       | -52,39       | 7,1119  | 13,43       |
| A9   | 0,704   | 0,442 | 1     | 335,725   | 2,783        | -135,013     | 7,0571  | 19,08       |
| A10  | 0,704   | 0,458 | 1     | 343,889   | -5,08        | -101,73      | 6,518   | 19,54       |
| A11  | 0,4     | 0,249 | 1     | 124,342   | 0,12         | -5,64        | 6,463   | 12,43       |
| A12  | 2,458   | 0,45  | 1     | 1313,425  | 169,56       | -524,10      | 6,966   | 21,37       |
| A13  | 1,983   | 0,412 | 1     | 884,335   | 14,03        | -556,61      | 6,896   | 17,84       |
| A14  | 2,084   | 0,434 | 1     | 977,502   | -559,19      | 85,14        | 6,679   | 18,76       |
| A15  | 2,458   | 0,45  | 1     | 1314,143  | -420,98      | -489,52      | 6,609   | 21,39       |
| A16  | 0,4     | 0,787 | 1     | 425,07    | -0,64        | -81,50       | 7,112   | 42,51       |
| A17  | 1,179   | 0,472 | 1     | 670,033   | -77,93       | -6,60        | 7,057   | 22,73       |
| A18  | 1,9905  | 0,565 | 1     | 1155,012  | 160,48       | -1557,54     | 6,966   | 23,21       |
| A19  | 2,0952  | 0,719 | 1     | 1774,736  | 497,42       | -1649,16     | 6,863   | 33,88       |
| A20  | 0,525   | 0,75  | 1     | 482,703   | 0,81         | -41,90       | 6,810   | 36,78       |
| A21  | 2,1193  | 0,68  | 1     | 1734,609  | -532,92      | -1171,47     | 6,712   | 32,74       |
| A22  | 1,9905  | 0,487 | 1     | 1147,137  | -188,81      | -1346,99     | 6,609   | 23,05       |
| A23  | 1,179   | 0,468 | 1     | 680,547   | 48,145       | -97,311      | 6,5178  | 23,09       |
| A24  | 0,4     | 0,658 | 1     | 329,554   | -0,088       | -19,25       | 6,4631  | 32,96       |

Pu &gt; 0, compresión

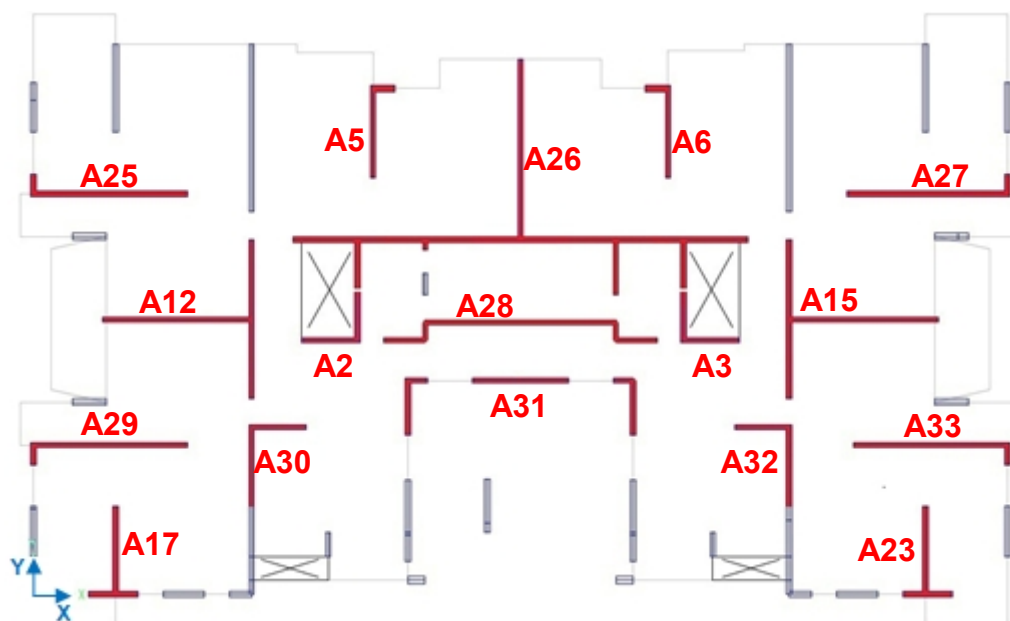


Figura 2 Muros definidos en la dirección X. Edificio A.

Tabla 3 Resultados análisis en la dirección X. Edificio A.

| PIER | Ag [m <sup>2</sup> ] | FU    | Combo | Pu [tonf] | Mu2 [tonf m] | Mu3 [tonf m] | δe [cm] | Pu/fcAg [%] |
|------|----------------------|-------|-------|-----------|--------------|--------------|---------|-------------|
| A2   | 0,8525               | 1     | 4B    | -142,718  | 49,72        | 101,80       | 5,767   | 6,70        |
| A3   | 0,8525               | 0,761 | 2B    | 762,554   | -37,72       | 94,87        | 5,775   | 35,78       |
| A5   | 0,9285               | 0,501 | 2B    | 545,103   | -21,146      | 182,179      | 6,6906  | 23,48       |
| A6   | 0,9285               | 0,654 | 2B    | 741,097   | -29,48       | 113,50       | 6,691   | 31,93       |
| A12  | 2,458                | 0,656 | 4B    | 460,547   | -1104,11     | 214,35       | 5,850   | 7,49        |
| A15  | 2,458                | 0,854 | 2B    | 1736,515  | -1785,86     | -22,57       | 5,850   | 28,26       |
| A17  | 1,179                | 0,305 | 4B    | -9,363    | 33,33        | 74,57        | 4,847   | -0,32       |
| A23  | 1,179                | 0,492 | 2B    | 716,645   | 3,06         | 19,14        | 4,849   | 24,31       |
| A25  | 1,401                | 0,481 | 4B    | 345,146   | -7,328       | 743,255      | 6,2963  | 9,85        |
| A26  | 6,7542               | 0,539 | 2B    | 3262,94   | 253,53       | 9332,79      | 6,140   | 19,32       |
| A27  | 1,45                 | 0,62  | 2B    | 1000,55   | 11,30        | 860,03       | 6,31    | 27,60       |
| A28  | 2,4784               | 0,498 | 2B    | 1170,608  | 28,13        | 2464,13      | 5,838   | 18,89       |
| A29  | 1,401                | 0,446 | 4B    | 348,386   | 41,41        | 584,09       | 5,3869  | 9,95        |
| A30  | 1,074                | 0,567 | 2B    | 552,797   | -155,14      | 220,40       | 5,456   | 20,59       |
| A31  | 2,1695               | 0,767 | 2B    | 1736,14   | -246,70      | 2649,54      | 5,627   | 32,01       |
| A32  | 0,964                | 0,42  | 2B    | 491,822   | -107,04      | -8,16        | 5,456   | 20,41       |
| A33  | 1,401                | 0,534 | 2B    | 909,661   | -13,20       | 580,79       | 5,392   | 25,97       |

Pu > 0, compresión

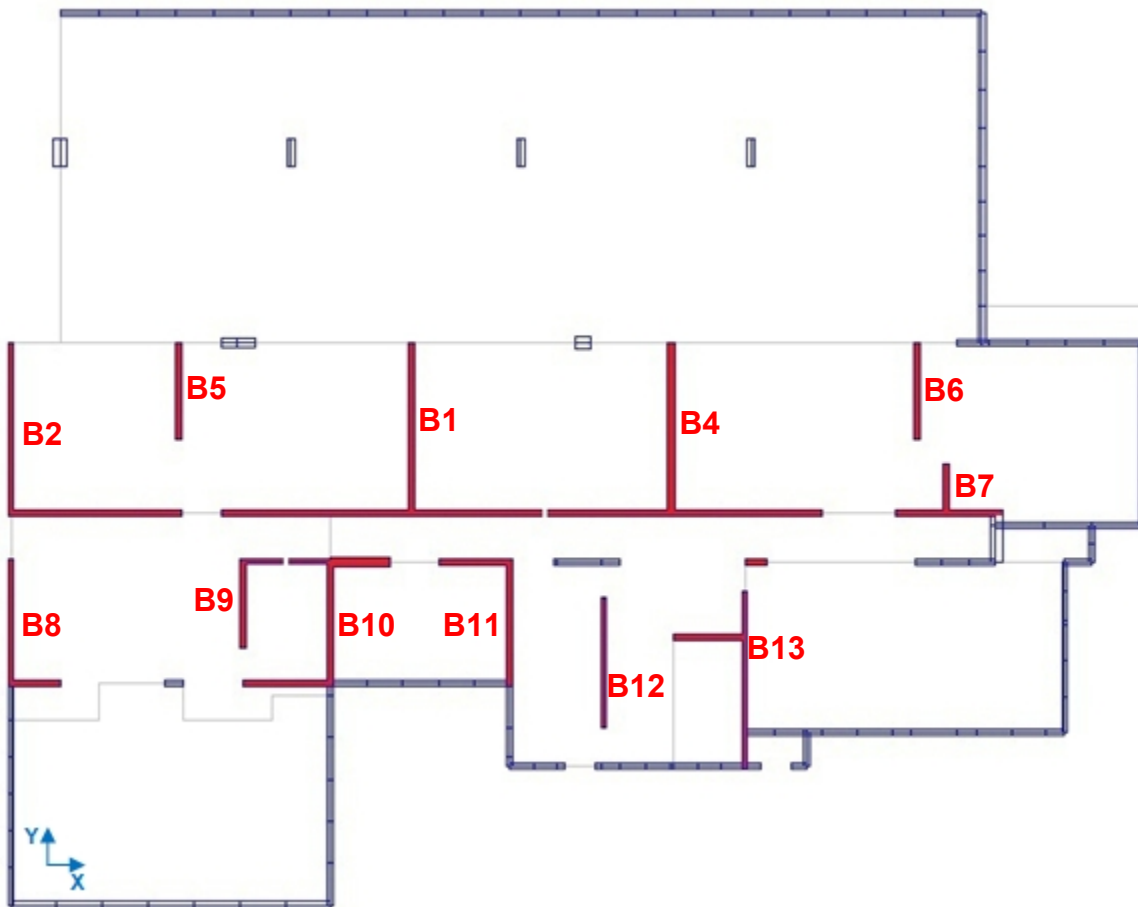
**Tabla 4** Resultados análisis en la dirección -X. Edificio A.

| PIER | Ag [m2] | FU    | Combo | Pu [tonf] | Mu2 [tonf m] | Mu3 [tonf m] | δe [cm] | Pu/fcAg [%] |
|------|---------|-------|-------|-----------|--------------|--------------|---------|-------------|
| A2   | 0,8525  | 0,78  | 1B    | 782,861   | -40,45       | -89,66       | 5,851   | 36,73       |
| A3   | 0,8525  | 1     | 3B    | -132,112  | 64,13        | -105,43      | 5,859   | 6,20        |
| A5   | 0,9285  | 0,666 | 1B    | 724,267   | -23,38       | -0,691       | 6,7633  | 31,20       |
| A6   | 0,9285  | 0,485 | 1B    | 537,305   | 19,28        | 160,52       | 6,763   | 23,15       |
| A12  | 2,458   | 0,806 | 1B    | 1737,052  | 1496,54      | -52,81       | 5,926   | 28,27       |
| A15  | 2,458   | 0,897 | 3B    | 415,013   | 1198,06      | 200,47       | 5,934   | 6,75        |
| A17  | 1,179   | 0,519 | 1B    | 772,981   | 55,996       | -5,05        | 4,929   | 26,22       |
| A23  | 1,179   | 0,312 | 3B    | 2,135     | 44,52        | 43,43        | 4,931   | 0,07        |
| A25  | 1,401   | 0,674 | 1B    | 976,001   | 30,399       | -1084,211    | 6,3816  | 27,87       |
| A26  | 6,7542  | 0,558 | 1B    | 3045,811  | 496,50       | -9710,21     | 6,215   | 18,04       |
| A27  | 1,45    | 0,483 | 1B    | 684,98    | -20,70       | -820,62      | 6,38    | 18,90       |
| A28  | 2,4784  | 0,493 | 1B    | 1166,26   | 26,97        | -2415,06     | 5,914   | 18,82       |
| A29  | 1,401   | 0,739 | 1B    | 895,703   | -44,38       | -890,58      | 5,4701  | 25,57       |
| A30  | 1,074   | 0,354 | 1B    | 462,753   | 45,23        | 6,88         | 5,533   | 17,23       |
| A31  | 2,1695  | 0,703 | 1B    | 1734,043  | -230,77      | -2640,72     | 5,704   | 31,97       |
| A32  | 0,964   | 0,516 | 1B    | 538,443   | 99,59        | 147,18       | 5,533   | 22,34       |
| A33  | 1,401   | 0,481 | 1B    | 646,385   | 22,60        | -812,79      | 5,470   | 18,45       |

Pu > 0, compresión



## II. EDIFICIO B – ESTADO ÚLTIMO DE CARGAS



**Figura 3** Muros definidos en la dirección Y. Edificio B.

**Tabla 5** Resultados análisis en la dirección Y. Edificio B.

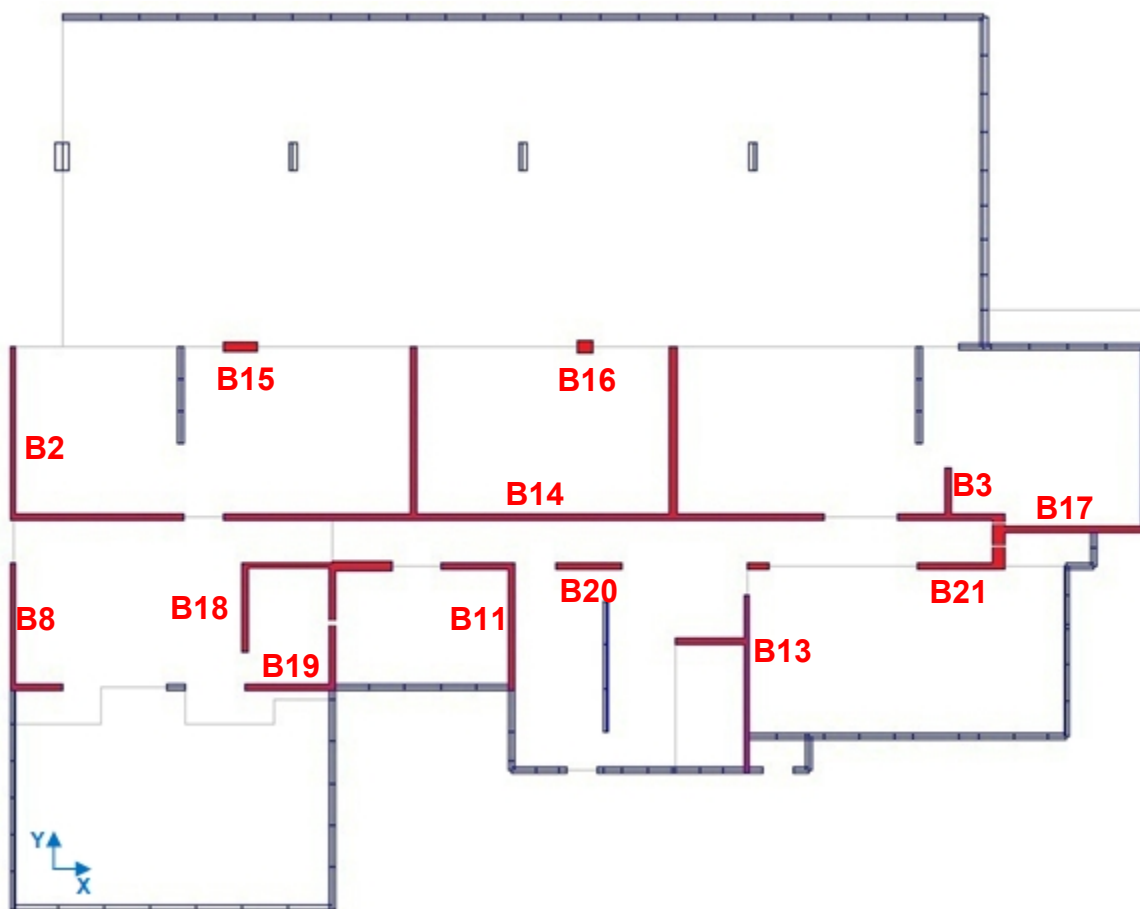
| PIER | Ag [m2] | FU    | Combo | Pu [tonf] | Mu2 [tonf m] | Mu3 [tonf m] | δe [cm] | Pu/fcAg [%] |
|------|---------|-------|-------|-----------|--------------|--------------|---------|-------------|
| B1   | 3,2337  | 1     | 2     | 2125,336  | 2733,15      | 57,97        | 10,167  | 26,29       |
| B2   | 2,224   | 0,955 | 2     | 1836,06   | 2112,60      | -989,35      | 12,84   | 33,02       |
| B4   | 3,1238  | 0,836 | 2     | 2028,404  | 2197,85      | -22,28       | 9,160   | 25,97       |
| B5   | 0,634   | 0,886 | 2     | 576,412   | 2,11         | 348,61       | 11,905  | 36,37       |
| B6   | 0,634   | 0,523 | 2     | 416,03    | 4,56         | 196,13       | 7,792   | 26,25       |
| B7   | 0,749   | 0,41  | 2     | 377,792   | 37,25        | -40,57       | 7,631   | 20,18       |
| B8   | 1,13    | 0,607 | 4     | -197,476  | 39,39        | 229,48       | 12,549  | 6,99        |
| B9   | 0,771   | 0,501 | 4     | 93,64     | -41,44       | 195,75       | 10,658  | 4,86        |
| B10  | 2,1355  | 0,38  | 2     | 749,781   | -283,49      | 887,32       | 11,057  | 14,04       |
| B11  | 1,54    | 0,398 | 2     | 436,213   | -81,75       | 571,64       | 10,061  | 11,33       |
| B12  | 0,636   | 0,662 | 4     | 9,523     | -0,27        | 242,58       | 9,534   | 0,60        |
| B13  | 1,72    | 0,296 | 4     | 180,05    | 47,10        | 689,89       | 8,214   | 4,19        |

