



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

---

BÚSQUEDA DE PATRONES GEOMÉTRICOS Y MECÁNICOS EN  
EDIFICIOS QUE HAN PERDIDO PARTE DE SU SOPORTE

TUTOR: MARIO PAPANONI  
C.I. 270.433

AUTORES: FRANK HERRERA.  
C.I. 19.172.794  
ARON POLLNER.  
C.I. 18.039.585

CARACAS, OCTUBRE DE 2011.

## **Agradecimientos**

*A Dios, por darnos la fuerza y sabiduría para seguir adelante.*

*A nuestros padres por darnos la enseñanza y apoyo incondicional  
para alcanzar nuestras metas.*

*A nuestros hermanos por ser ejemplo y motivación.*

*A nuestros familiares, amigos y todas aquellas personas que de  
alguna forma nos ayudaron a realizar este trabajo.*

*A nuestro tutor Mario Paparoni quien nos planteó el tema de la tesis,  
y nos asesoró durante todo el proceso de realización  
dándonos libertad para trabajar a nuestra manera.  
admiramos su comprensión, su paciencia,  
y sobre todo su voluntad  
para atendernos.*

*A Luis, por acogernos en su hogar, poner en disposición todo aquello que tenía  
a su alcance y demostrarnos que hasta las metas más complejas se pueden  
lograr con madurez, determinación y constancia.*

*A Martha, por habernos brindado su apoyo y consentimiento.*

**Frank y Aron.**

## Sinopsis

El presente trabajo surge de la necesidad de explicar en forma descriptiva, el comportamiento de un edificio aporticado de acero estructural cuando se encuentra sometido a reacomodo de fuerzas internas por la pérdida de soporte en la base de una de sus columnas.

Mediante los conocimientos de estructuras adquiridos en el pre-grado, se toma como punto de partida, la definición de aquellos patrones geométricos y mecánicos que serán la base para entender y describir el comportamiento de un edificio cuando pierde parte de su soporte.

Los patrones mecánicos elegidos son las siguientes solicitaciones: momento, corte y axial. Considerando entonces que mientras mayor sean las magnitudes de éstos más grave será el caso en estudio.

Como patrón geométrico se elige los desplazamientos verticales. Estos valores se utilizan por si solos, para determinar la gravedad de los casos, pero también se utilizan para calcular la distorsión angular.

Definidos los patrones para comparar la gravedad de distintos casos, se procede a elegir los que se consideran más representativos, para realizar el estudio.

Para simular el efecto de pérdida de soporte se eliminan todas las restricciones en la parte inferior de la columna elegida para cada caso.

Se elige entonces para ver cómo afecta la ubicación de la pérdida de soporte - las columnas de centro (ya que por ser simétrica va a servir de comparación con cualquier otra alternativa), fachada y esquina. Para ver el efecto de la altura del edificio, se comparan tres de éstos: de 5,10 y 15 pisos.

Debido a la gran cantidad de resultados arrojados por las simulaciones, se terminan por mostrar sólo los que se consideraron relevantes para el estudio.

Luego de observar y analizar los resultados, se concluye que el orden de sensibilidad o peligrosidad de la ubicación de la columna que pierde soporte es: Primero la del centro, luego la central de fachada perpendicular a las correas, después la central de fachada paralela a las correas y finalmente la de esquina.

Con respecto a la influencia de la altura, se nota que mientras más alto sea el edificio, más sensible será por la pérdida de soporte.

Finalmente se concluye entonces que, los miembros más cercanos a la columna que pierde soporte son los que absorben la mayor carga y por lo tanto los más afectados. Ésto visto, tanto en planta como en perfil.

Por último se establece que el peso soportado es el factor determinante, a la hora de entender el orden de gravedad de los casos.

## Tabla de contenido

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Agradecimientos</b> .....                  | <b>i</b>    |
| <b>Sinopsis</b> .....                         | <b>ii</b>   |
| <b>Tabla de figuras</b> .....                 | <b>v</b>    |
| <b>Tabla de Anexos</b> .....                  | <b>viii</b> |
| <b>CAPÍTULO I</b> .....                       | <b>1</b>    |
| <b>1.1 IMPORTANCIA Y MOTIVACIÓN</b> .....     | <b>1</b>    |
| <b>1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO</b> .....          | <b>2</b>    |
| <b>1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO</b> .....        | <b>4</b>    |
| <b>CAPÍTULO II</b> .....                      | <b>5</b>    |
| <b>2.1 MARCO TEÓRICO</b> .....                | <b>5</b>    |
| 2.1.1 Antecedentes de la investigación .....  | <b>5</b>    |
| 2.1.2 Bases Teóricas .....                    | <b>8</b>    |
| <b>CAPÍTULO III</b> .....                     | <b>11</b>   |
| <b>3.1 METODOLOGÍA</b> .....                  | <b>11</b>   |
| 3.1.1 Configuración de los edificios:.....    | <b>11</b>   |
| 3.1.2 Procedimiento para la simulación: ..... | <b>12</b>   |
| <b>CAPÍTULO IV</b> .....                      | <b>18</b>   |
| <b>4.1 RESULTADOS</b> .....                   | <b>18</b>   |
| <b>4.2 DISCUSIÓN</b> .....                    | <b>46</b>   |
| <b>CAPÍTULO V</b> .....                       | <b>54</b>   |
| <b>5.1 CONCLUSIONES</b> .....                 | <b>54</b>   |
| <b>5.2 RECOMENDACIONES</b> .....              | <b>55</b>   |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....                     | <b>57</b>   |
| <b>ANEXOS</b> .....                           | <b>59</b>   |