Pu > 0, compresión

**Tabla 6** Resultados análisis en la dirección -Y. Edificio B.

| PIER | Ag [m2] | FU    | Combo | Pu [tonf] | Mu2 [tonf m] | Mu3 [tonf m] | δe [cm] | Pu/fcAg [%] |
|------|---------|-------|-------|-----------|--------------|--------------|---------|-------------|
| B1   | 3,2337  | 1     | 3     | 437,84    | -966,54      | -168,21      | 5,817   | 5,42        |
| B2   | 2,224   | 0,938 | 3     | 180,08    | -1240,95     | 626,81       | 8,02    | 3,24        |
| B4   | 3,1238  | 0,929 | 3     | 392,136   | -820,19      | 81,81        | 4,396   | 5,02        |
| B5   | 0,634   | 0,428 | 1     | 348,628   | -0,63        | -91,36       | 7,154   | 22,00       |
| B6   | 0,634   | 0,366 | 1     | 316,571   | -3,90        | -52,16       | 3,050   | 19,97       |
| B7   | 0,749   | 0,262 | 1     | 237,237   | -9,591       | -47,925      | 2,892   | 12,67       |
| B8   | 1,13    | 0,65  | 1     | 942,111   | 87,67        | 53,68        | 8,016   | 33,35       |
| B9   | 0,771   | 0,192 | 1     | 107,641   | 11,66        | -93,65       | 6,262   | 5,58        |
| B10  | 2,1355  | 0,438 | 1     | 917,822   | 391,85       | -941,44      | 6,262   | 17,19       |
| B11  | 1,54    | 0,330 | 1     | 547,991   | -145,49      | -380,85      | 5,282   | 14,23       |
| B12  | 0,636   | 0,405 | 1     | 323,127   | 0,14         | -64,64       | 4,764   | 20,32       |
| B13  | 1,72    | 0,309 | 1     | 680,071   | -5,82        | -367,05      | 3,995   | 15,82       |

Pu > 0, compresión



**Figura 4** Muros definidos en la dirección X. Edificio B.

**Tabla 7** Resultados análisis en la dirección -X. Edificio B.

| PIER | Ag [m2] | FU    | Combo | Pu [tonf] | Mu2 [tonf m] | Mu3 [tonf m] | δe [cm] | Pu/fcAg [%] |
|------|---------|-------|-------|-----------|--------------|--------------|---------|-------------|
| B2   | 2,224   | 1     | 3B    | -468,24   | -331,26      | 528,63       | 4,98    | 8,42        |
| B3   | 1,089   | 0,78  | 1B    | 925,2     | 103,46       | -496,56      | 4,799   | 33,98       |
| B8   | 1,13    | 0,811 | 3B    | -252,907  | -30,72       | -82,36       | 5,081   | 8,95        |
| B11  | 1,54    | 0,183 | 1B    | 325,397   | -59,98       | 52,81        | 4,867   | 8,45        |
| B13  | 1,72    | 0,23  | 1B    | 480,133   | -89,11       | 107,97       | 5,193   | 11,17       |
| B14  | 6,3575  | 0,415 | 1B    | 2576,728  | 1095,21      | -217,81      | 4,799   | 16,21       |
| B15  | 0,321   | 0,441 | 1B    | 211,669   | 5,51         | 14,95        | 4,767   | 26,38       |
| B16  | 0,216   | 0,669 | 1B    | 192,386   | -5,05        | 9,80         | 4,517   | 35,63       |
| B17  | 1,178   | 0,50  | 1B    | 733,863   | -1,74        | 31,36        | 4,817   | 24,92       |
| B18  | 1,9563  | 0,358 | 3B    | -29,739   | 71,02        | 346,37       | 5,068   | 0,61        |
| B19  | 0,9427  | 0,252 | 3B    | -12,225   | 12,76        | 66,79        | 5,068   | 0,52        |
| B20  | 0,43    | 0,619 | 1B    | 335,017   | -0,20        | 75,58        | 4,867   | 31,16       |
| B21  | 0,748   | 0,70  | 1B    | 624,926   | -40,17       | 32,12        | 4,867   | 33,42       |

Pu > 0, compresión

**Tabla 8** Resultados análisis en la dirección -X. Edificio B.

| PIER | Ag [m2] | FU    | Combo | Pu [tonf] | Mu2 [tonf m] | Mu3 [tonf m] | δe [cm] | Pu/fcAg [%] |
|------|---------|-------|-------|-----------|--------------|--------------|---------|-------------|
| B2   | 2,224   | 0,835 | 2B    | 2132,108  | 637,841      | -659,247     | 4,936   | 38,35       |
| B3   | 1,089   | 1     | 4B    | -233,55   | -37,55       | 226,71       | 4,94    | 8,58        |
| B8   | 1,13    | 0,646 | 2B    | 882,897   | 35,77        | 306,06       | 4,866   | 31,25       |
| B11  | 1,54    | 0,368 | 2B    | 647,196   | -167,43      | -3,36        | 4,917   | 16,81       |
| B13  | 1,72    | 0,348 | 2B    | 581,543   | 114,54       | 143,69       | 4,894   | 13,52       |
| B14  | 6,3575  | 0,51  | 2B    | 3052,411  | 1515,33      | -200,72      | 4,936   | 19,21       |
| B15  | 0,321   | 0,537 | 2B    | 230,383   | 6,61         | 32,95        | 4,9938  | 28,71       |
| B16  | 0,216   | 0,65  | 2B    | 362,096   | 10,04        | -20,41       | 4,994   | 67,05       |
| B17  | 1,178   | 0,86  | 4B    | -127,152  | -8,60        | -331,46      | 4,756   | 4,32        |
| B18  | 1,9563  | 0,374 | 2B    | 914,667   | 75,95        | 31,65        | 4,907   | 18,70       |
| B19  | 0,9427  | 0,512 | 2B    | 579,098   | -21,20       | -146,69      | 4,907   | 24,57       |
| B20  | 0,43    | 0,269 | 2B    | 149,559   | 0,34         | -31,63       | 4,919   | 13,91       |
| B21  | 0,748   | 0,32  | 4B    | -10,584   | -7,41        | -112,49      | 4,756   | 0,57        |

Pu > 0, compresión

### III. EDIFICIO C – ESTADO ÚLTIMO DE CARGAS

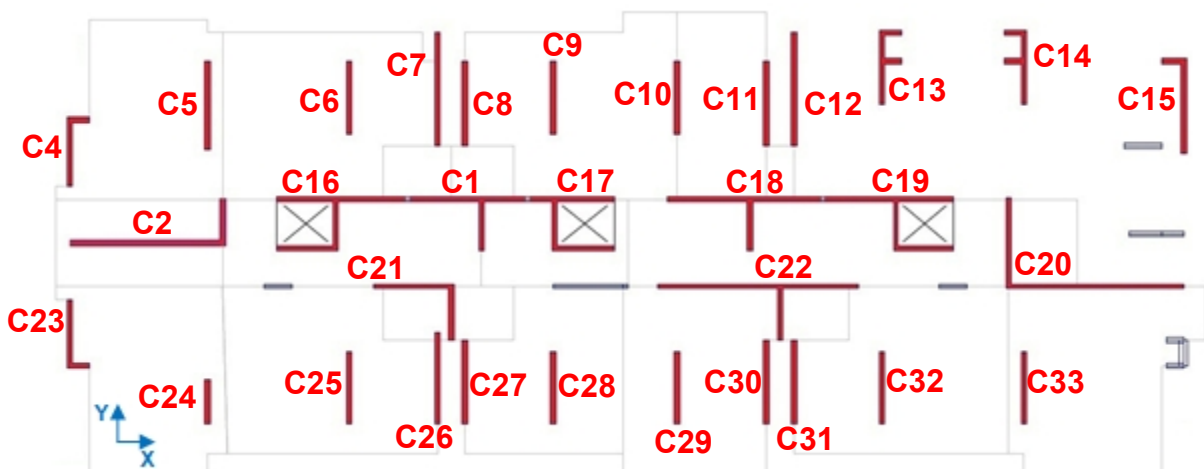


Figura 5 Muros definidos en la dirección Y. Edificio C.

Tabla 9 Resultados análisis en la dirección Y. Edificio C.

| PIER | Ag [m2] | FU    | Combo | Pu [tonf] | Mu2 [tonf m] | Mu3 [tonf m] | δe [cm] | Pu/fcAg [%] |
|------|---------|-------|-------|-----------|--------------|--------------|---------|-------------|
| C1   | 0,963   | 1     | 3     | 121,878   | 71,395       | 0,286        | 4,7061  | 5,06        |
| C2   | 1,44    | 0,39  | 1     | 442,747   | 70,36        | -32,13       | 5,329   | 12,30       |
| C4   | 0,62    | 0,493 | 1     | 209,263   | -10,56       | 218,52       | 5,872   | 5,06        |
| C5   | 0,642   | 0,71  | 1     | 317,224   | 0,43         | 332,83       | 5,3825  | 15,23       |
| C6   | 0,525   | 0,745 | 1     | 370,95    | -0,56        | 208,97       | 4,88    | 28,26       |
| C7   | 0,82    | 0,713 | 1     | 659,089   | -0,91        | 329,22       | 4,566   | 32,15       |
| C8   | 0,61    | 0,764 | 1     | 483,649   | 0,14         | 245,16       | 4,468   | 31,71       |
| C9   | 0,525   | 0,668 | 1     | 347,454   | -0,04        | 180,29       | 4,155   | 26,47       |
| C10  | 0,525   | 0,632 | 1     | 316,609   | -0,65        | 163,48       | 3,7153  | 24,12       |
| C11  | 0,61    | 0,594 | 1     | 413,878   | -0,84        | 189,74       | 3,398   | 27,14       |
| C12  | 0,82    | 0,51  | 1     | 518,211   | -0,41        | 229,56       | 3,300   | 25,28       |
| C13  | 0,7472  | 0,357 | 1     | 297,715   | -17,22       | 63,88        | 2,987   | 15,94       |
| C14  | 0,7482  | 0,428 | 1     | 395,678   | 10,39        | 40,18        | 2,483   | 21,15       |
| C15  | 0,827   | 0,25  | 1     | 249,642   | 6,76         | 57,68        | 1,916   | 12,07       |
| C16  | 1,3904  | 0,24  | 1     | 371,092   | 133,87       | 76,44        | 4,9278  | 10,68       |
| C17  | 1,2072  | 0,257 | 1     | 339,282   | 110,26       | -33,36       | 4,15    | 11,24       |
| C18  | 1,247   | 0,667 | 3     | 193,32    | 61,30        | -1,58        | 3,77    | 6,20        |
| C19  | 1,3748  | 0,257 | 1     | 422,356   | 58,71        | -13,23       | 2,94    | 12,29       |
| C20  | 1,653   | 0,242 | 1     | 462,391   | 57,83        | 53,15        | 2,54    | 11,19       |
| C21  | 0,8332  | 0,397 | 1     | 354,743   | 92,25        | -111,84      | 4,52    | 17,03       |
| C22  | 1,534   | 0,539 | 3     | 296,492   | 79,509       | 36,982       | 3,6589  | 7,73        |
| C23  | 0,6201  | 0,535 | 1     | 173,253   | 27,49        | 218,577      | 5,8715  | 11,18       |
| C24  | 0,324   | 0,44  | 1     | 174,787   | 0,353        | 43,982       | 5,3825  | 21,58       |
| C25  | 0,525   | 0,44  | 1     | 211,922   | -2,306       | 110,659      | 4,879   | 16,15       |
| C26  | 0,664   | 0,223 | 1     | -6,688    | -1,256       | 127,872      | 4,566   | 0,40        |
| C27  | 0,61    | 0,317 | 3     | -81,932   | 1,318        | 115,934      | 4,764   | 5,37        |
| C28  | 0,525   | 0,336 | 1     | 177,418   | 1,618        | 81,141       | 4,1553  | 13,52       |
| C29  | 0,525   | 0,294 | 1     | 154,979   | -1,215       | 68,168       | 3,7153  | 11,81       |

|     |       |       |   |         |        |        |        |       |
|-----|-------|-------|---|---------|--------|--------|--------|-------|
| C30 | 0,61  | 0,231 | 3 | -56,548 | -0,823 | 85,522 | 3,7072 | 3,71  |
| C31 | 0,61  | 0,262 | 3 | -46,465 | 1,6    | 86,685 | 3,6107 | 3,05  |
| C32 | 0,525 | 0,39  | 1 | 247,772 | 2,149  | 56,798 | 2,9868 | 18,88 |
| C33 | 0,525 | 0,332 | 1 | 210,548 | -0,085 | 53,221 | 2,4832 | 16,04 |

Pu > 0, compresión

**Tabla 10** Resultados análisis en la dirección -Y. Edificio C.

| PIER | Ag [m2] | FU    | Combo | Pu [tonf] | Mu2 [tonf m] | Mu3 [tonf m] | δe [cm] | Pu/fcAg [%] |
|------|---------|-------|-------|-----------|--------------|--------------|---------|-------------|
| C1   | 0,963   | 0,404 | 2     | 354,483   | -74,065      | 2,736        | 4,873   | 14,72       |
| C2   | 1,44    | 1     | 4     | 317,815   | -86,45       | -209,42      | 5,278   | 8,83        |
| C4   | 0,62    | 0,518 | 4     | 115,253   | 21,07        | -219,08      | 5,969   | 7,44        |
| C5   | 0,642   | 0,302 | 2     | 242,688   | -0,86        | -46,52       | 5,602   | 15,12       |
| C6   | 0,525   | 0,292 | 2     | 173,07    | -0,65        | -65,00       | 5,2248  | 13,19       |
| C7   | 0,82    | 0,234 | 2     | -103,572  | -0,80        | -268,74      | 4,990   | 5,05        |
| C8   | 0,61    | 0,237 | 2     | -75,225   | 1,31         | -170,61      | 4,917   | 4,93        |
| C9   | 0,525   | 0,304 | 2     | 202,519   | 0,94         | -46,39       | 4,682   | 15,43       |
| C10  | 0,525   | 0,263 | 2     | 165,552   | -0,44        | -46,24       | 4,3525  | 12,61       |
| C11  | 0,61    | 0,203 | 2     | -26,699   | -0,84        | -133,67      | 4,114   | 1,75        |
| C12  | 0,82    | 0,181 | 2     | -36,154   | 0,99         | -205,86      | 4,041   | 1,76        |
| C13  | 0,7472  | 0,281 | 2     | 245,316   | 3,89         | -69,90       | 3,806   | 13,13       |
| C14  | 0,7482  | 0,258 | 2     | 227,078   | 1,83         | -60,64       | 3,429   | 12,14       |
| C15  | 0,827   | 0,30  | 2     | 164,698   | -15,53       | -197,74      | 3,004   | 7,97        |
| C16  | 1,3904  | 0,39  | 2     | 492,202   | -156,90      | -105,74      | 5,262   | 14,16       |
| C17  | 1,2072  | 0,345 | 2     | 399,119   | -127,90      | 34,66        | 4,68    | 13,22       |
| C18  | 1,247   | 0,406 | 2     | 421,619   | -73,70       | 18,70        | 4,16    | 13,52       |
| C19  | 1,3748  | 0,319 | 2     | 416,996   | -115,72      | 59,37        | 3,77    | 12,13       |
| C20  | 1,653   | 0,316 | 2     | 560,447   | -253,74      | 407,64       | 3,47    | 13,56       |
| C21  | 0,8332  | 0,432 | 2     | 376,123   | -74,56       | -30,47       | 4,08    | 18,06       |
| C22  | 1,534   | 0,403 | 2     | 581,807   | -66,541      | 129,788      | 4,9536  | 15,17       |
| C23  | 0,6201  | 0,772 | 2     | 229,718   | 22,812       | -200,371     | 5,9689  | 14,82       |
| C24  | 0,324   | 0,581 | 2     | 267,097   | 0,361        | -13,021      | 5,6024  | 32,97       |
| C25  | 0,525   | 0,632 | 2     | 367,558   | 1,665        | -140,419     | 5,2248  | 28,00       |
| C26  | 0,664   | 0,522 | 2     | 406,254   | -0,547       | -163,3       | 4,9903  | 24,47       |
| C27  | 0,61    | 0,537 | 2     | 395,221   | 0,249        | -119,5       | 4,9169  | 25,92       |
| C28  | 0,525   | 0,546 | 2     | 330,06    | -0,586       | -118,641     | 4,6824  | 25,15       |
| C29  | 0,525   | 0,487 | 2     | 301,228   | 0,948        | -88,972      | 4,3108  | 22,95       |
| C30  | 0,61    | 0,486 | 2     | 361,836   | -0,617       | -98,795      | 4,1142  | 23,73       |
| C31  | 0,61    | 0,48  | 2     | 354,239   | 0,163        | -97,738      | 4,0409  | 23,23       |
| C32  | 0,525   | 0,495 | 2     | 303,727   | -1,229       | -101,548     | 3,8063  | 23,14       |
| C33  | 0,525   | 0,553 | 2     | 337,396   | 0,057        | -106,34      | 3,4288  | 25,71       |

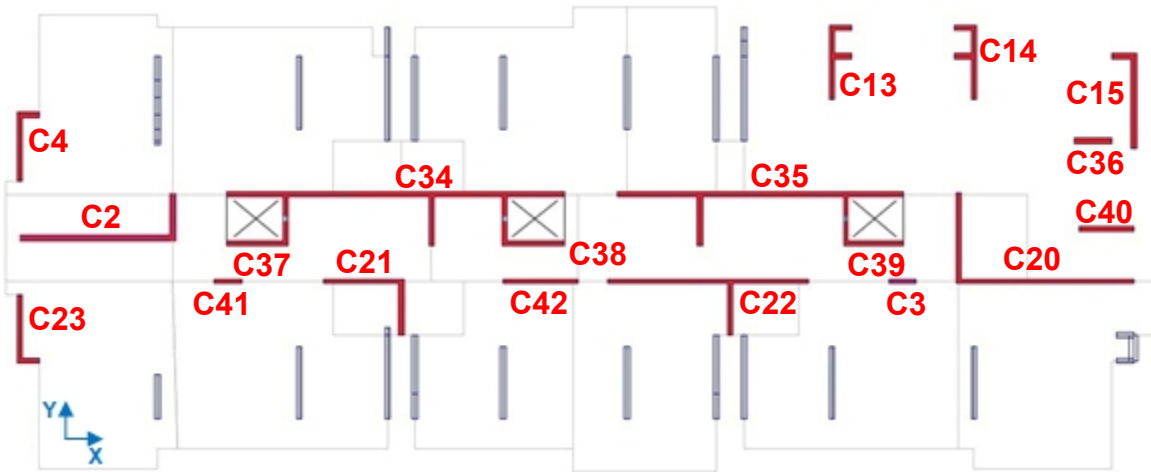


Figura 6 Muros definidos en la dirección X. Edificio C.

Tabla 11 Resultados análisis en la dirección X. Edificio C.

| PIER | Ag [m2] | FU    | Combo | Pu [tonf] | Mu2 [tonf m] | Mu3 [tonf m] | δe [cm] | Pu/fcAg [%] |
|------|---------|-------|-------|-----------|--------------|--------------|---------|-------------|
| C2   | 1,44    | 0,55  | 3B    | -134,386  | 87,28        | 1057,35      | 3,926   | 3,73        |
| C3   | 0,1568  | 1     | 3B    | 102,817   | -0,22        | 40,09        | 3,8851  | 26,23       |
| C4   | 0,62    | 0,285 | 3B    | -19,293   | -15,27       | -9,55        | 4,040   | 0,47        |
| C13  | 0,7472  | 0,291 | 1B    | 163,171   | -22,69       | 0,52         | 4,116   | 8,74        |
| C14  | 0,7482  | 0,484 | 1B    | 455,119   | -10,06       | -29,25       | 4,116   | 24,33       |
| C15  | 0,827   | 0,31  | 1B    | 260,155   | -29,88       | -158,84      | 4,088   | 12,58       |
| C20  | 1,653   | 0,821 | 1B    | 943,651   | -389,42      | 1817,92      | 3,87    | 22,83       |
| C21  | 0,8332  | 0,526 | 3B    | -61,225   | -33,35       | -3,44        | 3,89    | 2,94        |
| C22  | 1,534   | 0,708 | 1B    | 687,39    | -19,93       | 1407,672     | 3,9679  | 17,92       |
| C23  | 0,6201  | 0,115 | 1B    | 55,286    | -4,952       | 2,584        | 3,7904  | 3,57        |
| C34  | 2,583   | 0,713 | 3B    | 341,3     | -34,56       | 2727,79      | 3,97    | 5,29        |
| C35  | 2,145   | 0,49  | 1B    | 816,531   | 15,64        | 1894,24      | 3,95    | 15,23       |
| C36  | 0,27    | 0,308 | 1B    | 53,195    | -0,289       | 26,549       | 4,0055  | 7,88        |
| C37  | 0,4848  | 0,55  | 3B    | -91,43    | 15,46        | 96,517       | 3,9209  | 7,54        |
| C38  | 0,4928  | 0,571 | 1B    | 294,151   | -25,453      | 98,863       | 3,9054  | 23,88       |
| C39  | 0,4728  | 0,693 | 1B    | 349,589   | -27,36       | 96,35        | 3,91    | 29,58       |
| C40  | 0,3168  | 0,614 | 1B    | 145,876   | -0,06        | 85,671       | 3,9192  | 18,42       |
| C41  | 0,1648  | 0,775 | 1B    | 42,123    | 0,606        | 47,497       | 3,8679  | 10,22       |
| C42  | 0,4368  | 0,911 | 1B    | 358,59    | -0,445       | 221,381      | 3,8679  | 32,84       |

Pu > 0, compresión

**Tabla 12** Resultados análisis en la dirección -X. Edificio C.

| PIER      | Ag [m2]       | FU       | Combo     | Pu [tonf]     | Mu2 [tonf m] | Mu3 [tonf m]  | δe [cm]       | Pu/fcAg [%] |
|-----------|---------------|----------|-----------|---------------|--------------|---------------|---------------|-------------|
| C2        | 1,44          | 0,71     | 2B        | 844,059       | -105,56      | -1168,11      | 3,460         | 23,45       |
| <b>C3</b> | <b>0,1568</b> | <b>1</b> | <b>2B</b> | <b>37,935</b> | <b>0,20</b>  | <b>-51,36</b> | <b>3,4354</b> | <b>9,68</b> |
| C4        | 0,62          | 0,448    | 2B        | 323,153       | 26,36        | -31,93        | 3,528         | 7,82        |
| C13       | 0,7472        | 0,385    | 2B        | 360,979       | 9,06         | -17,80        | 3,577         | 19,32       |
| C14       | 0,7482        | 0,270    | 2B        | 172,161       | 19,39        | -2,54         | 3,577         | 9,20        |
| C15       | 0,827         | 0,27     | 2B        | 153,866       | 15,79        | -155,26       | 3,561         | 7,44        |
| C20       | 1,653         | 0,698    | 4B        | -53,004       | 174,30       | -1214,43      | 3,42          | 1,28        |
| C21       | 0,8332        | 0,844    | 2B        | 607,732       | 65,72        | -344,21       | 3,44          | 29,18       |
| C22       | 1,534         | 0,566    | 4B        | 215,504       | 16,871       | -1063,204     | 3,4182        | 5,62        |
| C23       | 0,6201        | 0,691    | 2B        | 328,776       | 38,807       | -44,258       | 3,4281        | 21,21       |
| C34       | 2,583         | 0,447    | 2B        | 913,757       | 11,95        | -2401,50      | 3,48          | 14,15       |
| C35       | 2,145         | 0,51     | 4B        | 243,707       | -40,80       | -1706,29      | 3,47          | 4,54        |
| C36       | 0,27          | 0,264    | 2B        | 75,232        | 0,084        | -16,755       | 3,5137        | 11,15       |
| C37       | 0,4848        | 0,63     | 2B        | 324,071       | -24,858      | -89,07        | 3,4568        | 26,74       |
| C38       | 0,4928        | 0,447    | 4B        | -22,324       | 12,656       | -84,799       | 3,4413        | 1,81        |
| C39       | 0,4728        | 0,477    | 4B        | -67,154       | 12,92        | -81,56        | 3,44          | 5,68        |
| C40       | 0,3168        | 0,287    | 2B        | 96,46         | -0,457       | -29,909       | 3,4646        | 12,18       |
| C41       | 0,1648        | 0,623    | 2B        | 130,508       | 0,109        | -17,939       | 3,4354        | 31,68       |
| C42       | 0,4368        | 0,584    | 4B        | -46,757       | 0,716        | -179,37       | 3,4182        | 4,28        |

Pu &gt; 0, compresión

#### IV. ESTIMACIÓN DE FACTORES DE AGRIETAMIENTO DE MUROS

- EDIFICIO A

Valores obtenidos para la dirección Y

| PIER | A <sub>g</sub> [m <sup>2</sup> ] | I <sub>w</sub> [m <sup>4</sup> ] | P <sub>u</sub> [tonf] | P <sub>u</sub> /f <sub>c</sub> A <sub>g</sub> | Section Designer     |                         | λ            |
|------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---|----------------------|-------------------------|--------------|
|      |                                  |                                  |                       |   | φ <sub>y</sub> [1/m] | M <sub>y</sub> [tonf m] |              |
| A1   | 2,233                            | 13,0215                          | 2204,19               | 39,48   | 0,00055              | 6694,5                  | <b>0,401</b> |
| A4   | 1,344                            | 5,0577                           | 1604,407              | 47,75   | 0,00076              | 3282                    | <b>0,363</b> |
| A12  | 2,458                            | 4,3526                           | 1487,073              | 24,20   | 0,00067              | 2709,8152               | <b>0,397</b> |
| A13  | 1,983                            | 5,712                            | 947,536               | 19,11   | 0,00064              | 2437,1721               | <b>0,285</b> |
| A18  | 1,9905                           | 12,4863                          | 124,003               | 2,49  | 0,00057              | 5660,75                 | <b>0,340</b> |
| A20  | 0,525                            | 0,1929                           | -49,034               | -3,74   | 0,00108              | 66,625                  | <b>0,136</b> |

Valores obtenidos para la dirección -Y

| PIER | A <sub>g</sub> [m <sup>2</sup> ] | I <sub>w</sub> [m <sup>4</sup> ] | P <sub>u</sub> [tonf] | P <sub>u</sub> /f <sub>c</sub> A <sub>g</sub> | Section Designer     |                         | λ            |
|------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---|----------------------|-------------------------|--------------|
|      |                                  |                                  |                       |   | φ <sub>y</sub> [1/m] | M <sub>y</sub> [tonf m] |              |
| A1   | 2,233                            | 13,0215                          | -26,375               | -0,47   | 0,0002903            | 1216,2415               | <b>0,137</b> |
| A4   | 1,344                            | 5,0577                           | -55,184               | -1,64   | 0,0003574            | 792,2026                | <b>0,186</b> |
| A12  | 2,458                            | 4,3526                           | 689,587               | 11,22   | 0,000544             | 2075,9485               | <b>0,373</b> |
| A13  | 1,983                            | 5,712                            | 337,892               | 6,82  | 0,0005941            | 1612,3381               | <b>0,202</b> |
| A18  | 1,9905                           | 12,4863                          | 1788,455              | 35,94   | 0,0006252            | 6194,5978               | <b>0,338</b> |
| A20  | 0,525                            | 0,1929                           | 649,983               | 49,52   | 0,002292             | 415,4787                | <b>0,400</b> |

- EDIFICIO B

Valores obtenidos para la dirección Y

| PIER | A <sub>g</sub> [m <sup>2</sup> ] | I <sub>w</sub> [m <sup>4</sup> ] | P <sub>u</sub> [tonf] | P <sub>u</sub> /f <sub>c</sub> A <sub>g</sub> | Section Designer     |                         | λ     |
|------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---|----------------------|-------------------------|-------|
|      |                                  |                                  |                       |   | φ <sub>y</sub> [1/m] | M <sub>y</sub> [tonf m] |       |
| B1   | 3,2337                           | 8,4718                           | 2125,34               | 26,29   | 0,00056              | 5386,51                 | 0,483 |
| B2   | 2,224                            | 7,1372                           | 1836,06               | 33,02   | 0,000601             | 4516,83                 | 0,448 |
| B4   | 3,1238                           | 9,5092                           | 2028,404              | 25,97   | 0,000639             | 5910,7                  | 0,414 |
| B5   | 0,634                            | 0,5309                           | 576,412               | 36,37   | 0,001443             | 813,55                  | 0,452 |
| B6   | 0,634                            | 0,5309                           | 416,03                | 26,25   | 0,001337             | 1024,74                 | 0,614 |
| B10  | 2,1355                           | 2,365                            | 749,781               | 14,04   | 0,00047              | 1738,05                 | 0,665 |
| B12  | 0,636                            | 0,9528                           | -12,57                | -0,79   | 0,0005753            | 234,6188                | 0,182 |



**Valores obtenidos para la dirección -Y**

| PIER | A <sub>g</sub> [m <sup>2</sup> ] | I <sub>w</sub> [m <sup>4</sup> ] | P <sub>u</sub> [tonf] | P <sub>u</sub> /f <sub>c</sub> A <sub>g</sub> | Section Designer     |                         |       |
|------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---|----------------------|-------------------------|-------|
|      |                                  |                                  |                       |   | φ <sub>y</sub> [1/m] | M <sub>y</sub> [tonf m] | λ     |
| B1   | 3,2337                           | 8,4718                           | 2204,19               | 27,27   | 0,0003871            | 1398,8258               | 0,182 |
| B2   | 2,224                            | 7,1372                           | 1604,407              | 28,86   | 0,0003374            | 1913,7988               | 0,338 |
| B4   | 3,1238                           | 9,5092                           | 1487,073              | 19,04   | 0,0003896            | 1246,0714               | 0,143 |
| B5   | 0,634                            | 0,5309                           | 947,536               | 59,78   | 0,001193             | 699,1085                | 0,470 |
| B6   | 0,634                            | 0,5309                           | 317                   | 20,00   | 0,001166             | 904,1633                | 0,622 |
| B10  | 2,1355                           | 2,365                            | -49,034               | -0,92   | 0,000689             | 2055,2072               | 0,537 |
| B12  | 0,636                            | 0,9528                           | 323,127               | 20,32   | 0,000898             | 754,408                 | 0,375 |

- EDIFICIO C**

**Valores obtenidos para la dirección Y**

| PIER | A <sub>g</sub> [m <sup>2</sup> ] | I <sub>w</sub> [m <sup>4</sup> ] | P <sub>u</sub> [tonf] | P <sub>u</sub> /f <sub>c</sub> A <sub>g</sub> | Section Designer     |                         |       |
|------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---|----------------------|-------------------------|-------|
|      |                                  |                                  |                       |   | φ <sub>y</sub> [1/m] | M <sub>y</sub> [tonf m] | λ     |
| C4   | 0,62                             | 0,3888                           | 158,905               | 10,25   | 0,00105              | 271,1048                | 0,283 |
| C7   | 0,82                             | 1,1487                           | 891,109               | 43,47   | 0,001168             | 1294,4881               | 0,411 |
| C8   | 0,61                             | 0,4729                           | 611,142               | 40,07   | 0,001461             | 767,9159                | 0,473 |
| C12  | 0,82                             | 1,1487                           | 897,865               | 43,80   | 0,001161             | 1395,4941               | 0,445 |
| C26  | 0,664                            | 0,6099                           | -6,688                | -0,40   | 0,0007671            | 256,4325                | 0,233 |
| C30  | 0,61                             | 0,4729                           | -56,55                | -3,71   | 0,0007423            | 110,8905                | 0,134 |

**Valores obtenidos para la dirección -Y**

| PIER | A <sub>g</sub> [m <sup>2</sup> ] | I <sub>w</sub> [m <sup>4</sup> ] | P <sub>u</sub> [tonf] | P <sub>u</sub> /f <sub>c</sub> A <sub>g</sub> | Section Designer     |                         |       |
|------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---|----------------------|-------------------------|-------|
|      |                                  |                                  |                       |   | φ <sub>y</sub> [1/m] | M <sub>y</sub> [tonf m] | λ     |
| C4   | 0,62                             | 0,3888                           | 115,253               | 7,44  | 0,001242             | 338,4622                | 0,298 |
| C7   | 0,82                             | 1,1487                           | -103,572              | -5,05   | 0,0005406            | 204,3595                | 0,140 |
| C8   | 0,61                             | 0,4729                           | -75,225               | -4932,79                                      | 0,000753             | 183,8272                | 0,220 |
| C12  | 0,82                             | 1,1487                           | -36,154               | -1,76   | 0,0006142            | 430,6702                | 0,260 |
| C26  | 0,664                            | 0,6099                           | 717,579               | 43,23   | 0,001423             | 859,8947                | 0,422 |
| C30  | 0,61                             | 0,4729                           | 657,429               | 43,11   | 0,001553             | 687,9596                | 0,399 |

## V. EDIFICIO A – ANÁLISIS DE DEFORMACIONES

- $\varepsilon_c > 0$ , compresión.
- $\varepsilon_s > 0$ , tracción.

### ➤ Resultados para $I_p=I_w/2$

Dirección Y

| Muro            | A1       |          | Suelo B         |          | Suelo C  |  |
|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|--|
| Hw [m]          | 50m      |          | 0,14            |          | 0,185    |  |
| Lw [m]          | 7,35     |          |                 |          |          |  |
| e [m]           | 0,2      |          |                 |          |          |  |
| $\phi_e$ [1/m]  | 5,57E-04 |          |                 |          |          |  |
| $\delta u$ [m]  |          |          |                 |          |          |  |
| Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) | Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) |  |
| $\phi_u$ [1/m]  | 7,62E-04 | 6,61E-04 | $\phi_u$ [1/m]  | 1,01E-03 | 9,15E-04 |  |
| $\varepsilon_c$ | 4,11E-03 | 3,55E-03 | $\varepsilon_c$ | 7,34E-03 | 6,00E-03 |  |
| $\varepsilon_s$ | 1,49E-03 | 1,31E-03 | $\varepsilon_s$ | 3,94E-05 | 6,50E-04 |  |
| c [m]           | 5,3210   | 5,2958   | c [m]           | 7,2113   | 6,5414   |  |

Dirección -Y

| Muro            | A1       |          | Suelo B         |          | Suelo C  |  |
|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|--|
| Hw [m]          | 50m      |          | 0,14            |          | 0,185    |  |
| Lw [m]          | 7,35     |          |                 |          |          |  |
| e [m]           | 0,2      |          |                 |          |          |  |
| $\phi_e$ [1/m]  | 2,91E-04 |          |                 |          |          |  |
| $\delta u$ [m]  |          |          |                 |          |          |  |
| Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) | Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) |  |
| $\phi_u$ [1/m]  | 7,62E-04 | 6,83E-04 | $\phi_u$ [1/m]  | 1,01E-03 | 9,37E-04 |  |
| $\varepsilon_c$ | 2,30E-04 | 2,18E-04 | $\varepsilon_c$ | 2,65E-04 | 2,55E-04 |  |
| $\varepsilon_s$ | 5,38E-03 | 4,89E-03 | $\varepsilon_s$ | 7,10E-03 | 6,60E-03 |  |
| c [m]           | 0,2972   | 0,3094   | c [m]           | 0,2609   | 0,2697   |  |

Dirección Y

| Muro            | A4       |          | Suelo B         |          | Suelo C  |  |
|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|--|
| Hw [m]          | 50m      |          | 0,14            |          | 0,185    |  |
| Lw [m]          | 6,72     |          |                 |          |          |  |
| e [m]           | 0,2      |          |                 |          |          |  |
| $\phi_e$ [1/m]  | 6,68E-04 |          |                 |          |          |  |
| $\delta u$ [m]  |          |          |                 |          |          |  |
| Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) | Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) |  |
| $\phi_u$ [1/m]  | 8,33E-04 | 7,62E-04 | $\phi_u$ [1/m]  | 1,10E-03 | 1,04E-03 |  |
| $\varepsilon_c$ | 2,92E-03 | 2,73E-03 | $\varepsilon_c$ | 3,78E-03 | 3,60E-03 |  |
| $\varepsilon_s$ | 2,63E-03 | 2,35E-03 | $\varepsilon_s$ | 3,54E-03 | 3,36E-03 |  |
| c [m]           | 3,4830   | 3,5576   | c [m]           | 3,4182   | 3,4243   |  |

Dirección -Y

| Muro            | A4       |          | Suelo B         |          | Suelo C  |  |
|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|--|
| Hw [m]          | 50m      |          | 0,14            |          | 0,185    |  |
| Lw [m]          | 6,72     |          |                 |          |          |  |
| e [m]           | 0,2      |          |                 |          |          |  |
| $\phi_e$ [1/m]  | 4,82E-04 |          |                 |          |          |  |
| $\delta u$ [m]  |          |          |                 |          |          |  |
| Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) | Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) |  |
| $\phi_u$ [1/m]  | 8,33E-04 | 9,16E-04 | $\phi_u$ [1/m]  | 1,10E-03 | 1,19E-03 |  |
| $\varepsilon_c$ | 1,71E-03 | 1,82E-03 | $\varepsilon_c$ | 2,05E-03 | 2,17E-03 |  |
| $\varepsilon_s$ | 3,87E-03 | 4,30E-03 | $\varepsilon_s$ | 5,30E-03 | 8,56E-03 |  |
| c [m]           | 2,0312   | 1,9649   | c [m]           | 1,8431   | 1,3388   |  |

**Dirección Y**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>A5</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 50m             |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 3,71            |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 9,45E-04        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,14            |                 | 0,185           |                                 |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 1,51E-03        | 1,13E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 1,99E-03   1,62E-03             |
| <b>εc</b>       | 1,92E-03        | 1,65E-03        | <b>εc</b>       | 2,28E-03   2,00E-03             |
| <b>εs</b>       | 3,65E-03        | 2,55E-03        | <b>εs</b>       | 5,14E-03   4,00E-03             |
| <b>c [m]</b>    | 1,2455          | 1,4183          | <b>c [m]</b>    | 1,1083   1,2037                 |

**Dirección Y**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>A7</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 50m             |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 6,72            |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 6,53E-04        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,14            |                 | 0,185           |                                 |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 8,33E-04        | 7,86E-04        | <b>φu [1/m]</b> | 1,10E-03   1,06E-03             |
| <b>εc</b>       | 2,86E-03        | 2,73E-03        | <b>εc</b>       | 3,67E-03   3,56E-03             |
| <b>εs</b>       | 2,70E-03        | 2,52E-03        | <b>εs</b>       | 3,66E-03   3,55E-03             |
| <b>c [m]</b>    | 3,4053          | 3,4424          | <b>c [m]</b>    | 3,3145   3,3147                 |