## Tabla de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Modelo del edificio de 5 pisos. Fuente: Etabs. ....   | 15 |
| Figura 2. Modelo del edificio de 10 pisos. Fuente: Etabs. ....  | 15 |
| Figura 3. Modelo del edificio de 15 pisos. Fuente: Etabs. ....  | 16 |
| Figura 4. Identificación en planta de las columnas a estudiar. ....   | 17 |
| Figura 5. Diagramas de corte en kgf, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso ( F $\perp$ ) y Caso (0) superpuestos. ....     | 24 |
| Figura 6. Diagramas de momento en kgf-m, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso ( F $\perp$ ) y Caso (0) superpuestos. .... | 24 |
| Figura 7. Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico A para el edificio de 5 pisos. Caso ( F $\perp$ ) y Caso (0) superpuestos. ....                            | 25 |
| Figura 8. Diagramas de corte en kgf, del pórtico A para el edificio de 5 pisos. Caso ( F $\perp$ ) y Caso (0) superpuestos. ....                                | 25 |
| Figura 9. Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico A para el edificio de 5 pisos. Caso ( F $\perp$ ) y Caso (0) superpuestos. ....                         | 26 |
| Figura 10. Mapa de desplazamientos verticales del piso 5, para el edificio de 5 pisos. Caso ( F $\perp$ ). ....   | 27 |
| Figura 11. Diagramas de corte en kgf, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso ( F // ) y Caso (0) superpuestos. ....         | 28 |
| Figura 12. Diagramas de momento en kgf-m, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso ( F // ) y Caso (0) superpuestos. ....     | 28 |
| Figura 13. Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico 1 para el edificio de 5 pisos. Caso ( F // ) y Caso (0) superpuestos. ....                                | 29 |
| Figura 14. Diagramas de corte en kgf, del pórtico 1 para el edificio de 5 pisos. Caso ( F // ) y Caso (0) superpuestos. ....                                    | 29 |
| Figura 15. Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico 1 para el edificio de 5 pisos. Caso ( F // ) y Caso (0) superpuestos. ....                             | 30 |
| Figura 16. Mapa de desplazamientos verticales del piso 5, para el edificio de 5 pisos. Caso ( F // ). ....  | 31 |
| Figura 17. Diagramas de momento en kgf-m, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso (E) y Caso (0) superpuestos. ....          | 32 |
| Figura 18. Diagramas de corte en kgf, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso (E) y Caso (0) superpuestos. ....              | 32 |
| Figura 19. Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico 1 para el edificio de 5 pisos. Caso (E) y Caso (0) superpuestos. ....                                     | 33 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 20. Diagramas de corte en kgf, del pórtico 1 para el edificio de 5 pisos. Caso (E) y Caso (0) superpuestos. ....   | 33 |
| Figura 21. Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico 1 para el edificio de 5 pisos. Caso (E) y Caso (0) superpuestos. ....  | 34 |
| Figura 22. Mapa de desplazamientos verticales del piso 5, para el edificio de 5 pisos. Caso (E). ....   | 35 |
| Figura 23. Diagramas de corte en kgf, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....  | 36 |
| Figura 24. Diagramas de momento en kgf-m, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....                                    | 36 |
| Figura 25. Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico 3 para el edificio de 5 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....   | 37 |
| Figura 26. Diagramas de corte en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 5 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....   | 37 |
| Figura 27 Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 5 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....   | 38 |
| Figura 28 Mapa de desplazamientos verticales del piso 5, para el edificio de 5 pisos. Caso ( C ). ....  | 39 |
| Figura 29. Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico 3 para el edificio de 5 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....   | 40 |
| Figura 30. Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico 3 para el edificio de 10 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....  | 40 |
| Figura 31. Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico 3 para el edificio de 15 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....  | 40 |
| Figura 32. Diagramas de momento vs altura de los edificios de 5,10 y 15 pisos en los casos (C) y (0) para la viga B10 en el extremo C8. Fuente: Autores con Microsoft Office Excel. ....  | 41 |
| Figura 33. Diagramas de momento vs altura de los edificios de 5,10 y 15 pisos en los casos (C) y (0) para la viga B10 en el extremo C13. Fuente: Autores con Microsoft Office Excel. .... | 41 |
| Figura 34. Diagramas de corte en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 5 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....   | 42 |
| Figura 35. Diagramas de corte en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 10 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....  | 42 |
| Figura 36 Diagramas de corte en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 15 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....   | 42 |
| Figura 37. Diagramas de cortante vs altura de los edificios de 5,10 y 15 pisos en los casos (C) y (0) para la viga B10 en el extremo C8. Fuente: Autores con Microsoft Office Excel. .... | 43 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 38. Diagramas de cortante vs altura de los edificios de 5,10 y 15 pisos en los casos (C) y (0) para la viga B10 en el extremo C13. Fuente: Autores con Microsoft Office Excel. .... | 43 |
| Figura 39 Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 5 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....  | 44 |
| Figura 40 Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 10 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....   | 44 |
| Figura 41 Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 15 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos. ....   | 44 |
| Figura 42 Diagramas de axial vs altura de los edificios de 5,10 y 15 pisos en los casos (C) y (0) para la viga B10 en el extremo C13. Fuente: Autores con Microsoft Office Excel. ....     | 45 |
| Figura 43. Diagramas de axial vs altura de los edificios de 5,10 y 15 pisos en los casos (C) y (0) para la viga B10 en el extremo C8. Fuente: Autores con Microsoft Office Excel. ....     | 45 |

## Tabla de Anexos

|   |    |
|---|----|
| Anexo 1. Diagramas de cuerpo libre, corte, momento y deflexión de la viga B10 en el piso 1, para el edificio de 5 pisos. Caso (0) ..... | 60 |
| Anexo 2. Diagramas de cuerpo libre, corte, momento y deflexión de la viga B10 en el piso 1, para el edificio de 5 pisos. Caso (C) ..... | 60 |
| Anexo 3. Figura 10 superpuesta sobre Figura 6 .....   | 61 |
| Anexo 4. Figura 16 superpuesta sobre Figura 12 .....  | 62 |
| Anexo 5. Figura 22 superpuesta sobre Figura 18 .....  | 63 |
| Anexo 6. Figura 28 superpuesta sobre Figura 24 .....  | 64 |
| Anexo 8. Valores de DEMANDA/CAPACIDAD, edificio de 5 pisos, caso C, pórtico C. ....   | 65 |
| Anexo 7. Valores de DEMANDA/CAPACIDAD, edificio de 5 pisos, caso 0, pórtico C. ....   | 65 |
| Anexo 9. Valores de DEMANDA/CAPACIDAD, edificio de 10 pisos, caso 0, pórtico C. ....  | 66 |
| Anexo 10. Valores de DEMANDA/CAPACIDAD, edificio de 10 pisos, caso C, pórtico C. ....   | 67 |
| Anexo 11. Valores de DEMANDA/CAPACIDAD, edificio de 15 pisos, caso 0, pórtico C. ....   | 68 |
| Anexo 12. Valores de DEMANDA/CAPACIDAD, edificio de 15 pisos, caso C, pórtico C. ....   | 69 |
| Anexo 13 .....  | 70 |
| Anexo 14 .....  | 70 |
| Anexo 15 .....  | 71 |
| Anexo 16 .....  | 71 |
| Anexo 17 .....  | 72 |
| Anexo 18 .....  | 73 |
| Anexo 19. Tabla de desplazamientos verticales, en metros. Caso ( F ⊥ ) .....  | 74 |
| Anexo 20. Tabla de desplazamientos verticales, en metros. Caso ( F // ) .....   | 74 |
| Anexo 21. Tabla de desplazamientos verticales, en metros. Caso (E) .....  | 75 |
| Anexo 22. Tabla de desplazamientos verticales, en metros. Caso (C) .....  | 75 |

# CAPÍTULO I

## 1.1 IMPORTANCIA Y MOTIVACIÓN

En la generalidad de los casos, cuando se diseña un edificio, sólo se toman en cuenta cargas gravitacionales, y dependiendo de la ubicación, se consideran además, el sismo y el viento.

Sin embargo con cierta frecuencia, existen además, casos que pudieran llegar a ser más críticos que los anteriores. Específicamente por ejemplo: el caso en que una parte puntual de la base del edificio fallase por causas diferentes a la acción de las cargas descritas. Este tema no se estudia en el diseño de edificios porque el tener que evaluar todas las posibles fallas, requiere de mucho tiempo y dinero, cosas que sólo edificios de gran importancia pueden tener. Es por ésto que, instituciones como las universidades, son las apropiadas para dedicarse a este tipo de estudios por medio de la realización de trabajos de investigación.

Es de especial importancia estudiar las fallas puntuales en las bases del edificio, porque ocasionan movimientos no uniformes con respecto a toda la estructura. Ésto da origen a problemas que pueden ir desde grietas en el friso de paredes hasta el colapso del edificio.