**Dirección -Y**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>A5</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 50m             |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 3,71            |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 1,09E-03        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,14            |                 | 0,185           |                                 |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 1,51E-03        | 1,87E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 1,99E-03   2,37E-03             |
| <b>εc</b>       | 2,52E-03        | 3,00E-03        | <b>εc</b>       | 3,19E-03   3,70E-03             |
| <b>εs</b>       | 2,94E-03        | 3,79E-03        | <b>εs</b>       | 4,06E-03   4,90E-03             |
| <b>c [m]</b>    | 1,6662          | 1,5950          | <b>c [m]</b>    | 1,5884   1,5531                 |

**Dirección -Y**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>A7</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 50m             |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 6,72            |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 4,83E-04        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,14            |                 | 0,185           |                                 |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 8,33E-04        | 9,38E-04        | <b>φu [1/m]</b> | 1,10E-03   1,22E-03             |
| <b>εc</b>       | 1,72E-03        | 1,86E-03        | <b>εc</b>       | 2,05E-03   2,22E-03             |
| <b>εs</b>       | 3,87E-03        | 4,42E-03        | <b>εs</b>       | 5,27E-03   6,00E-03             |
| <b>c [m]</b>    | 2,0369          | 1,9607          | <b>c [m]</b>    | 1,8527   1,7879                 |

**Dirección X**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>A2</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 50m             |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 2,35            |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 6,44E-04        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,1165          |                 | <b>δu [m]</b>   | 0,1541                          |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 1,98E-03        | 1,66E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 2,62E-03    2,30E-03            |
| <b>εc</b>       | 9,51E-05        | -2,30E-05       | <b>εc</b>       | 2,63E-04    1,83E-04            |
| <b>εs</b>       | 4,20E-03        | 3,60E-03        | <b>εs</b>       | 5,40E-03    4,78E-03            |
| <b>c [m]</b>    | 0,0498          | 0,0143          | <b>c [m]</b>    | 0,1043    0,0831                |

**Dirección -X**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>A3</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 50m             |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 2,35            |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 6,90E-04        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,1165          |                 | <b>δu [m]</b>   | 0,1541                          |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 1,98E-03        | 1,69E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 2,62E-03    2,34E-03            |
| <b>εc</b>       | -1,38E-05       | -1,18E-04       | <b>εc</b>       | 1,73E-04    1,03E-04            |
| <b>εs</b>       | 4,12E-03        | 3,60E-03        | <b>εs</b>       | 5,24E-03    4,78E-03            |
| <b>c [m]</b>    | 0,0075          | 0,0714          | <b>c [m]</b>    | 0,0718    0,0475                |

➤ **Resultados para  $I_p$  según Bohl y Adebar (B&A)**

**Dirección Y**

|                    |                 |                 |                 |                                 |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>        | <b>A1</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b> | 38,48           |                 |                 |                                 |
| <b>z [m]</b>       | 30,20           |                 |                 |                                 |
| <b>Lp [m]</b>      | 1,260           |                 |                 |                                 |
|                    | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>Fórmula</b>     | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b>    | 2,22E-03        | 8,53E-04        | <b>φu [1/m]</b> | 2,94E-03    1,58E-03            |
| <b>εc</b>          | 1,66E-02        | 4,85E-03        | <b>εc</b>       | 2,20E-02    1,18E-02            |
| <b>εs</b>          | -4,10E-04       | 1,35E-03        | <b>εs</b>       | -4,83E-04    -2,67E-04          |
| <b>c [m]</b>       | 7,434           | 5,671           | <b>c [m]</b>    | 7,413    7,418                  |

**Dirección -Y**

|                    |                 |                 |                 |                                 |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>        | <b>A1</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b> | -0,21           |                 |                 |                                 |
| <b>z [m]</b>       | 30,20           |                 |                 |                                 |
| <b>Lp [m]</b>      | 1,260           |                 |                 |                                 |
|                    | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>Fórmula</b>     | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b>    | 9,43E-04        | 7,72E-04        | <b>φu [1/m]</b> | 1,25E-03    1,08E-03            |
| <b>εc</b>          | 2,56E-04        | 2,32E-04        | <b>εc</b>       | 2,98E-04    2,75E-04            |
| <b>εs</b>          | 6,66E-03        | 5,45E-03        | <b>εs</b>       | 8,90E-03    7,61E-03            |
| <b>c [m]</b>       | 0,268           | 0,296           | <b>c [m]</b>    | 0,235    0,253                  |

**Dirección Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>A4</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 41,74           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 30,20           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 1,067           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 2,62E-03        | 9,57E-04        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 3,47E-03        | 1,81E-03        |
| <b><math>\epsilon c</math></b>   | >0,0102         | 3,30E-03        | <b><math>\epsilon c</math></b>   | >0,0102         | >0,0102         |
| <b><math>\epsilon s</math></b>   | -               | 3,02E-03        | <b><math>\epsilon s</math></b>   | -               | -               |
| <b>c [m]</b>                     | -               | 3,457           | <b>c [m]</b>                     | -               | -               |

**Dirección -Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>A4</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 15,98           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 30,20           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 2,170           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 1,29E-03        | 1,15E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 1,71E-03        | 1,57E-03        |
| <b><math>\epsilon c</math></b>   | 2,30E-03        | 2,11E-03        | <b><math>\epsilon c</math></b>   | 2,86E-03        | 2,67E-03        |
| <b><math>\epsilon s</math></b>   | 6,34E-03        | 5,57E-03        | <b><math>\epsilon s</math></b>   | 8,55E-03        | 7,84E-03        |
| <b>c [m]</b>                     | 1,760           | 1,818           | <b>c [m]</b>                     | 1,659           | 1,684           |

**Dirección Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>A5</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 40,67           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 25,20           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 0,781           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 3,59E-03        | 1,38E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 4,74E-03        | 2,54E-03        |
| <b><math>\epsilon c</math></b>   | >0,004163       | 1,83E-03        | <b><math>\epsilon c</math></b>   | >0,004163       | 2,76E-03        |
| <b><math>\epsilon s</math></b>   | -               | 3,29E-03        | <b><math>\epsilon s</math></b>   | -               | 6,66E-03        |
| <b>c [m]</b>                     | -               | 1,290           | <b>c [m]</b>                     | -               | 1,058           |

**Dirección -Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>A5</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 21,92           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 25,20           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 1,344           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 2,08E-03        | 2,17E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 2,75E-03        | 2,84E-03        |
| <b><math>\epsilon c</math></b>   | 3,42E-03        | 3,56E-03        | <b><math>\epsilon c</math></b>   | 4,81E-03        | 6,12E-03        |
| <b><math>\epsilon s</math></b>   | 1,50E-02        | 1,10E-02        | <b><math>\epsilon s</math></b>   | 0,0135          | 1,28E-02        |
| <b>c [m]</b>                     | 0,670           | 0,883           | <b>c [m]</b>                     | 0,948           | 1,168           |

**Dirección Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>A7</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 40,37           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 30,20           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 1,126           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 2,49E-03        | 1,04E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 3,29E-03        | 1,85E-03        |
| <b><math>\epsilon c</math></b>   | >0,0106         | 3,49E-03        | <b><math>\epsilon c</math></b>   | >0,0106         | >0,0106         |
| <b><math>\epsilon s</math></b>   | -               | 3,46E-03        | <b><math>\epsilon s</math></b>   | -               | -               |
| <b>c [m]</b>                     | -               | 3,323           | <b>c [m]</b>                     | -               | -               |

**Dirección -Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>A7</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 16,10           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 30,20           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 2,165           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 1,29E-03        | 1,18E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 1,71E-03        | 1,61E-03        |
| <b><math>\epsilon c</math></b>   | 2,31E-03        | 2,15E-03        | <b><math>\epsilon c</math></b>   | 2,87E-03        | 2,73E-03        |
| <b><math>\epsilon s</math></b>   | 6,33E-03        | 5,71E-03        | <b><math>\epsilon s</math></b>   | 8,53E-03        | 8,00E-03        |
| <b>c [m]</b>                     | 1,767           | 1,811           | <b>c [m]</b>                     | 1,666           | 1,684           |

## VI. EDIFICIO B – ANÁLISIS DE DEFORMACIONES

- $\varepsilon_c > 0$ , compresión.
- $\varepsilon_s > 0$ , tracción.

### ➤ Resultados para $I_p=I_w/2$

Dirección Y

| Muro            | B1        |          | Suelo B         |           | Suelo C   |  |
|-----------------|-----------|----------|-----------------|-----------|-----------|--|
| Hw [m]          | 39,68     |          |                 |           |           |  |
| Lw [m]          | 5,65      |          |                 |           |           |  |
| e [m]           | 0,2       |          |                 |           |           |  |
| $\phi_e$ [1/m]  | 5,76E-04  |          |                 |           |           |  |
| $\delta u$ [m]  | 0,1446    |          | $\delta u$ [m]  | 0,191     |           |  |
| Fórmula         | 21.7 (a)  | 21.7 (b) | Fórmula         | 21.7 (a)  | 21.7 (b)  |  |
| $\phi_u$ [1/m]  | 1,29E-03  | 9,73E-04 | $\phi_u$ [1/m]  | 1,70E-03  | 1,40E-03  |  |
| $\varepsilon_c$ | 7,25E-03  | 5,40E-03 | $\varepsilon_c$ | 9,62E-03  | 7,85E-03  |  |
| $\varepsilon_s$ | -1,59E-05 | 7,20E-05 | $\varepsilon_s$ | -5,18E-05 | -2,90E-05 |  |
| c [m]           | 5,562     | 5,477    | c [m]           | 5,5203    | 5,571     |  |

Dirección -Y

| Muro            | B1       |          | Suelo B         |          | Suelo C  |  |
|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|--|
| Hw [m]          | 39,68    |          |                 |          |          |  |
| Lw [m]          | 5,65     |          |                 |          |          |  |
| e [m]           | 0,2      |          |                 |          |          |  |
| $\phi_e$ [1/m]  | 3,87E-04 |          |                 |          |          |  |
| $\delta u$ [m]  | 0,1446   |          | $\delta u$ [m]  | 0,191    |          |  |
| Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) | Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) |  |
| $\phi_u$ [1/m]  | 1,29E-03 | 1,19E-03 | $\phi_u$ [1/m]  | 1,70E-03 | 1,62E-03 |  |
| $\varepsilon_c$ | 1,00E-03 | 9,44E-04 | $\varepsilon_c$ | 1,23E-03 | 1,19E-03 |  |
| $\varepsilon_s$ | 7,13E-03 | 6,56E-03 | $\varepsilon_s$ | 9,53E-03 | 9,05E-03 |  |
| c [m]           | 0,6827   | 0,6982   | c [m]           | 0,6335   | 0,6426   |  |

Dirección Y

| Muro            | B2       |          | Suelo B         |          | Suelo C  |  |
|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|--|
| Hw [m]          | 39,68    |          |                 |          |          |  |
| Lw [m]          | 5,65     |          |                 |          |          |  |
| e [m]           | 0,2      |          |                 |          |          |  |
| $\phi_e$ [1/m]  | 8,66E-04 |          |                 |          |          |  |
| $\delta u$ [m]  | 0,1446   |          | $\delta u$ [m]  | 0,191    |          |  |
| Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) | Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) |  |
| $\phi_u$ [1/m]  | 1,29E-03 | 1,02E-03 | $\phi_u$ [1/m]  | 1,70E-03 | 1,44E-03 |  |
| $\varepsilon_c$ | 4,38E-03 | 3,48E-03 | $\varepsilon_c$ | 5,88E-03 | 4,98E-03 |  |
| $\varepsilon_s$ | 2,26E-03 | 1,76E-03 | $\varepsilon_s$ | 2,68E-03 | 2,47E-03 |  |
| c [m]           | 3,6610   | 3,6859   | c [m]           | 3,8124   | 3,7099   |  |

Dirección -Y

| Muro            | B2       |          | Suelo B         |          | Suelo C  |  |
|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|--|
| Hw [m]          | 39,68    |          |                 |          |          |  |
| Lw [m]          | 5,65     |          |                 |          |          |  |
| e [m]           | 0,2      |          |                 |          |          |  |
| $\phi_e$ [1/m]  | 3,37E-04 |          |                 |          |          |  |
| $\delta u$ [m]  | 0,1446   |          | $\delta u$ [m]  | 0,191    |          |  |
| Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) | Fórmula         | 21.7 (a) | 21.7 (b) |  |
| $\phi_u$ [1/m]  | 1,29E-03 | 9,33E-04 | $\phi_u$ [1/m]  | 1,70E-03 | 1,36E-03 |  |
| $\varepsilon_c$ | 1,39E-03 | 1,10E-03 | $\varepsilon_c$ | 1,68E-03 | 1,44E-03 |  |
| $\varepsilon_s$ | 8,35E-03 | 5,92E-03 | $\varepsilon_s$ | 1,10E-02 | 8,80E-03 |  |
| c [m]           | 0,7940   | 0,8723   | c [m]           | 0,7353   | 0,7805   |  |

**Dirección Y**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>B4</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 39,68           |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 5,65            |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,25            |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 6,99E-04        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,1446          |                 | <b>δu [m]</b>   | 0,191                           |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 1,29E-03        | 1,19E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 1,70E-03   1,62E-03             |
| <b>εc</b>       | 7,15E-03        | 6,47E-03        | <b>εc</b>       | 9,55E-03   9,13E-03             |
| <b>εs</b>       | 2,70E-04        | 3,75E-04        | <b>εs</b>       | 2,05E-04   2,07E-04             |
| <b>c [m]</b>    | 5,3480          | 5,2459          | <b>c [m]</b>    | 5,4335   5,4270                 |

**Dirección Y**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>B5</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 39,68           |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 3,17            |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 1,34E-03        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,1446          |                 | <b>δu [m]</b>   | 0,191                           |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 2,30E-03        | 1,75E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 3,04E-03   2,50E-03             |
| <b>εc</b>       | 3,41E-03        | 2,70E-03        | <b>εc</b>       | 4,71E-03   3,71E-03             |
| <b>εs</b>       | 3,77E-03        | 2,78E-03        | <b>εs</b>       | 4,80E-03   4,15E-03             |
| <b>c [m]</b>    | 1,4574          | 1,5120          | <b>c [m]</b>    | 1,5198   1,4491                 |

**Dirección -Y**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>B4</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 39,68           |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 5,65            |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,25            |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 3,90E-04        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,1446          |                 | <b>δu [m]</b>   | 0,191                           |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 1,29E-03        | 1,32E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 1,70E-03   1,75E-03             |
| <b>εc</b>       | 7,25E-04        | 7,40E-04        | <b>εc</b>       | 8,77E-04   8,92E-04             |
| <b>εs</b>       | 6,99E-03        | 7,12E-03        | <b>εs</b>       | 9,35E-03   9,58E-03             |
| <b>c [m]</b>    | 0,5215          | 0,5225          | <b>c [m]</b>    | 0,4759   0,4727                 |

**Dirección -Y**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>B5</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 39,68           |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 3,17            |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 1,19E-03        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,1446          |                 | <b>δu [m]</b>   | 0,191                           |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 2,30E-03        | 2,38E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 3,04E-03   3,13E-03             |
| <b>εc</b>       | 2,77E-03        | 2,84E-03        | <b>εc</b>       | 3,55E-03   3,65E-03             |
| <b>εs</b>       | 4,42E-03        | 4,61E-03        | <b>εs</b>       | 5,98E-03   6,16E-03             |
| <b>c [m]</b>    | 1,1827          | 1,1703          | <b>c [m]</b>    | 1,1436   1,1423                 |

**Dirección X**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>B2</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Hw [m]</b>                    | 39,68           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lw [m]</b>                    | 5,67            |                 |                                  |                 |                 |
| <b>e [m]</b>                     | 0,2             |                 |                                  |                 |                 |
| <b><math>\phi_e</math> [1/m]</b> | 1,84E-04        |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 |                                  | <b>Suelo C</b>  |                 |
| <b><math>\delta u</math> [m]</b> | 0,0742          |                 | <b><math>\delta u</math> [m]</b> | 0,0958          |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 6,60E-04        | 4,09E-04        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 8,52E-04        | 6,08E-04        |
| <b><math>\epsilon c</math></b>   | 3,18E-04        | 1,12E-04        | <b><math>\epsilon c</math></b>   | 4,13E-04        | 2,85E-04        |
| <b><math>\epsilon s</math></b>   | 4,81E-03        | 3,07E-03        | <b><math>\epsilon s</math></b>   | 6,19E-03        | 4,40E-03        |
| <b>c [m]</b>                     | 0,3453          | 0,1961          | <b>c [m]</b>                     | 0,3485          | 0,3388          |

**Dirección -X**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>B3</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Hw [m]</b>                    | 39,68           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lw [m]</b>                    | 3,47            |                 |                                  |                 |                 |
| <b>e [m]</b>                     | 0,2             |                 |                                  |                 |                 |
| <b><math>\phi_e</math> [1/m]</b> | 6,22E-04        |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 |                                  | <b>Suelo C</b>  |                 |
| <b><math>\delta u</math> [m]</b> | 0,0742          |                 | <b><math>\delta u</math> [m]</b> | 0,0958          |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 1,08E-03        | 9,90E-04        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 1,39E-03        | 1,31E-03        |
| <b><math>\epsilon c</math></b>   | 4,84E-04        | 4,26E-04        | <b><math>\epsilon c</math></b>   | 6,67E-04        | 6,15E-04        |
| <b><math>\epsilon s</math></b>   | 3,24E-03        | 3,01E-03        | <b><math>\epsilon s</math></b>   | 4,17E-03        | 3,91E-03        |
| <b>c [m]</b>                     | 0,4315          | 0,4116          | <b>c [m]</b>                     | 0,4578          | 0,4512          |

➤ **Resultados para  $I_p$  según Bohl y Adebar (B&A)**

**Dirección Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>B1</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 26,29           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 30,38           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 1,604           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 |                                  | <b>Suelo C</b>  |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 2,27E-03        | 1,26E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 3,00E-03        | 2,01E-03        |
| <b><math>\epsilon c</math></b>   | 1,28E-02        | 7,13E-03        | <b><math>\epsilon c</math></b>   | 1,70E-02        | 1,13E-02        |
| <b><math>\epsilon s</math></b>   | -6,19E-05       | -1,22E-05       | <b><math>\epsilon s</math></b>   | -4,75E-05       | -6,06E-05       |
| <b>c [m]</b>                     | 5,577           | 5,560           | <b>c [m]</b>                     | 5,566           | 5,580           |

**Dirección -Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>B1</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 5,42            |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 30,38           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 2,434           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 |                                  | <b>Suelo C</b>  |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 1,50E-03        | 1,31E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 1,98E-03        | 1,81E-03        |
| <b><math>\epsilon c</math></b>   | 1,12E-03        | 1,01E-03        | <b><math>\epsilon c</math></b>   | 1,37E-03        | 1,28E-03        |
| <b><math>\epsilon s</math></b>   | 8,36E-03        | 7,28E-03        | <b><math>\epsilon s</math></b>   | 1,11E-02        | 1,01E-02        |
| <b>c [m]</b>                     | 0,655           | 0,679           | <b>c [m]</b>                     | 0,610           | 0,624           |



**Dirección Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>B2</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 33,02           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 30,38           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 1,337           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 2,73E-03        | 1,18E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 3,60E-03        | 2,07E-03        |
| <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 0,0102          | 3,99E-03        | <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 1,39E-02        | 7,57E-03        |
| <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 3,86E-03        | 2,06E-03        | <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 4,65E-03        | 3,14E-03        |
| <b>c [m]</b>                     | 4,026           | 3,659           | <b>c [m]</b>                     | 4,158           | 3,922           |

**Dirección -Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>B2</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 3,24            |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 30,38           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 2,520           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 1,45E-03        | 1,00E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 1,91E-03        | 1,48E-03        |
| <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 1,51E-03        | 1,17E-03        | <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 1,82E-03        | 1,53E-03        |
| <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 9,40E-03        | 6,46E-03        | <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 1,26E-02        | 9,73E-03        |
| <b>c [m]</b>                     | 0,766           | 0,851           | <b>c [m]</b>                     | 0,700           | 0,754           |

**Dirección Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>B4</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 25,97           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 30,38           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 1,617           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 2,25E-03        | 1,54E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 2,98E-03        | 2,28E-03        |
| <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 1,27E-02        | 8,64E-03        | <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 1,68E-02        | 1,29E-02        |
| <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 2,20E-04        | 2,14E-04        | <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 3,00E-04        | 2,25E-04        |
| <b>c [m]</b>                     | 5,455           | 5,416           | <b>c [m]</b>                     | 5,453           | 5,455           |

**Dirección -Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>B4</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 5,02            |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 30,38           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 2,449           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 1,49E-03        | 1,46E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 1,97E-03        | 1,95E-03        |
| <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 8,02E-04        | 7,86E-04        | <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 9,79E-04        | 9,65E-04        |
| <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 8,15E-03        | 7,92E-03        | <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 1,09E-02        | 1,07E-02        |
| <b>c [m]</b>                     | 0,497           | 0,501           | <b>c [m]</b>                     | 0,457           | 0,459           |

**Dirección Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>B5</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 36,37           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 30,38           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 0,979           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 3,72E-03        | 2,00E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 4,92E-03        | 3,21E-03        |
| <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 0,0107          | 3,00E-03        | <b><math>\epsilon_c</math></b>   | >0,0136         | 7,16E-03        |
| <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 9,45E-04        | 3,22E-03        | <b><math>\epsilon_s</math></b>   | -               | 3,00E-03        |
| <b>c [m]</b>                     | 2,821           | 1,481           | <b>c [m]</b>                     | -               | 2,164           |

**Dirección -Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>B5</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 22,00           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 30,38           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 1,443           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 2,53E-03        | 2,49E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 3,34E-03        | 3,32E-03        |
| <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 3,01E-03        | 2,97E-03        | <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 3,89E-03        | 3,86E-03        |
| <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 4,91E-03        | 4,82E-03        | <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 6,60E-03        | 6,55E-03        |
| <b>c [m]</b>                     | 1,165           | 1,170           | <b>c [m]</b>                     | 1,138           | 1,138           |

## VII. EDIFICIO C – ANÁLISIS DE DEFORMACIONES

- $\epsilon_c > 0$ , compresión.
- $\epsilon_s > 0$ , tracción.

### ➤ Resultados para $I_p=I_w/2$

#### Dirección Y

| Muro           | C1       |          |                |          | Suelo C  |  |
|----------------|----------|----------|----------------|----------|----------|--|
| Hw [m]         | 30       |          |                |          |          |  |
| Lw [m]         | 1,955    |          |                |          |          |  |
| e [m]          | 0,2      |          |                |          |          |  |
| $\phi_e$ [1/m] | 1,14E-03 |          |                |          |          |  |
|                | Suelo B  |          |                | Suelo C  |          |  |
| $\delta u$ [m] | 0,1003   |          | $\delta u$ [m] | 0,1323   |          |  |
| Fórmula        | 21.7 (a) | 21.7 (b) | Fórmula        | 21.7 (a) | 21.7 (b) |  |
| $\phi_u$ [1/m] | 3,42E-03 | 2,99E-03 | $\phi_u$ [1/m] | 4,51E-03 | 4,09E-03 |  |
| $\epsilon_c$   | 3,63E-04 | 3,67E-04 | $\epsilon_c$   | 4,21E-04 | 3,76E-04 |  |
| $\epsilon_s$   | 6,23E-03 | 5,39E-03 | $\epsilon_s$   | 8,32E-03 | 6,70E-03 |  |
| c [m]          | 0,1021   | 0,1183   | c [m]          | 0,0893   | 0,0986   |  |

#### Dirección Y

| Muro           | C6       |          |                |          | Suelo C  |  |
|----------------|----------|----------|----------------|----------|----------|--|
| Hw [m]         | 30       |          |                |          |          |  |
| Lw [m]         | 2,63     |          |                |          |          |  |
| e [m]          | 0,2      |          |                |          |          |  |
| $\phi_e$ [1/m] | 1,44E-03 |          |                |          |          |  |
|                | Suelo B  |          |                | Suelo C  |          |  |
| $\delta u$ [m] | 0,1003   |          | $\delta u$ [m] | 0,1323   |          |  |
| Fórmula        | 21.7 (a) | 21.7 (b) | Fórmula        | 21.7 (a) | 21.7 (b) |  |
| $\phi_u$ [1/m] | 2,54E-03 | 2,78E-03 | $\phi_u$ [1/m] | 3,35E-03 | 3,61E-03 |  |
| $\epsilon_c$   | 2,61E-03 | 2,82E-03 | $\epsilon_c$   | 3,33E-03 | 3,57E-03 |  |
| $\epsilon_s$   | 3,95E-03 | 4,37E-03 | $\epsilon_s$   | 5,36E-03 | 5,76E-03 |  |
| c [m]          | 1,0066   | 0,9923   | c [m]          | 0,9700   | 0,9681   |  |

#### Dirección -Y

| Muro           | C2       |          |                |          | Suelo C  |  |
|----------------|----------|----------|----------------|----------|----------|--|
| Hw [m]         | 30       |          |                |          |          |  |
| Lw [m]         | 6,11     |          |                |          |          |  |
| e [m]          | 0,2      |          |                |          |          |  |
| $\phi_e$ [1/m] | 5,09E-04 |          |                |          |          |  |
|                | Suelo B  |          |                | Suelo C  |          |  |
| $\delta u$ [m] | 0,1003   |          | $\delta u$ [m] | 0,1323   |          |  |
| Fórmula        | 21.7 (a) | 21.7 (b) | Fórmula        | 21.7 (a) | 21.7 (b) |  |
| $\phi_u$ [1/m] | 1,09E-03 | 1,06E-03 | $\phi_u$ [1/m] | 1,44E-03 | 1,42E-03 |  |
| $\epsilon_c$   | 1,62E-03 | 1,59E-03 | $\epsilon_c$   | 1,96E-03 | 1,93E-03 |  |
| $\epsilon_s$   | 4,79E-03 | 4,77E-03 | $\epsilon_s$   | 6,50E-03 | 6,39E-03 |  |
| c [m]          | 1,5189   | 1,5025   | c [m]          | 1,3924   | 1,3941   |  |

#### Dirección -Y

| Muro           | C6       |          |                |          | Suelo C  |  |
|----------------|----------|----------|----------------|----------|----------|--|
| Hw [m]         | 30       |          |                |          |          |  |
| Lw [m]         | 2,63     |          |                |          |          |  |
| e [m]          | 0,2      |          |                |          |          |  |
| $\phi_e$ [1/m] | 1,22E-03 |          |                |          |          |  |
|                | Suelo B  |          |                | Suelo C  |          |  |
| $\delta u$ [m] | 0,1003   |          | $\delta u$ [m] | 0,1323   |          |  |
| Fórmula        | 21.7 (a) | 21.7 (b) | Fórmula        | 21.7 (a) | 21.7 (b) |  |
| $\phi_u$ [1/m] | 2,54E-03 | 2,46E-03 | $\phi_u$ [1/m] | 3,35E-03 | 3,29E-03 |  |
| $\epsilon_c$   | 1,89E-03 | 1,84E-03 | $\epsilon_c$   | 2,29E-03 | 2,26E-03 |  |
| $\epsilon_s$   | 4,74E-03 | 4,48E-03 | $\epsilon_s$   | 6,41E-03 | 6,26E-03 |  |
| c [m]          | 0,7212   | 0,7366   | c [m]          | 0,6659   | 0,6711   |  |

**Dirección Y**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>C7</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 30              |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 4,1             |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 9,62E-04        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,1003          |                 | 0,1323          |                                 |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 1,63E-03        | 1,88E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 2,15E-03   2,42E-03             |
| <b>εc</b>       | 2,85E-03        | 3,22E-03        | <b>εc</b>       | 3,68E-03   4,13E-03             |
| <b>εs</b>       | 3,77E-03        | 4,40E-03        | <b>εs</b>       | 5,05E-03   5,71E-03             |
| <b>c [m]</b>    | 1,7233          | 1,6903          | <b>c [m]</b>    | 1,6861   1,6789                 |

**Dirección Y**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>C8</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 30              |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 3,05            |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 1,31E-03        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,1003          |                 | 0,1323          |                                 |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 2,19E-03        | 2,55E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 2,89E-03   3,27E-03             |
| <b>εc</b>       | 2,87E-03        | 3,29E-03        | <b>εc</b>       | 3,69E-03   4,14E-03             |
| <b>εs</b>       | 3,71E-03        | 4,40E-03        | <b>εs</b>       | 5,00E-03   5,59E-03             |
| <b>c [m]</b>    | 1,2867          | 1,2621          | <b>c [m]</b>    | 1,2526   1,2552                 |

**Dirección -Y**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>C7</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 30              |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 4,1             |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 3,52E-04        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,1003          |                 | 0,1323          |                                 |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 1,63E-03        | 1,20E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 2,15E-03   1,74E-03             |
| <b>εc</b>       | 2,05E-04        | 8,68E-05        | <b>εc</b>       | 3,12E-04   2,30E-04             |
| <b>εs</b>       | 6,41E-03        | 4,76E-03        | <b>εs</b>       | 8,54E-03   6,91E-03             |
| <b>c [m]</b>    | 0,1237          | 0,0716          | <b>c [m]</b>    | 0,1410   0,1289                 |

**Dirección Y**

|                 |                 |                 |                 |                                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Muro</b>     | <b>C8</b>       |                 |                 |                                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 30              |                 |                 |                                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 3,05            |                 |                 |                                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 7,50E-04        |                 |                 |                                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>  |                                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,1003          |                 | 0,1323          |                                 |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 2,19E-03        | 1,90E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 2,89E-03   2,61E-03             |
| <b>εc</b>       | 7,90E-04        | 7,22E-04        | <b>εc</b>       | 1,10E-03   8,60E-04             |
| <b>εs</b>       | 5,84E-03        | 5,07E-03        | <b>εs</b>       | 9,92E-03   7,15E-03             |
| <b>c [m]</b>    | 0,3515          | 0,3677          | <b>c [m]</b>    | 0,2945   0,3167                 |

**Dirección X**

|                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>     | <b>C3</b>       |                 |                 |                 |                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 30              |                 |                 |                 |                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 0,98            |                 |                 |                 |                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                 |                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 3,96E-03        |                 |                 |                 |                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 |                 | <b>Suelo C</b>  |                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,0565          |                 | <b>δu [m]</b>   | 0,0729          |                 |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 3,84E-03        | 5,17E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 4,96E-03        | 6,29E-03        |
| <b>εc</b>       | 1,70E-03        | 2,09E-03        | <b>εc</b>       | 2,04E-03        | 2,41E-03        |
| <b>εs</b>       | 1,92E-03        | 2,80E-03        | <b>εs</b>       | 2,67E-03        | 3,52E-03        |
| <b>c [m]</b>    | 0,4142          | 0,3761          | <b>c [m]</b>    | 0,3809          | 0,3578          |

**Dirección -X**

|                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>     | <b>C3</b>       |                 |                 |                 |                 |
| <b>Hw [m]</b>   | 30              |                 |                 |                 |                 |
| <b>Lw [m]</b>   | 0,98            |                 |                 |                 |                 |
| <b>e [m]</b>    | 0,2             |                 |                 |                 |                 |
| <b>φe [1/m]</b> | 3,23E-03        |                 |                 |                 |                 |
|                 | <b>Suelo B</b>  |                 |                 | <b>Suelo C</b>  |                 |
| <b>δu [m]</b>   | 0,0565          |                 | <b>δu [m]</b>   | 0,0729          |                 |
| <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b> | 3,84E-03        | 4,75E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 4,96E-03        | 5,87E-03        |
| <b>εc</b>       | 1,19E-03        | 1,36E-03        | <b>εc</b>       | 1,40E-03        | 1,54E-03        |
| <b>εs</b>       | 2,45E-03        | 3,16E-03        | <b>εs</b>       | 3,30E-03        | 4,97E-03        |
| <b>c [m]</b>    | 0,2869          | 0,2641          | <b>c [m]</b>    | 0,2621          | 0,2077          |

➤ **Resultados para  $I_p$  según Bohl y Adebar (B&A)**

**Dirección Y**

|                    |                 |                 |                 |                 |                 |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>        | <b>C1</b>       |                 |                 |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b> | 5,05            |                 |                 |                 |                 |
| <b>z [m]</b>       | 10,00           |                 |                 |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>      | 0,823           |                 |                 |                 |                 |
|                    | <b>Suelo B</b>  |                 |                 | <b>Suelo C</b>  |                 |
| <b>Fórmula</b>     | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b>    | 4,06E-03        | 3,33E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 5,36E-03        | 4,64E-03        |
| <b>εc</b>          | 3,98E-04        | 3,59E-04        | <b>εc</b>       | 4,63E-04        | 4,28E-04        |
| <b>εs</b>          | 7,42E-03        | 6,07E-03        | <b>εs</b>       | 9,81E-03        | 8,49E-03        |
| <b>c [m]</b>       | 0,094           | 0,104           | <b>c [m]</b>    | 0,084           | 0,089           |

**Dirección -Y**

|                    |                 |                 |                 |                 |                 |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>        | <b>C2</b>       |                 |                 |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b> | 8,83            |                 |                 |                 |                 |
| <b>z [m]</b>       | 10,00           |                 |                 |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>      | 1,494           |                 |                 |                 |                 |
|                    | <b>Suelo B</b>  |                 |                 | <b>Suelo C</b>  |                 |
| <b>Fórmula</b>     | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>  | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b>φu [1/m]</b>    | 2,24E-03        | 1,60E-03        | <b>φu [1/m]</b> | 2,95E-03        | 2,33E-03        |
| <b>εc</b>          | 2,70E-03        | 2,10E-03        | <b>εc</b>       | 3,45E-03        | 2,69E-03        |
| <b>εs</b>          | 1,04E-02        | 7,24E-03        | <b>εs</b>       | 1,38E-02        | 1,03E-02        |
| <b>c [m]</b>       | 1,240           | 1,351           | <b>c [m]</b>    | 1,202           | 1,245           |

**Dirección Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>C6</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 28,26           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 12,50           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 0,663           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 5,04E-03        | 4,06E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 6,65E-03        | 5,69E-03        |
| <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 7,08E-03        | 4,00E-03        | <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 1,51E-02        | 1,05E-02        |
| <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 6,10E-03        | 6,50E-03        | <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 2,15E-03        | 4,20E-03        |
| <b>c [m]</b>                     | 1,359           | 0,964           | <b>c [m]</b>                     | 2,215           | 1,807           |

**Dirección -Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>C6</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 13,19           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 12,50           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 0,923           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 3,62E-03        | 2,98E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 4,78E-03        | 4,15E-03        |
| <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 2,42E-03        | 2,10E-03        | <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 3,05E-03        | 2,70E-03        |
| <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 7,00E-03        | 5,63E-03        | <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 9,36E-03        | 8,08E-03        |
| <b>c [m]</b>                     | 0,650           | 0,688           | <b>c [m]</b>                     | 0,622           | 0,634           |

**Dirección Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>C7</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 32,15           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 12,50           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 0,748           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 4,47E-03        | 3,43E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 5,89E-03        | 4,87E-03        |
| <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 1,83E-02        | 1,20E-02        | <b><math>\epsilon_c</math></b>   | >0,0194         | >0,0194         |
| <b><math>\epsilon_s</math></b>   | -2,75E-05       | 1,94E-03        | <b><math>\epsilon_s</math></b>   | -               | -               |
| <b>c [m]</b>                     | 4,006           | 3,443           | <b>c [m]</b>                     | -               | -               |

**Dirección -Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>C7</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | -5,05           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 12,50           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 1,335           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 2,50E-03        | 1,64E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 3,30E-03        | 2,46E-03        |
| <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 3,66E-04        | 2,07E-04        | <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 5,12E-04        | 3,58E-04        |
| <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 9,79E-03        | 6,46E-03        | <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 1,29E-02        | 9,58E-03        |
| <b>c [m]</b>                     | 0,144           | 0,124           | <b>c [m]</b>                     | 0,153           | 0,144           |

**Dirección Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>C8</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | 31,72           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 10,00           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 0,582           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 5,75E-03        | 4,52E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 7,58E-03        | 6,37E-03        |
| <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 1,67E-02        | 9,84E-03        | <b><math>\epsilon_c</math></b>   | >0,0228         | 1,89E-02        |
| <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 7,01E-04        | 2,75E-03        | <b><math>\epsilon_s</math></b>   | -               | 2,81E-04        |
| <b>c [m]</b>                     | 2,831           | 2,306           | <b>c [m]</b>                     | -               | 2,907           |

**Dirección -Y**

|                                  |                 |                 |                                  |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Muro</b>                      | <b>C8</b>       |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Pu/fcAg [%]</b>               | -4,93           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>z [m]</b>                     | 10,00           |                 |                                  |                 |                 |
| <b>Lp [m]</b>                    | 1,028           |                 |                                  |                 |                 |
|                                  | <b>Suelo B</b>  |                 | <b>Suelo C</b>                   |                 |                 |
| <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> | <b>Fórmula</b>                   | <b>21.7 (a)</b> | <b>21.7 (b)</b> |
| <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 3,25E-03        | 2,44E-03        | <b><math>\phi_u</math> [1/m]</b> | 4,29E-03        | 3,49E-03        |
| <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 1,03E-03        | 8,45E-04        | <b><math>\epsilon_c</math></b>   | 1,23E-03        | 1,06E-03        |
| <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 8,95E-03        | 6,51E-03        | <b><math>\epsilon_s</math></b>   | 0,0117          | 9,47E-03        |
| <b>c [m]</b>                     | 0,304           | 0,339           | <b>c [m]</b>                     | 0,281           | 0,298           |