En investigaciones anteriores se ha estudiado el asentamiento de columnas de la base pero no el caso de la pérdida total del soporte. Además no se había tomado en cuenta el peso propio de la estructura. Sin embargo, la posibilidad de ocurrencia de este fenómeno es lo que motivó a los autores a realizar este estudio.

## 1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO

El alcance de esta investigación comprende lo siguiente:

- Los patrones mecánicos que se toman en cuenta son:
  - Diagramas de momentos.
  - Diagramas de corte.
  - Diagramas de fuerza axial.
- Los patrones geométricos que se observan son:
  - Desplazamientos verticales.
- Se simulan tres edificios, de 5,10 y 15 pisos.
- Se consideran solamente edificios aporticados de acero estructural con sistema de losa acanalada.
- Todas las columnas de planta baja están totalmente aisladas y restringidas (empotradas) en su parte inferior.
- Para simular la pérdida de soporte se eliminan todas las restricciones en la base de la columna.
- Se estudia la pérdida de soporte para los siguientes casos:
  - En el edificio de 5 pisos:
    - Columna del centro del edificio.
    - Columna esquinera.
    - Columna central de la fachada perpendicular a las correas.
    - Columna central de la fachada paralela a las correas.
  - En los edificios de 10 y 15 pisos:
    - Columna del centro del edificio.
- Los edificios se diseñan solamente por cargas gravitacionales, utilizando las siguientes combinaciones, según lo indicado en la norma COVENIN 1753:
  - 1.4CP.
  - 1.2CP+1.6CV.

- Para estudiar el efecto de la pérdida de soporte, se utiliza la siguiente combinación de cargas:

- CP+CV.

Se escoge dicha combinación, para que los resultados obtenidos sean aproximados a lo que ocurre en la realidad.

- No se consideran momentos de segundo orden.
- Los perfiles a utilizar son de sección compacta.
- Solamente se utiliza el análisis estático lineal.

## 1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

### General

Analizar el comportamiento de una estructura de acero sometida a la pérdida de soporte en la base de una de sus columnas, mediante la observación de patrones geométricos y mecánicos.

### Específicos

- Observar y comparar los diagramas de fuerza axial, corte y momento en los miembros del edificio, antes y después de la pérdida de soporte en distintas columnas.
- Observar y comparar los desplazamientos verticales producidos en un piso cuando se pierde soporte en distintas columnas.
- Utilizar los valores de Demanda/Capacidad para identificar el estado de sollicitación de la estructura, luego de la pérdida de soporte.
- Estudiar la influencia de la altura de un edificio en la pérdida de soporte, comparando edificios de 5,10 y 15 pisos.
- Aportar métodos gráficos para la comparación de patrones geométricos y mecánicos.
- Formular recomendaciones para configuraciones óptimas de edificaciones que pueden evitar incurrir en mayores gastos de reparación y mantenimiento a futuro.

## CAPÍTULO II

### 2.1 MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1 Antecedentes de la investigación

##### **Colapso progresivo**

El colapso progresivo consiste en la falla local de un miembro principal (viga, columna, muro, etc.) de un edificio, que trae como consecuencia una reacción en cadena que hace que una parte sustancial del edificio colapse. Normalmente esta falla es desproporcional con respecto al evento que le da inicio.

La falta de soporte del elemento trae como consecuencia que el edificio adopte una nueva geometría y por lo tanto tenga que buscar rutas alternas de transmisión de las cargas. Por ejemplo en el caso de que una columna deje de aportar soporte al edificio, la estructura tiene que hacer un desvío de las cargas a través de las vigas para mantenerse en pie.

Los aspectos más importantes que debe poseer una estructura para mitigar el colapso progresivo (según referencia 4) son: Redundancia, Continuidad y Ductilidad entre otros.

La redundancia se puede lograr por ejemplo, aumentando el número de columnas, aunque a veces puede ser mejor menos columnas más robustas que más columnas delgadas porque el evento que inicia la falla puede destruir más fácilmente estas últimas.

La continuidad se refiere a que los miembros principales estén bien conectados entre sí, de esta forma, se podrá transmitir la carga efectivamente, para lograr que la estructura trabaje como un sistema.

La ductilidad es una propiedad que presenta el acero la cual consiste en

tener la capacidad de deformarse sostenidamente bajo la acción de una fuerza. De esta manera se evitan fallas frágiles.

Valdría la pena nombrar un fenómeno interesante que ocurre cuando las deformaciones en las vigas son muy altas. Cuando esto ocurre las vigas pasan de trabajar como elementos que resisten carga vertical a través de la flexión a trabajar como cables o elementos que resisten carga vertical a través de la tracción, esto se conoce como efecto catenaria.

Aunque la causa que inicia la falla no tiene relevancia, las circunstancias que pueden dar inicio a un colapso progresivo son diversas. Según la “U.S. General Services Administration” (referencia 9) existen cuatro clases generales de eventos, ellos son:

- **Impacto accidental:** Muchos casos de colapso progresivo han sido causa de impactos accidentales. Un ejemplo es el de un automóvil que golpea un miembro clave de una estructura (un edificio, puente, etc.).
- **Construcción defectuosa:** A través de la historia han existido muchos casos de malas prácticas constructivas que han desencadenado un colapso progresivo. Un caso notable, el edificio de apartamentos Skyline Plaza en Fairfax, Virginia. Esta falla fue producto de la prematura remoción de los apuntalamientos, que llevó a que la esquina noroeste colapsara.
- **Falla de fundación:** La falla de una pequeña porción de la fundación de la estructura puede resultar en la pérdida de soporte primario. Esta falla puede ser el resultado de problemas de erosión, socavación, geología, formación de cráteres por explosión, etc. Si el resto de la estructura no tiene capacidad para redistribuir este cambio de cargas, causado por la pérdida de soporte, el daño extensivo puede ser mayor.

- **Cambio violento de la presión del aire:** Un cambio extremo en la presión del aire puede ser originado por muchas fuentes, tales como detonaciones causadas por gas o fuertes explosivos. Ejemplos de este tipo hay muchos, entre los más conocidos están:

- El edificio de 22 pisos Ronan Point en Londres en 1968, que colapsa a causa de una explosión de gas en la cocina de un apartamento en la esquina del piso 18. El estallido acabó con un muro estructural, el cual dejó de soportar los pisos superiores ocasionando su caída, y como resultado de esto, los pisos inferiores también colapsaron.

El edificio estaba construido con paneles de concreto prefabricados, los cuales son buenos para eludir el colapso progresivo causado por cargas extremas, el problema en el caso del Ronan Point es que no existía continuidad en el refuerzo de los paneles, y por lo tanto no se podía lograr efectivamente que la carga encontrara una ruta alterna una vez iniciada la propagación.