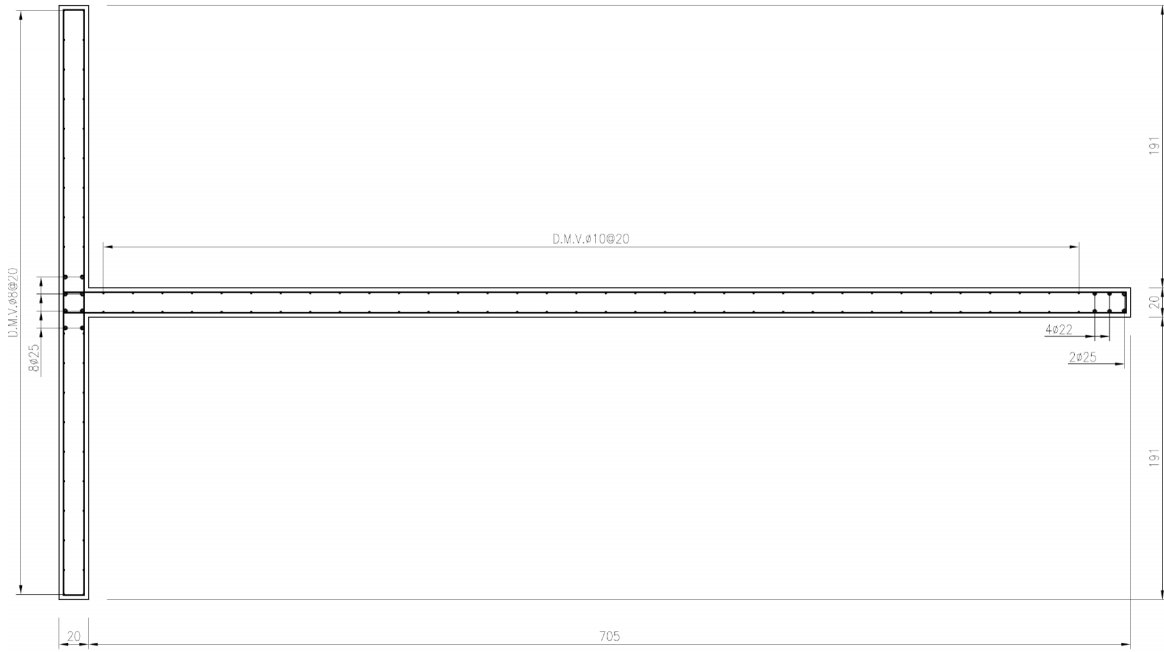




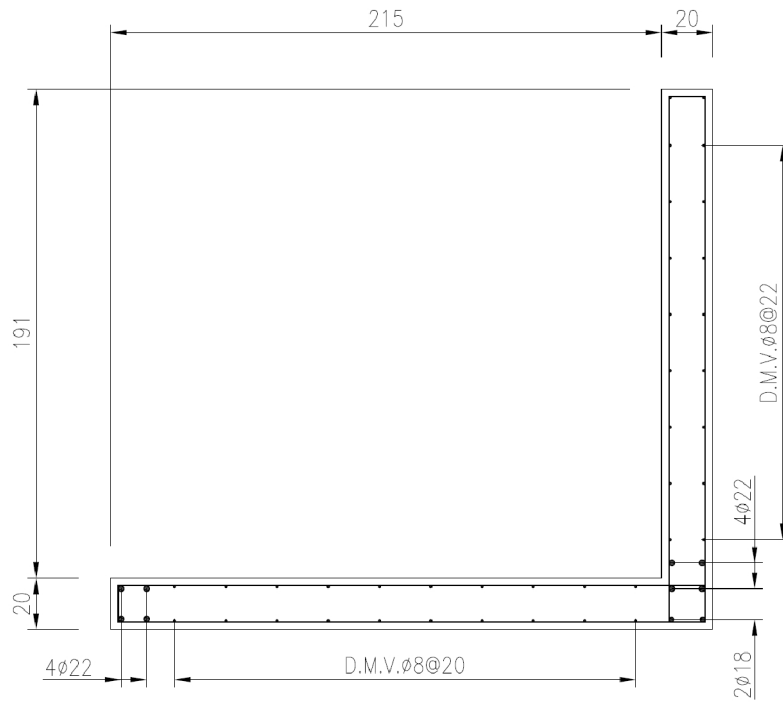
**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