- El edificio federal Alfred P. Murrah en Oklahoma City en 1995 que sufrió colapso progresivo, causado por la detonación de un camión cargado con explosivos, en la base del edificio.
- También está, el muy conocido caso de las torres gemelas de Nueva York el 11 de Septiembre del 2001, causado por el impacto de un avión

### 2.1.2 Bases Teóricas

Es importante señalar aquellos términos y conceptos que serán de gran utilidad para la comprensión del trabajo especial de grado, entre los cuales se destacan los siguientes:

- **ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ( $\Delta$ ):** Se define como la diferencia de asentamientos entre columnas adyacentes o separadas. (referencia 8)
- **DISTORSIÓN ANGULAR ( $\xi$ ):** Es un parámetro que se define como el asentamiento diferencial entre columnas adyacentes dividido entre la separación de las mismas. (referencia 8)
- **FLEXIÓN SIMPLE:** “Es cuando se presenta flexión en el plano paralelo al de las cargas, y si no hay torcimiento de la sección”. (Pág. 166, referencia 10).
- **ESTADOS LÍMITE:** “Un estado límite es una condición que representa un límite estructural de utilidad. Los estados límite pueden ser dictados por los requisitos funcionales como, por ejemplo, las deflexiones máximas; pueden ser conceptuales, tales como la articulación plástica (Rótula plástica) o la formación de un mecanismo, o pueden representar un colapso real de una parte o de la totalidad de la estructura, tal como una fractura o inestabilidad.” (Pág. 75, referencia 10)
- **MOMENTO RESISTENTE NOMINAL:** Es el momento determinado por uno de los estados límite: pandeo lateral, flexo torsional o local. (referencia 2)
- **VALOR DE DEMANDA/CAPACIDAD:** Es el valor de las ecuaciones de interacción aplicadas a perfiles de acero estructural cuando se encuentran sometidos a fuerzas normales y de flexión simultáneamente.

Casi todos los miembros de una estructura están sometidos a combinaciones de momentos y fuerza axial, por lo tanto, para saber la relación de lo que realmente está actuando con respecto a su capacidad, se procede a utilizar las siguientes ecuaciones de interacción:

Si  $\frac{Nu}{\phi N_n} \geq 0.2$ ; Entonces:

$$\frac{Nu}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left[ \frac{Mux}{\phi b M_{nx}} + \frac{Muy}{\phi b M_{ny}} \right] < 1.0$$

Si  $\frac{Nu}{\phi N_n} < 0.2$ ; Entonces:

$$\frac{Nu}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left[ \frac{Mux}{\phi b M_{nx}} + \frac{Muy}{\phi b M_{ny}} \right] < 1.0$$

Si el resultado de las ecuaciones de interacción, es mayor que “1”, quiere decir que el perfil falla por capacidad. (Pág. 442, referencia 10)

- COLAPSO DE UNA VIGA: “El colapso de una viga de acero estructural puede corresponder a algunos de los siguientes fenómenos, los cuales podrán presentarse individualmente o combinados:
  - Por exceso de flexión en el plano de las cargas, con la eventual formación de un mecanismo de falla con articulaciones plásticas.
  - Por cortante.
  - Por inestabilidad en el rango elástico, inelástico o aun plástico, caracterizada por pandeo lateral, flexo torsional o local.
  - Por fatiga.
  - Por fractura en forma frágil. (Pág. 162, referencia 10).
  
- SECCIÓN COMPACTA: aquella sección libre de sufrir pandeo local. (referencia 2)

- **ANÁLISIS ELÁSTICO DE ESTRUCTURAS:** supone que la capacidad resistente de una estructura se agota cuando en cualquier sección de la misma una de sus fibras alcanza su límite elástico. (referencia 2)
- **COMPORTAMIENTO PLÁSTICO DE LAS VIGAS:** En la primera etapa, todas las fibras están solicitadas por tensiones menores que el de cedencia; es por lo tanto un comportamiento totalmente elástico, el cual terminará justamente cuando se alcance la segunda etapa.

En la segunda etapa, las fibras extremas han llegado a la cedencia; el momento interno resistente es ahora  $M_y$ ; las deformaciones unitarias son aún proporcionales a las tensiones.

Al incrementar la carga, las fibras que ya se hallan en cedencia no podrán resistir tensiones mayores, pero hay un componente muy importante de la sección transversal que aún está en régimen elástico, y por lo tanto puede admitir tensiones adicionales. Es conveniente recordar que las fibras extremas, ya en cedencia, no podrán tomar más tensiones, pero sí seguirán resistiendo  $F_y$ , para que las fibras internas lleguen a la cedencia, es necesario un momento mayor que  $M_y$ . En la última etapa, todas las fibras llegan a la cedencia, alcanzando así, el momento plástico  $M_p$  en esa determinada sección, produciéndose la formación de una rótula plástica.

(Pág. 198, referencia 10).

- **MOMENTO PLÁSTICO (MP):** Es el mínimo momento requerido para que en una sección transversal del material, todas sus fibras se encuentren en la cedencia. (Pág. 200, referencia 10)
- **ARTICULACIÓN PLÁSTICA:** “El comportamiento de una sección completamente plastificada es análogo al de una articulación real, con la diferencia de que en la segunda el momento es nulo en todo instante, mientras que en la primera se mantiene igual a  $M_p$ . Con base en esta analogía, la sección donde se ha presentado la plastificación completa se llama articulación plástica.” (Pág. 202, referencia 10).

## CAPÍTULO III

### 3.1 METODOLOGÍA

La metodología consiste en estudiar con la ayuda del programa de computación ETABS v9.7, lo que le ocurre a los patrones geométricos y mecánicos en un edificio aporticado de acero estructural cuando pierde soporte en distintas columnas así como también la comparación entre edificios de 5,10 y 15 pisos.

Dicho lo anterior, a continuación se detalla el procedimiento utilizado:

#### 3.1.1 Configuración de los edificios:

En ETABS, se simulan edificios aporticados de acero estructural, es decir, edificios con vigas y columnas con perfiles de acero y sistema de piso de losa acanalada.

Los edificios son: De planta cuadrada, con 5 pórticos en ambas direcciones, 3 m de altura de entrepiso, luces de 6m y sistema de losa acanalada. Como se muestra en la figura 1,2 y 3.

El edificio se diseña para carga gravitacional con los casos de carga 1.4CP y 1.2CP + 1.6CV. Para evaluar los asentamientos se utiliza el caso de carga CP + CV.

Se toman unas cargas adicionales al peso propio de la estructura de: 400kg/m<sup>2</sup> de CP y 250kg/m<sup>2</sup> de CV. La razón de haber escogido estos valores es porque son cargas que se consideran típicas en edificios, si bien, las magnitudes no son relevantes para lo que se estudia en este trabajo.

Los perfiles que se obtienen por diseño son entonces:

- Columnas: W12x96, que es un perfil casi cuadrado.
- Vigas: W18x50 cuya altura es mayor que su anchura de alas.
- Correas: W12x14, habiendo 3 de ellas por paño, separadas a 1.5metros.

Cabe destacar que, como lo que se estudia son sólo comportamientos, lo importante son las relaciones entre los valores de cada caso simulado y no las magnitudes, por lo tanto, las propiedades de todos los materiales del edificio y las dimensiones de la losa utilizados, son los que vienen por defecto en el ETABS v9.7.

Estos son:

- $F_y$ : 3.515kgf/cm<sup>2</sup>
- $F_u$ : 4.570 kgf/cm<sup>2</sup>
- Módulo de elasticidad: 2,04x10<sup>6</sup> kgf/cm<sup>2</sup>
- Peso por unidad de volumen: 7.833 kgf/m<sup>3</sup>

En cuanto a la configuración del sistema estructural, las bases del edificio se tomaron empotradas, y todas las conexiones entre vigas y columnas son conexiones rígidas o a momento.

### **3.1.2 Procedimiento para la simulación:**

Para simular la pérdida de soporte, a una columna de planta baja se le quitan todas las restricciones, en su parte inferior. Es decir que, de estar empotrada - lo cual significa estar restringida a trasladarse y rotar en las direcciones X, Y, Z - pasó a estar libre para realizar cualquier movimiento en ese extremo.

Ahora, teniendo definida la forma de simular la pérdida de soporte, se procede a escoger diferentes condiciones de la misma para el estudio de su efecto.

Se elige entonces analizar los siguientes casos:

- 5 casos para el edificio de 5 pisos:
  - **Caso (0):** Edificio sin alterar.
  - **Caso (C):** Edificio sometido a la pérdida de soporte en la columna del **Centro** del mismo (columna C13 en la figura 4).
  - **Caso ( F ⊥ ):** Edificio sometido a la pérdida de soporte en la columna central de la **Fachada perpendicular** a las correas (columna C3 en la figura 4).
  - **Caso ( F // ):** Edificio sometido a la pérdida de soporte en la columna central de la **Fachada paralela** a las correas (columna C11 en la figura 4).
  - **Caso (E):** Edificio sometido a la pérdida de soporte en la columna de **Esquina** (columna C1 en la figura 4).

Hay que resaltar que se tomaron en cuenta dos fachadas porque a pesar de que el edificio se planteara simétrico en las dos direcciones, su rigidez no es la misma en ambas. Esto se debe a que el sistema de piso de losa acanalada, se apoya en correas alineadas en una sola dirección, y, aunado a esto, todas las columnas están orientadas con la mayor inercia en esa misma dirección.

- 2 casos para los edificios de 10 y 15 pisos:
  - **Caso (0):** Edificio sin alterar.
  - **Caso (C):** Edificio sometido a la pérdida de soporte en la columna del **Centro** del mismo (columna C13 en la figura 4).

Con estos casos se realizan los siguientes análisis:

- **Patrones mecánicos:**

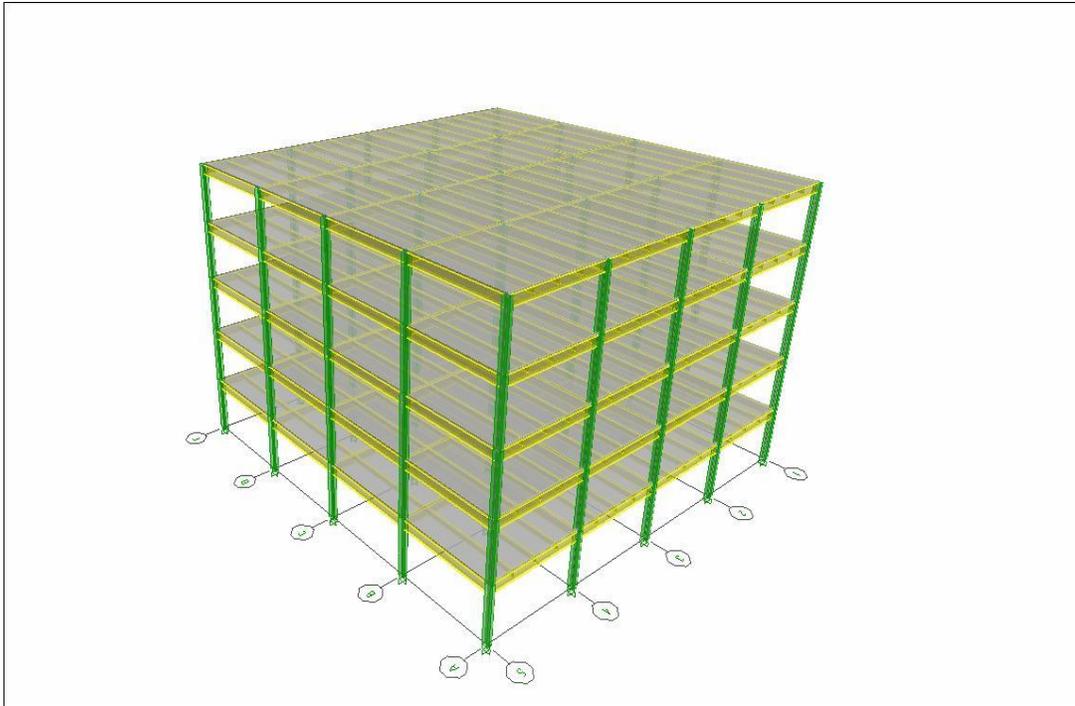
- Para entender el cambio y forma de estos, se comparan los diagramas de fuerza axial, corte y momento del Caso (0) con los del Caso (C) del pórtico 3 (ver figura 4 para ubicar en planta), del edificio de 5 pisos. Para esto, se superponen los diagramas del Caso (0) sobre el Caso (C).
- Para entender la propagación y la sensibilidad de los patrones en los distintos casos, se superpone cada caso con el caso (0), tanto en planta como en perfil. Además, se colocan los valores de dichos patrones (momento, corte y axial) originados en cada caso y también el caso (0), es decir, antes y después de ocurrido el evento.
- Para observar la influencia de la altura en la pérdida de soporte se ilustran los diagramas de fuerza axial, corte y momento, del pórtico 3, para el Caso (0) de los edificios de 5, 10 y 15 pisos, superpuesto con los del Caso (C).

Luego, para su comparación, se grafican las solicitaciones de un mismo miembro en todos los pisos, para los Casos (C) y (0) en los tres edificios.

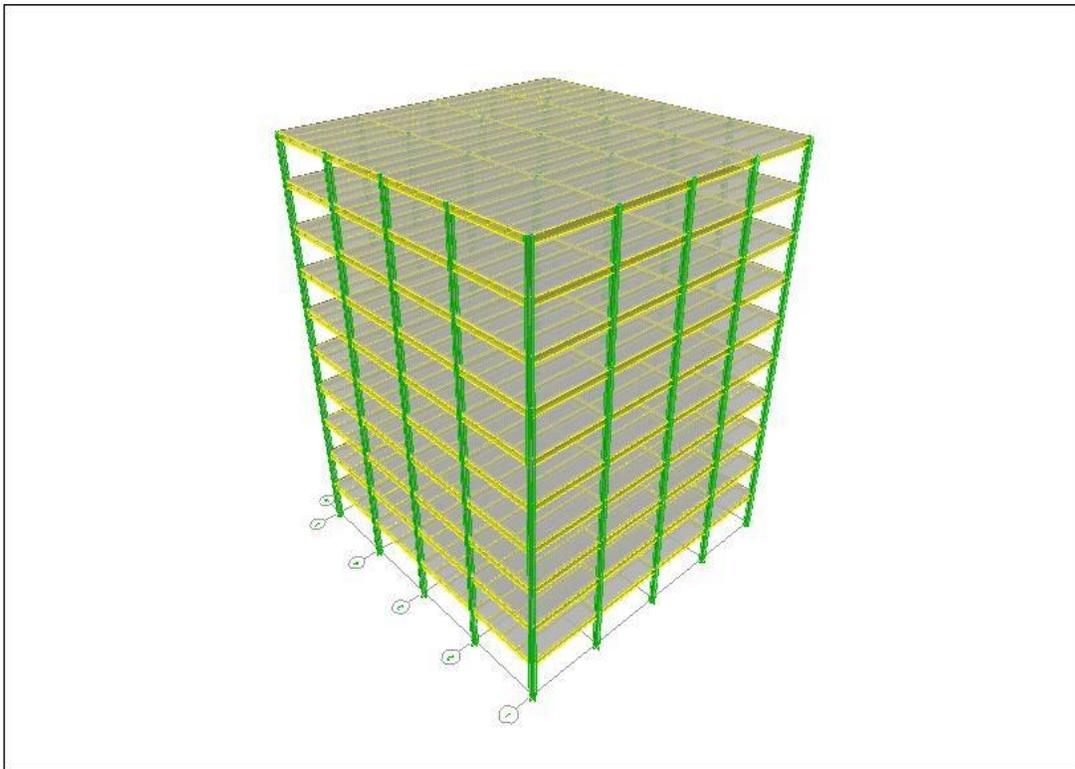
- **Patrones geométricos**

- Para entender la propagación de los distintos casos de pérdida de soporte y la comparación entre ellos, se representan los desplazamientos verticales de los 5 casos del edificio de 5 pisos, por separados, a través de gráficas de superficie generadas en Excel, por medio de la importación de los valores de desplazamiento del piso 5 desde ETABS.