## **ANEXO B: PLANTA DE MUROS**

# I. EDIFICIO A

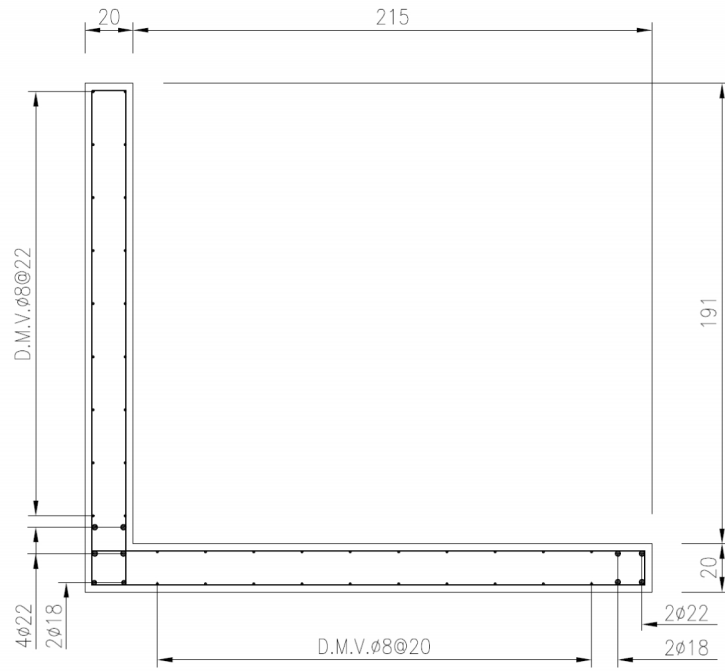


PLANTA A1

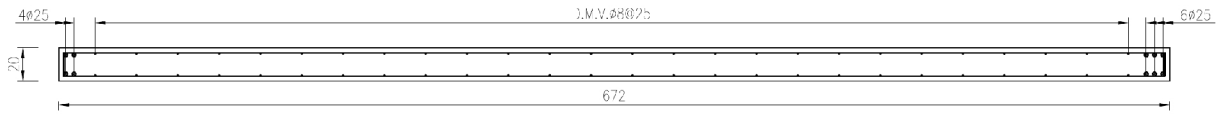


PLANTA A2

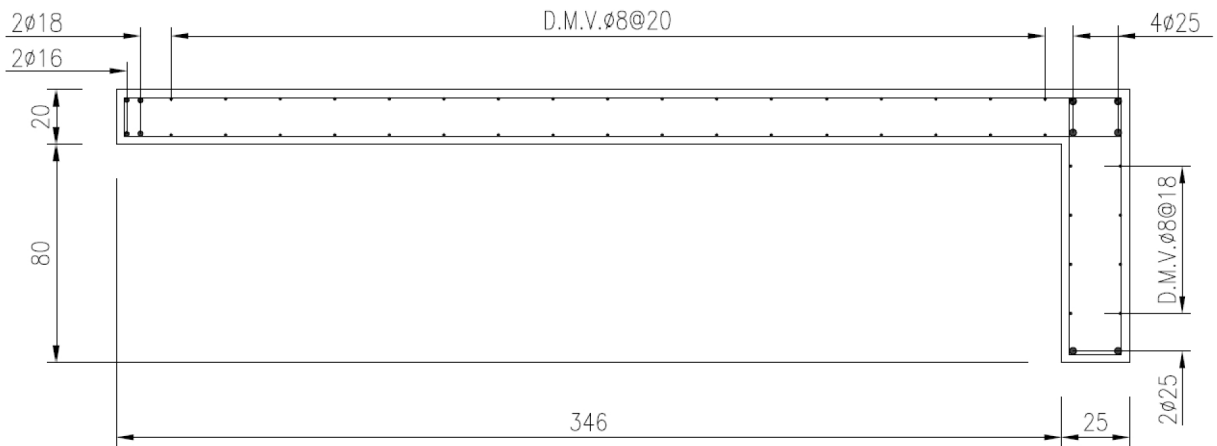




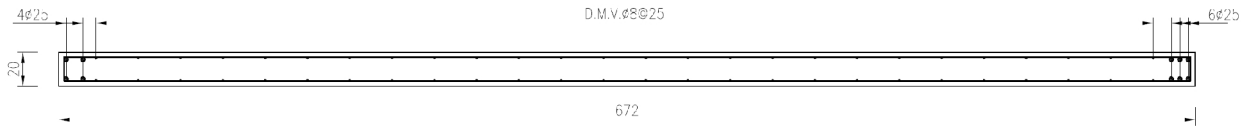
PLANTA A3



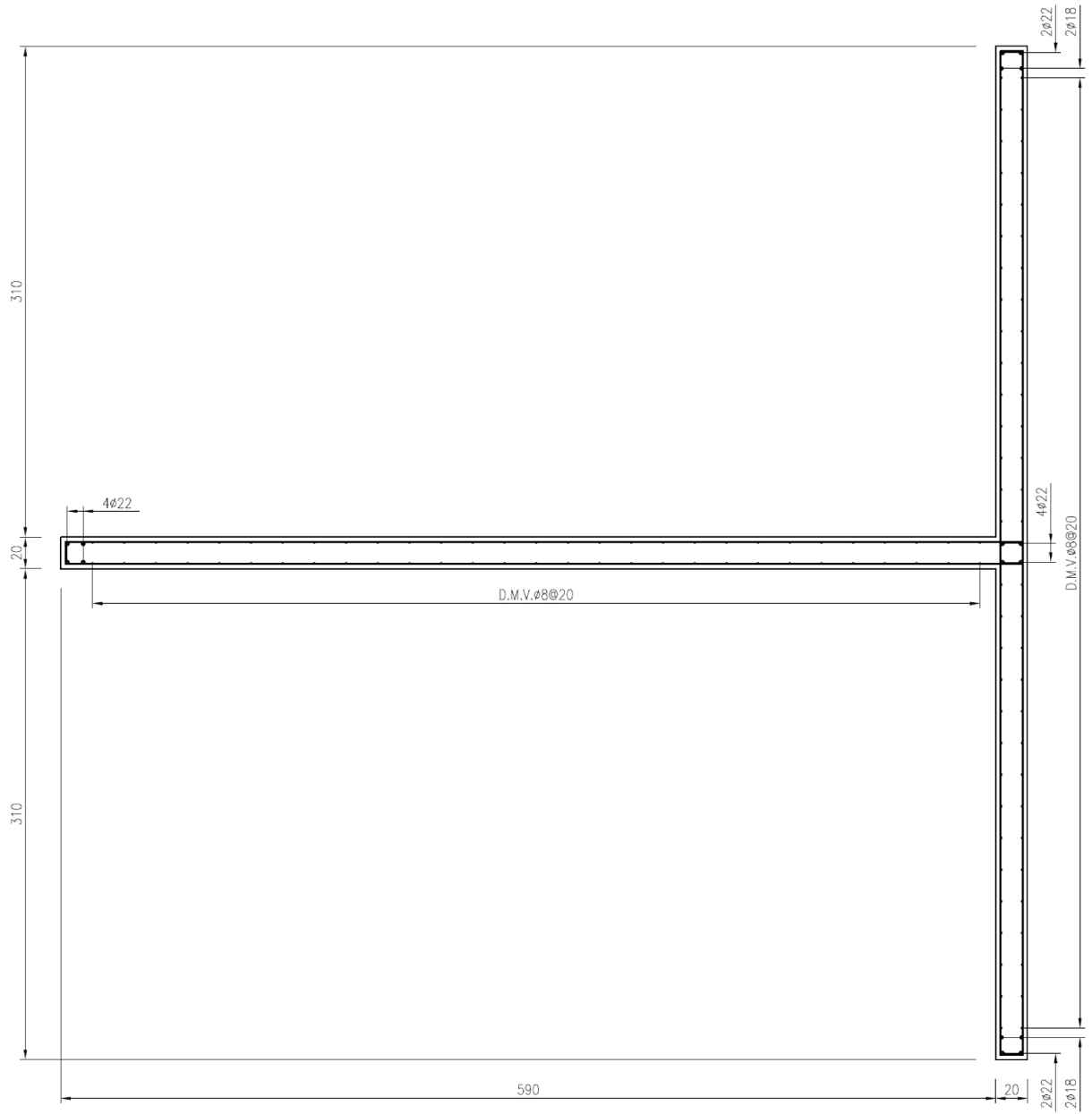
PLANTA A4



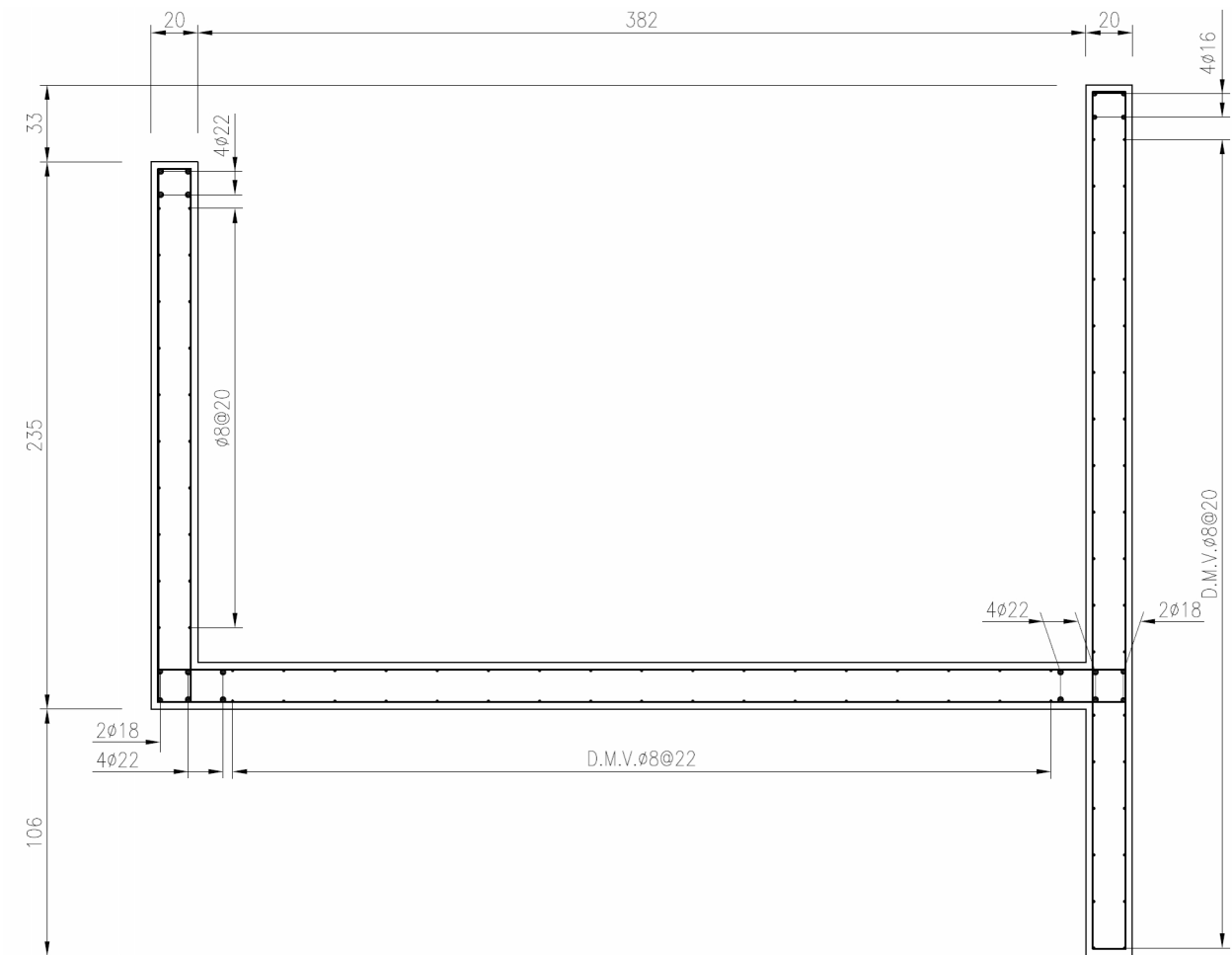
PLANTA A5



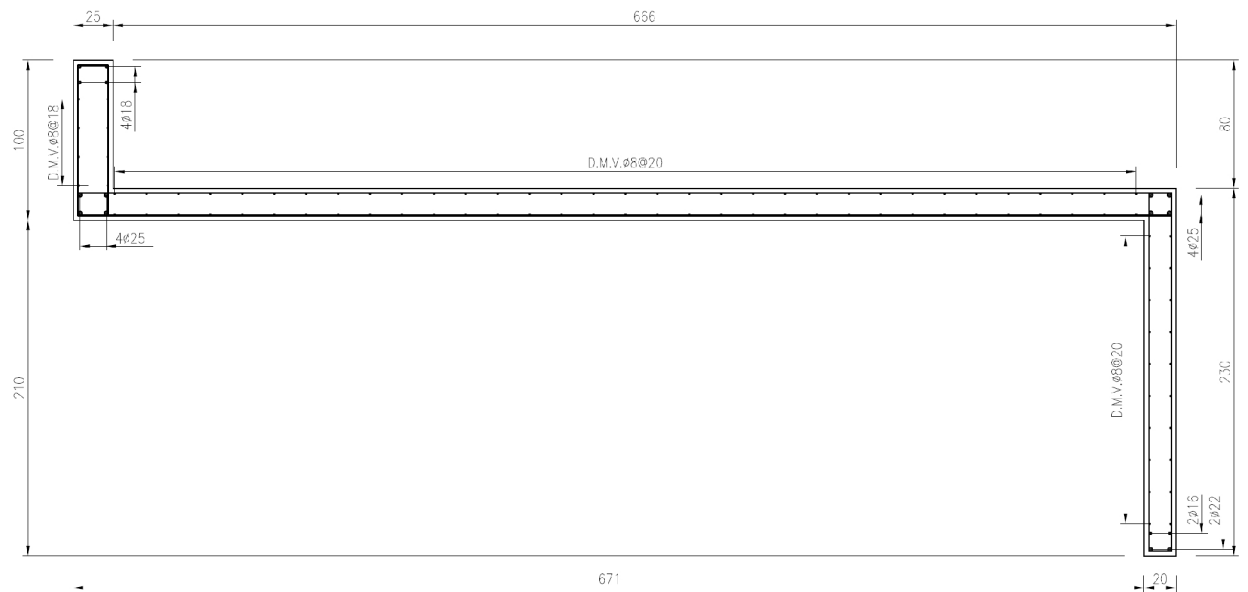
PLANTA A7



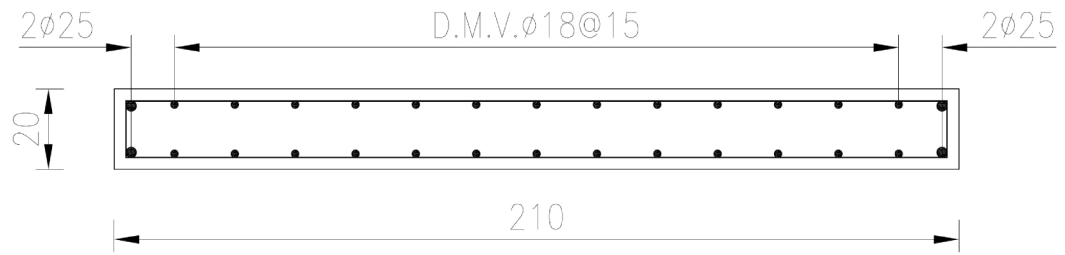
PLANTA A12



PLANTA A13

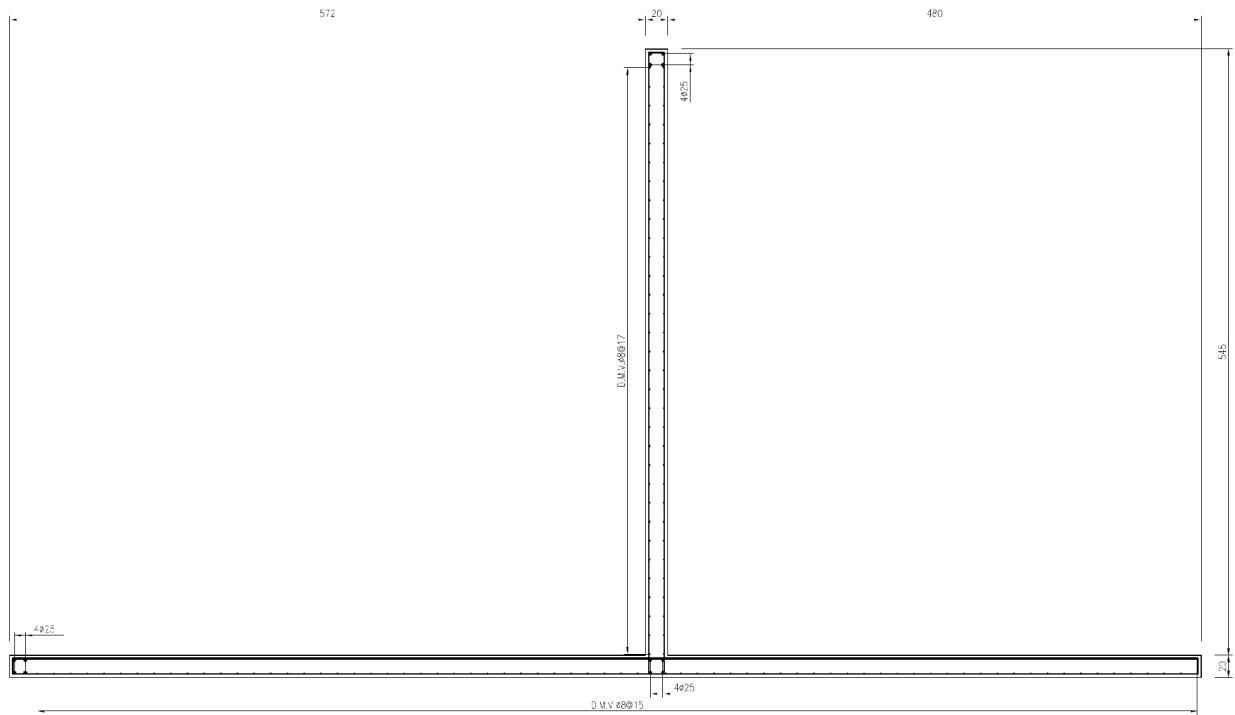


PLANTA A18

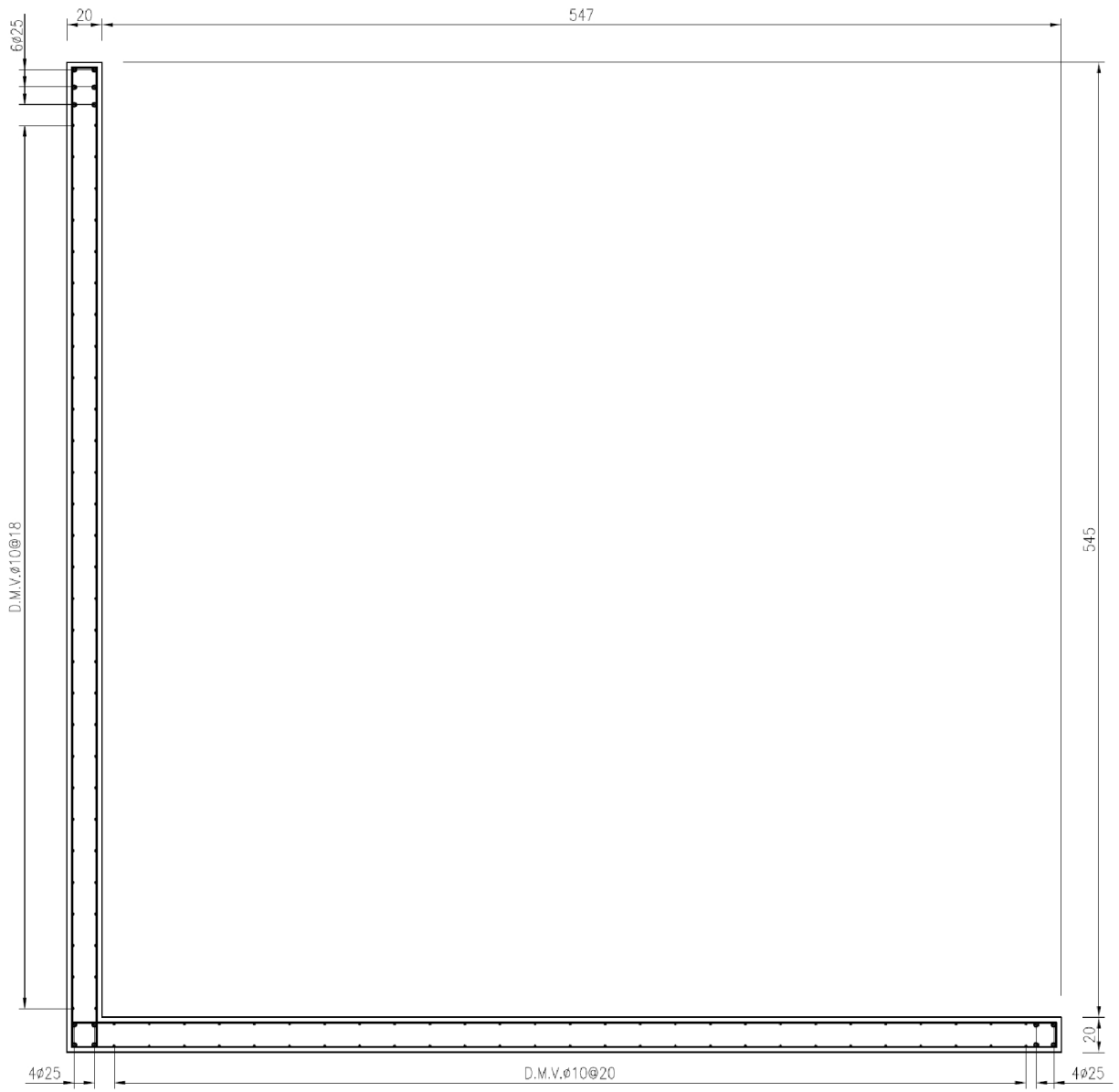


PLANTA A20

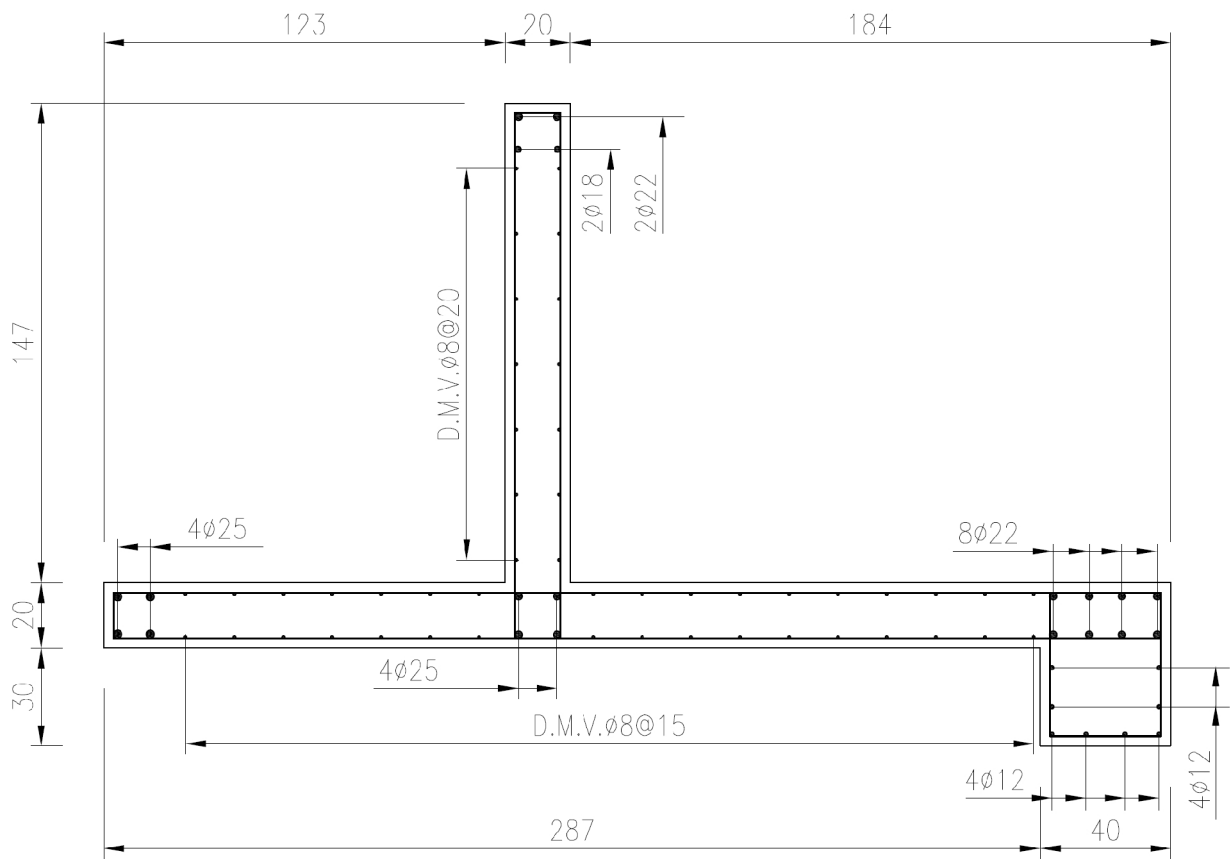
**II. EDIFICIO B**



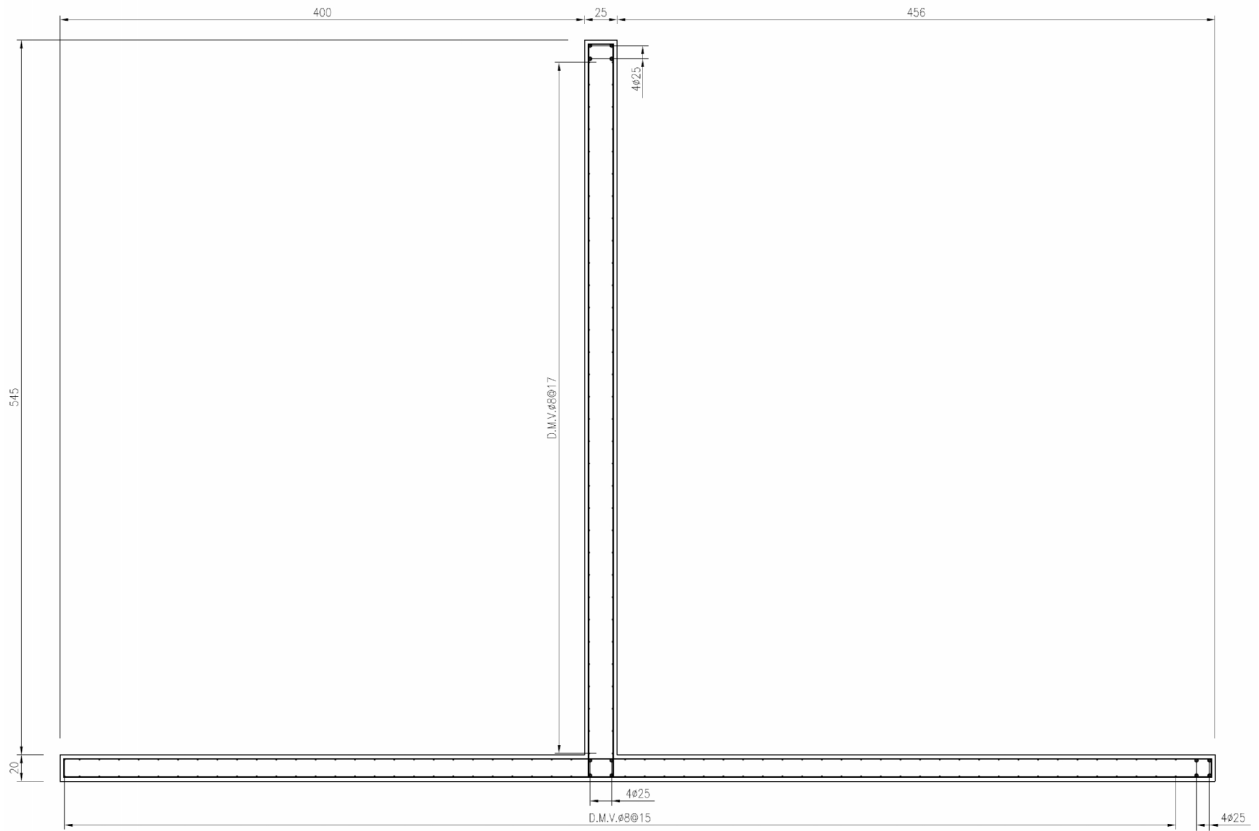
PLANTA B1



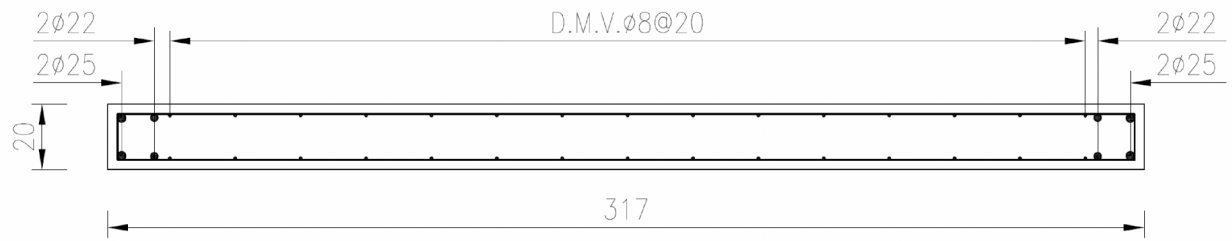
PLANTA B2



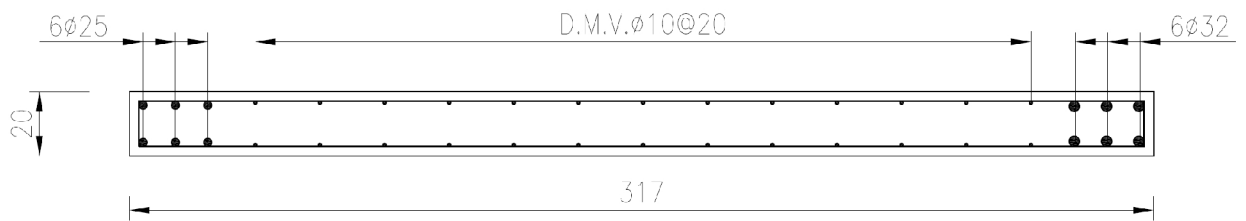
PLANTA B3



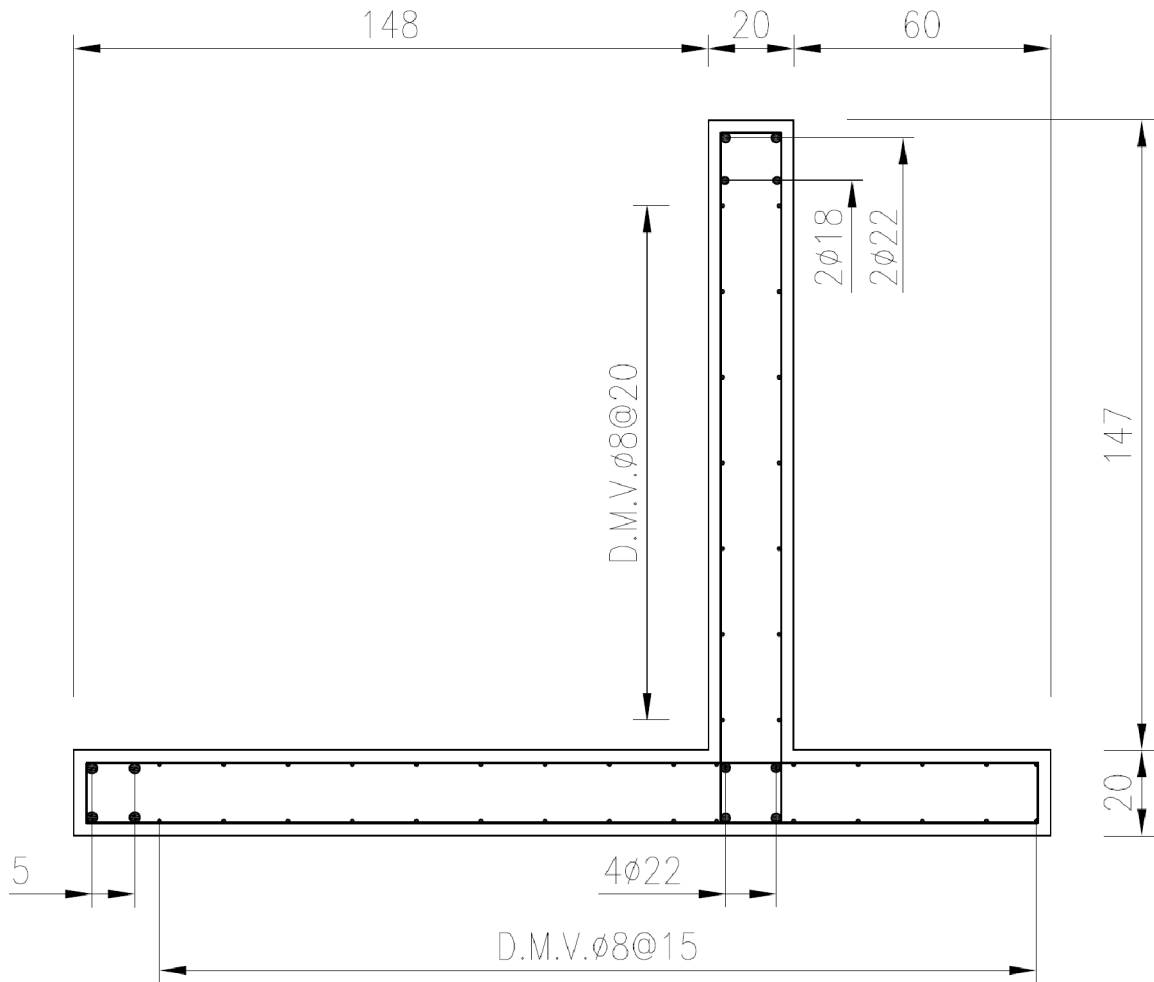
PLANTA B4



PLANTA B5

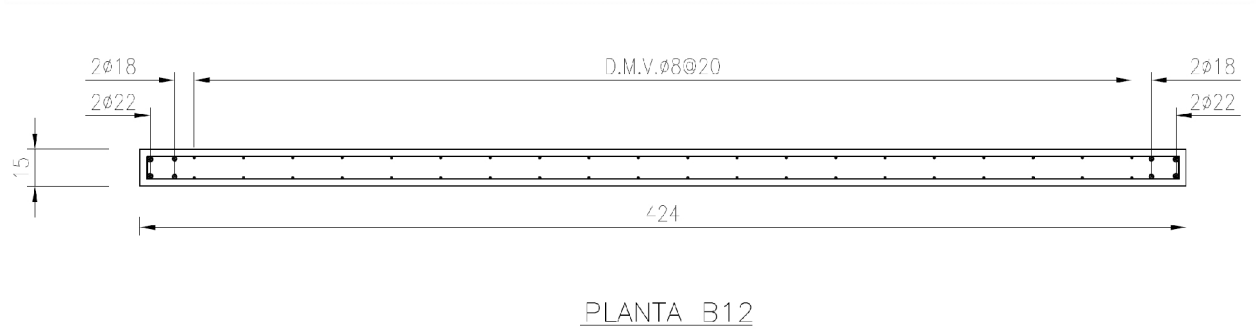
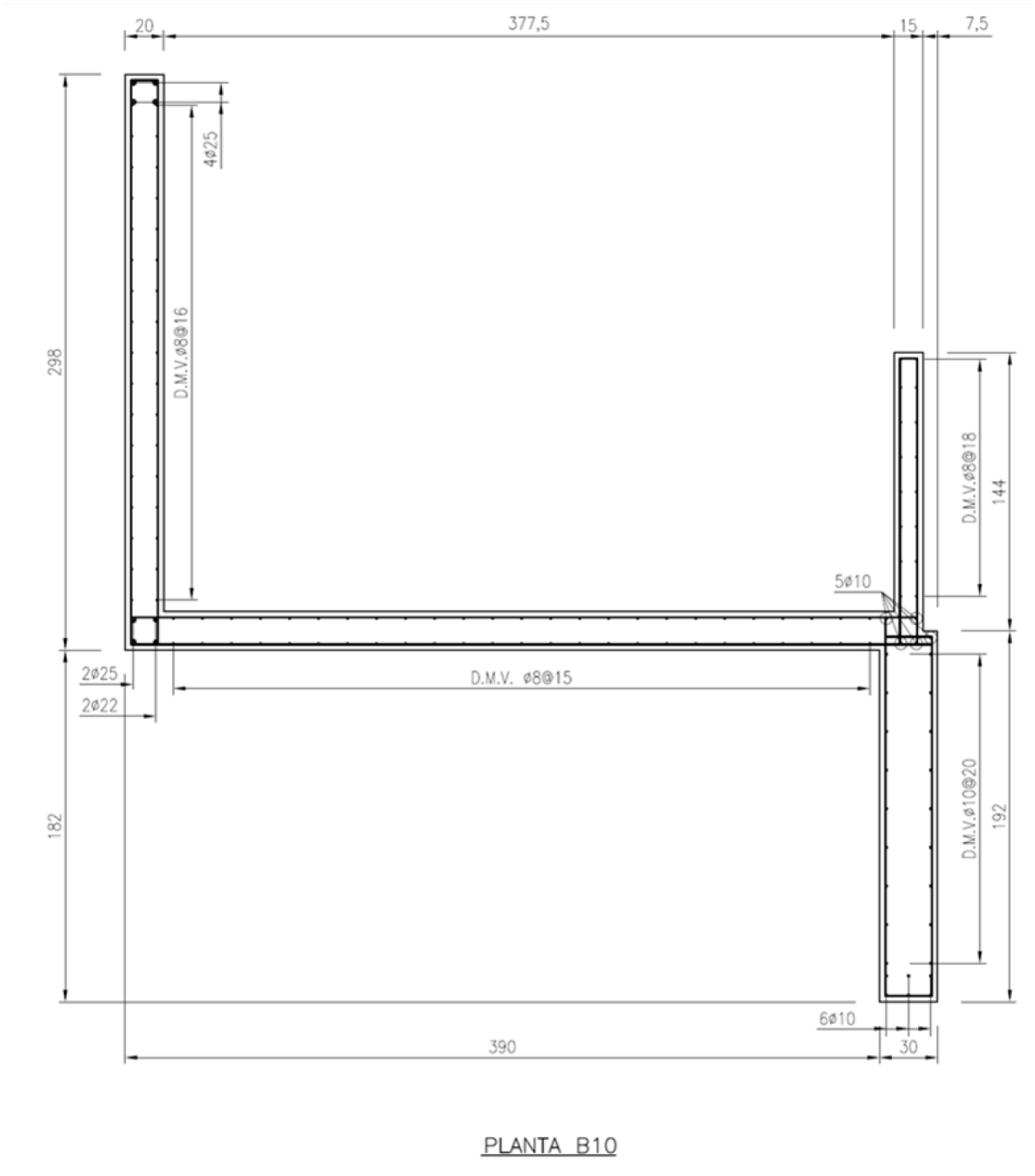


PLANTA B6

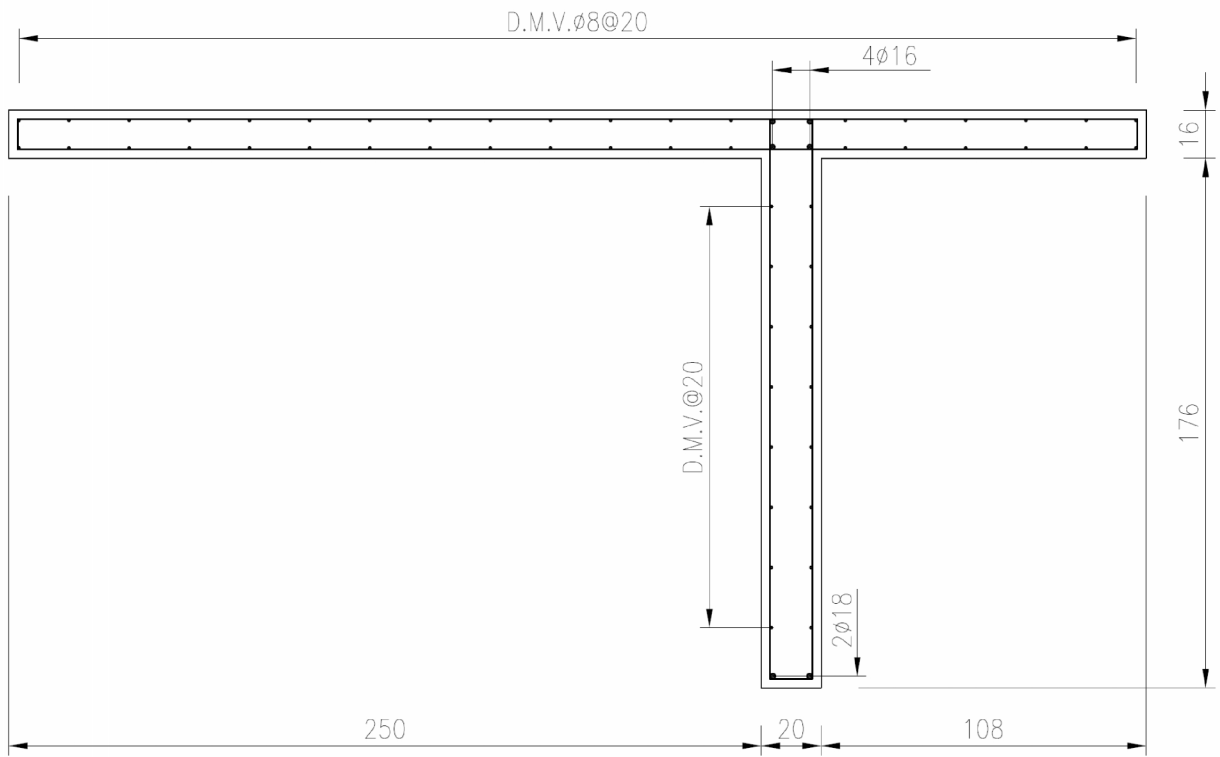


PLANTA B7

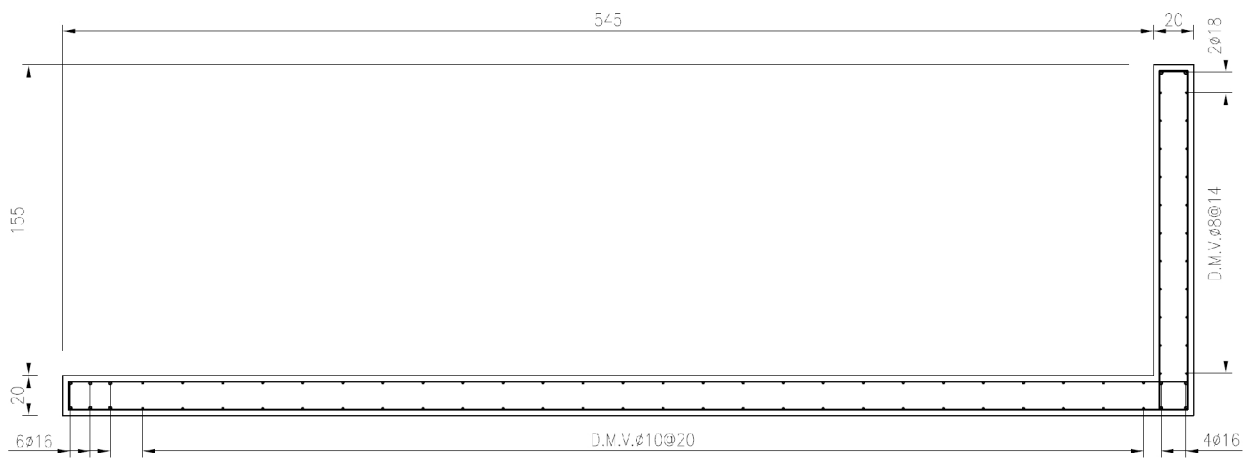




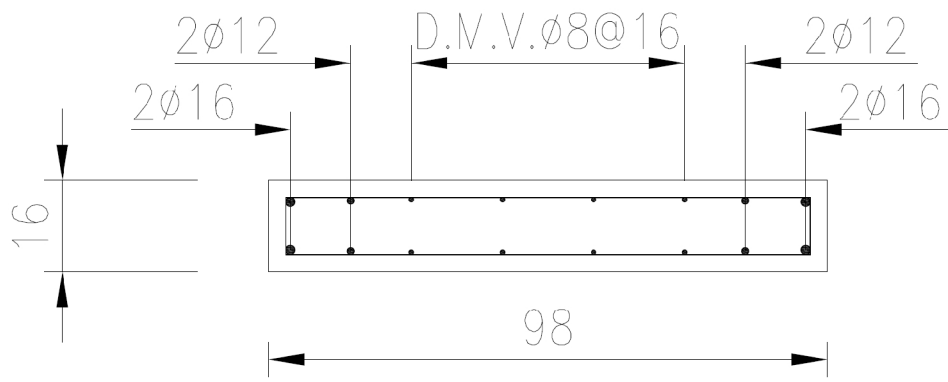
### III. EDIFICIO C



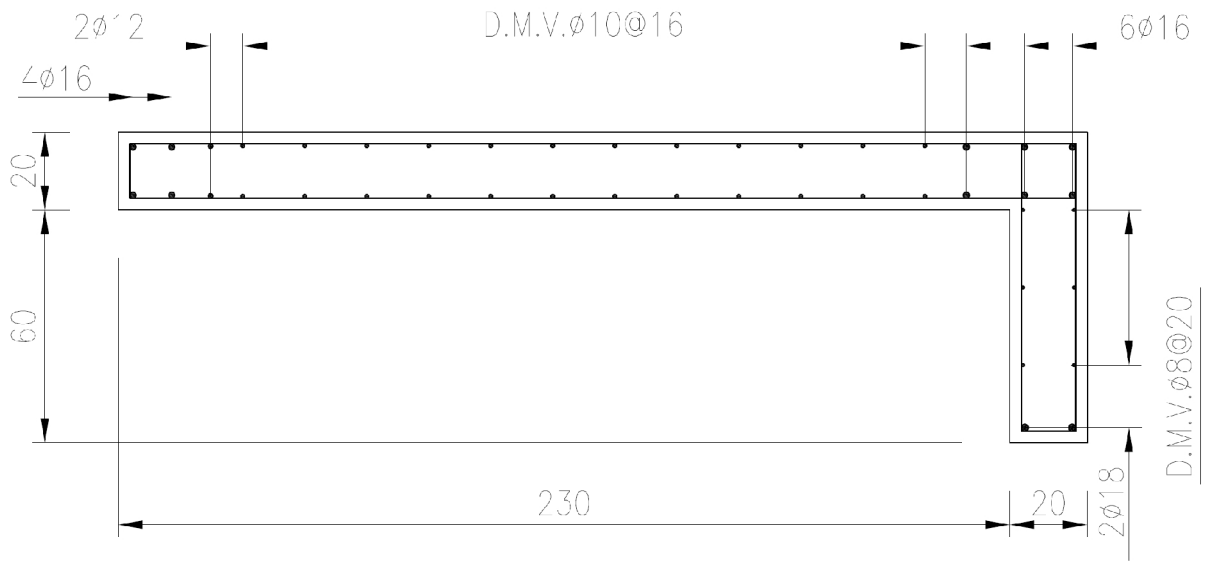
PLANTA C1



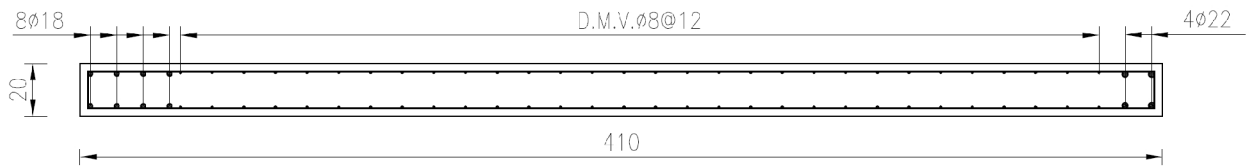
PLANTA C2



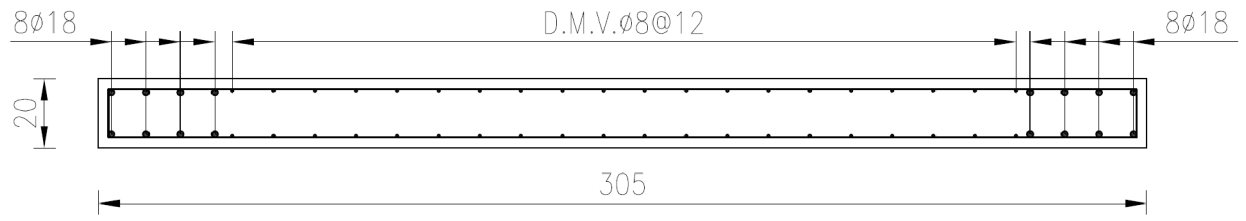
PLANTA C3



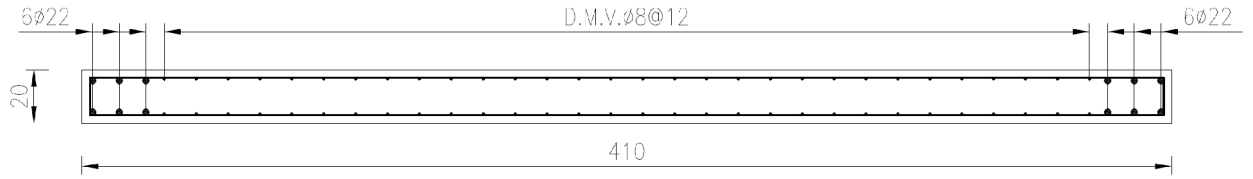
PLANTA C4



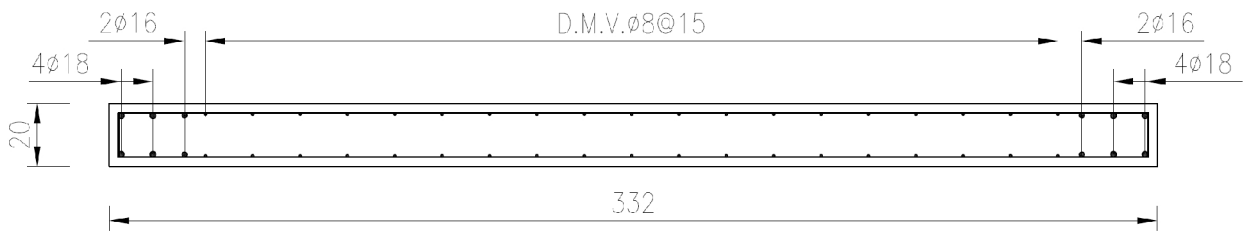
PLANTA C7



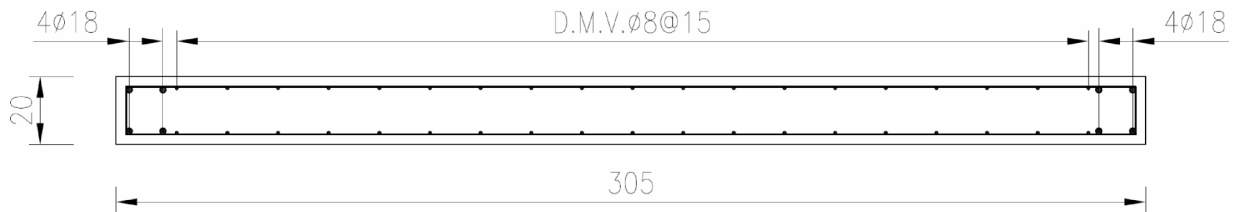
PLANTA C8



PLANTA C12



PLANTA C26



PLANTA C30