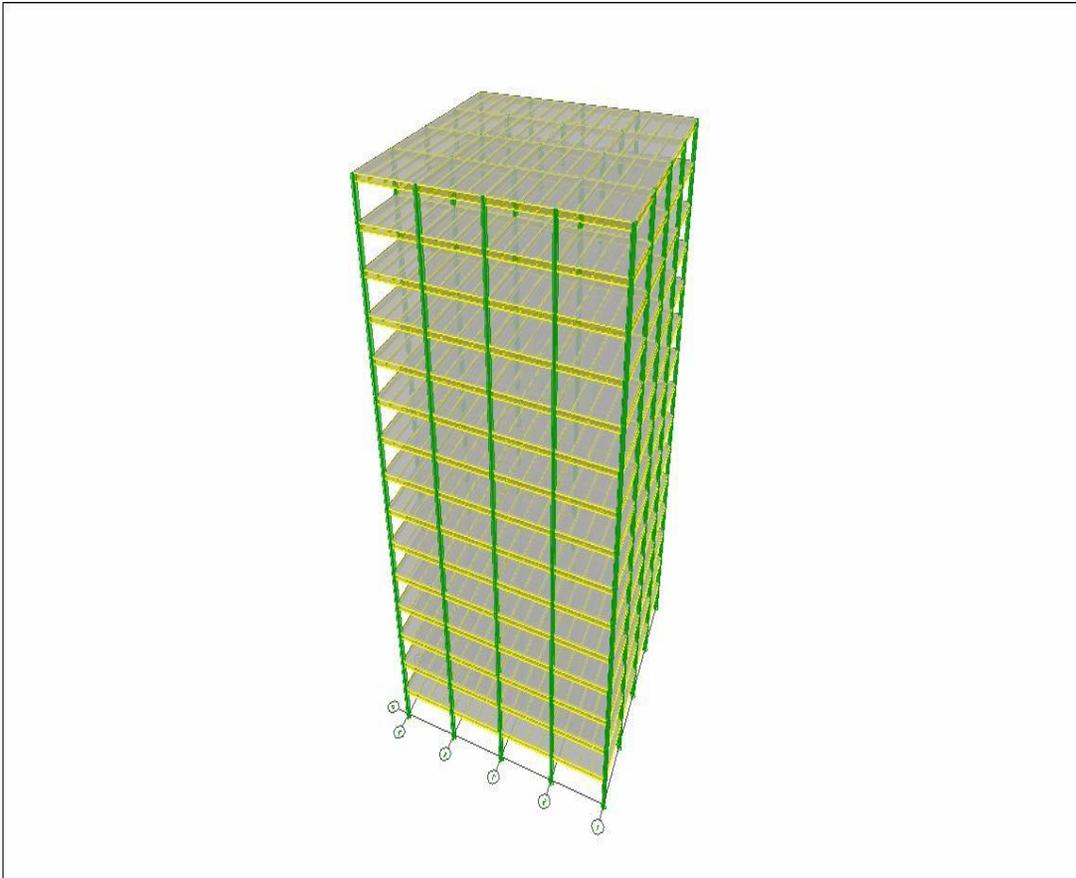
Finalmente luego de todas las comparaciones se termina por concluir acerca de los efectos encontrados debido a la ubicación de la columna y la altura del edificio.



**Figura 1. Modelo del edificio de 5 pisos. Fuente: Etabs.**

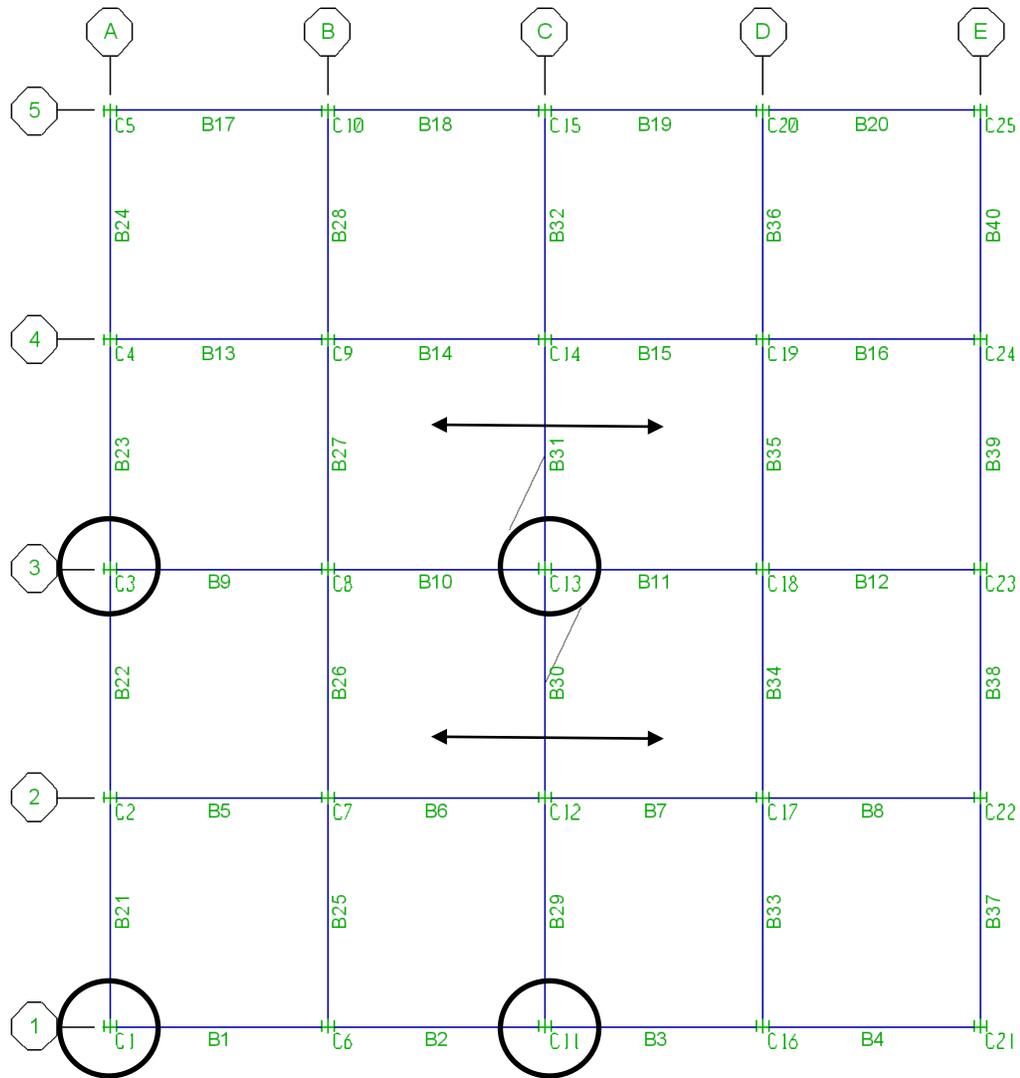


**Figura 2. Modelo del edificio de 10 pisos. Fuente: Etabs.**



**Figura 3. Modelo del edificio de 15 pisos. Fuente: Etabs.**

A continuación se muestran las columnas a estudiar:



**Figura 4. Identificación en planta de las columnas a estudiar.**  
**Dirección de las correas Este-Oeste (ver flecha “↔”).**

## CAPÍTULO IV

### 4.1 RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados del estudio. A manera de facilitar la lectura sólo se colocan los esenciales para la discusión. El resto aparece en el anexo.

Para mostrar los resultados de una forma más práctica se utiliza un código de colores de manera que cada caso tenga un sólo color para todo el estudio.

| Caso     | Color  |
|----------|--------|
| (0)      | Black  |
| ( F ⊥ )  | Green  |
| ( F // ) | Blue   |
| (E)      | Yellow |
| (C)      | Red    |

Estos colores solamente se utilizan para la representación de los patrones mecánicos (diagramas de momento, corte y axial) más no aplica para la visualización de los patrones geométricos (desplazamientos verticales).

Para la representación de los patrones mecánicos, vistos en planta, se escogió un piso en común para los distintos casos. Para esto se elige el piso 5 del edificio de 5 pisos. Cabe destacar que pudo ser cualquier otro, ya que el objetivo es la comparación entre los distintos casos. Lo importante es que el piso a escoger sea el mismo para todos.

Para la representación de los patrones mecánicos visto en perfil, se escogieron según los casos, los siguientes pórticos (ubicar en figura 4):

- ( F ⊥ ): Pórtico A.
- ( F // ): Pórtico 1.
- (E): Pórtico 1.
- (C): Pórtico 3.

Los resultados se clasifican de la siguiente manera:

### **Caso ( F ⊥ ):**

Este caso abarca desde la figura 5 hasta la figura 10, las cuales consisten en lo siguiente:

- Las figuras 5 y 6, muestran los diagramas de momento y corte, visto en planta, del piso 5 para el edificio de 5 pisos. Aquí se muestran los valores de los momentos y cortantes para el caso (0) y el ( F ⊥ ) con sus respectivos colores.
- En las figuras 7, 8 y 9 se muestran los diagramas de momento, corte y fuerza axial del Caso (0) sobre el Caso ( F ⊥ ), ambos del edificio de 5 pisos, para explicar la variación de comportamiento de estos patrones cuando la estructura es sometida por la pérdida de soporte.
- La Figura 10 consiste en una representación gráfica de los desplazamientos verticales del piso 5, visto en planta, para el edificio de 5 pisos, después que se ha sufrido la pérdida de soporte. Se muestran unas curvas de contorno en dicha figura, las cuales representan un rango de desplazamientos verticales. Cada rango está definido por un color en específico

el cual es independiente del código de colores expresado anteriormente.

### **Caso ( F // ):**

Comprende desde la figura 11 hasta la figura 16, las cuales consisten en lo siguiente:

- Las figuras 11 y 12, muestran los diagramas de momento y corte, visto en planta, del piso 5 para el edificio de 5 pisos. Aquí se muestran los valores de los momentos y cortantes para el caso (0) y el ( F // ).
- En las figuras 13,14 y 15 se muestran los diagramas de momento, corte y fuerza axial del Caso (0) sobre el Caso ( F // ), ambos del edificio de 5 pisos, para explicar la variación de comportamiento de estos patrones cuando la estructura es sometida por la pérdida de soporte.
- La Figura 16 consiste en una representación gráfica de los desplazamientos verticales del piso 5, visto en planta, para el edificio de 5 pisos, después que se ha sufrido la pérdida de soporte. Se muestran unas curvas de contorno en dicha figura, las cuales representan un rango de desplazamientos verticales. Cada rango está definido por un color en específico.

### **Caso (E):**

Abarca desde la figura 17 hasta la figura 22, y consisten en lo siguiente:

- Las figuras 17 y 18, muestran los diagramas de momento y corte, visto en planta, del piso 5 para el edificio de 5 pisos. Aquí se muestran los valores de los momentos y cortantes para el caso (0) y el (E).

- En las figuras 19, 20 y 21 se exponen los diagramas de momento, corte y fuerza axial del Caso (0) sobre el Caso (E), ambos del edificio de 5 pisos, para explicar la variación de comportamiento de estos patrones cuando la estructura es sometida por la pérdida de soporte.
- La Figura 22 consiste en una representación gráfica de los desplazamientos verticales del piso 5, visto en planta, para el edificio de 5 pisos, después que ha sufrido la pérdida de soporte. Se muestran unas curvas de contorno en dicha figura, las cuales representan un rango de desplazamientos verticales. Cada rango está definido por un color en específico.

### **Caso (C):**

Siguiendo el mismo procedimiento de los casos anteriores, este va desde la figura 23 hasta la figura 28:

- Las figuras 23 y 24, muestran los diagramas de momento y corte, visto en planta, del piso 5 para el edificio de 5 pisos. Aquí se muestran los valores de los momentos y cortantes para el caso (0) y el (C).
- En las figuras 25, 26 y 27 se muestran los diagramas de momento, corte y fuerza axial del Caso (0) sobre el Caso (C), ambos del edificio de 5 pisos, para explicar la variación de comportamiento de estos patrones cuando la estructura es sometida por la pérdida de soporte.
- La Figura 28 es una representación gráfica de los desplazamientos verticales del piso 5, visto en planta, para el edificio de 5 pisos, después que ha sufrido la pérdida de

soporte. Se muestran unas curvas de contorno en dicha figura, las cuales representan un rango de desplazamientos verticales. Cada rango está definido por un color en específico.

### **Comparación de los patrones mecánicos entre los edificios de 5, 10 y 15 pisos:**

Para observar la influencia de la altura cuando un edificio está sometido a la pérdida de soporte en la base de una de sus columnas, se utilizará el caso (C) como el común para los tres edificios. Es decir, que estarán sometidos por la misma condición de pérdida de soporte.

Cabe destacar que la comparación entre los distintos edificios solo se hace en vista de perfil. (Pórtico 3).

Las figuras 29, 30 y 31 muestran los diagramas de momento del caso (C) superpuesto con el caso (0), para los edificios de 5, 10 y 15 pisos respectivamente. Se compara de manera visual, la diferencia en magnitud de los momentos que se producen en las vigas de estos edificios, cuando todos se encuentran sometidos a la misma condición de pérdida de soporte.

En las figuras 32 y 33, se representa la variación de los momentos en las vigas B10 y B11 a medida que suben los pisos. Esto se aplica para el caso (C) y caso (0), de los tres edificios. Las vigas B10 y B11 son unas de las que más sufren por el fenómeno de pérdida de soporte ya que están conectadas directamente a la columna afectada.

Las figuras 34, 35 y 36 muestran los diagramas de corte del caso (C) superpuesto con el caso (0), para los edificios de 5, 10 y 15 pisos respectivamente. Se compara de manera visual, la diferencia en magnitud de los cortantes que se producen en las vigas de estos edificios, cuando todos se encuentran sometidos a la misma condición de pérdida de soporte.

En las figuras 37 y 38, se representa la variación de los cortantes en las vigas B10 y B11 a medida que suben los pisos. Esto se aplica para el caso (C) y caso (0), de los tres edificios.

Las figuras 39, 40 y 41 muestran los diagramas de fuerza axial del caso (C) superpuesto con el caso (0), para los edificios de 5, 10 y 15 pisos respectivamente. Se compara de manera visual, la diferencia en magnitud de las fuerzas axiales que se producen en las columnas de estos edificios, cuando todos se encuentran sometidos bajo la misma condición de pérdida de soporte.

En las figuras 42 y 43, se representa la propagación de las fuerzas axiales en las columnas C13 y C8 de los tres edificios. La columna C13, es la que ha sufrido la pérdida de soporte en su base, mientras que la C8 es una de sus columnas adyacentes, la cual debe estar entre las más afectadas por el evento ocasionado.



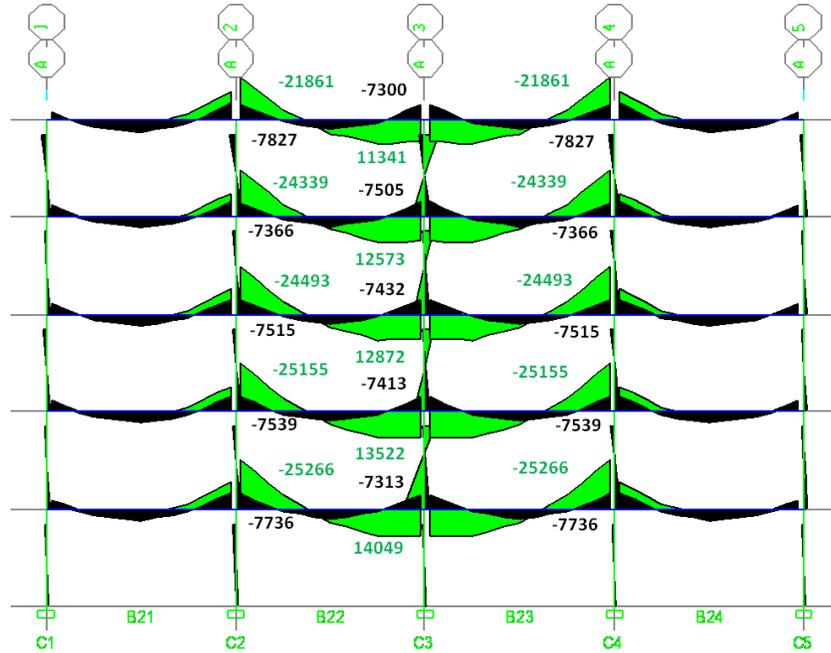


Figura 7. Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico A para el edificio de 5 pisos. Caso ( F ) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

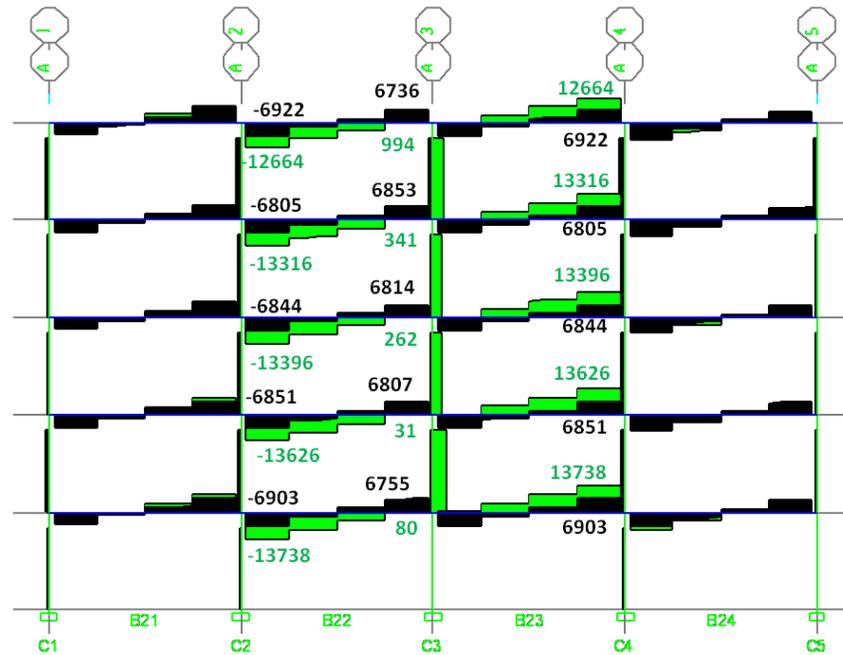


Figura 8. Diagramas de corte en kgf, del pórtico A para el edificio de 5 pisos. Caso ( F ) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

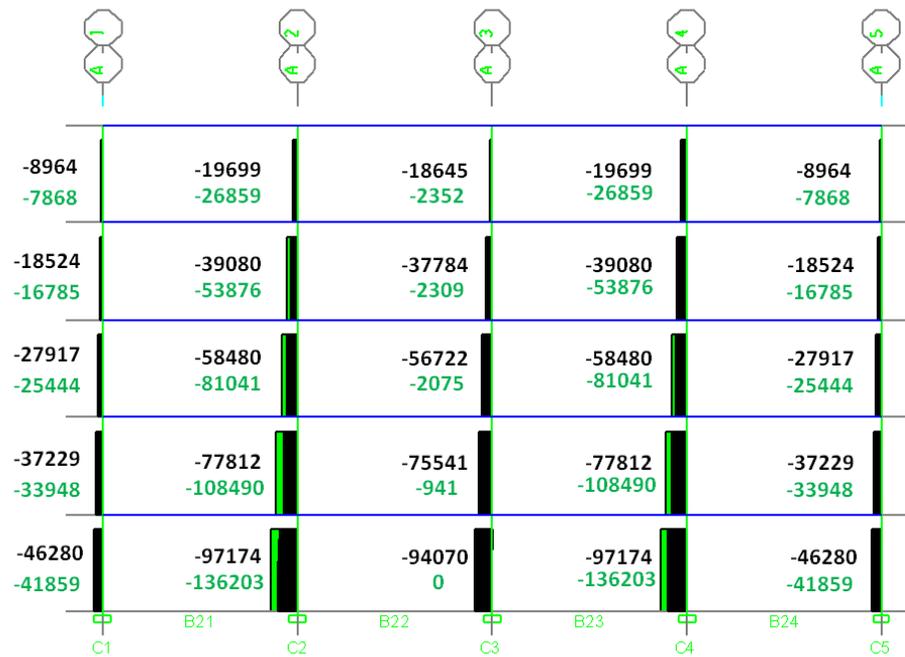


Figura 9. Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico A para el edificio de 5 pisos. Caso ( F  $\downarrow$  ) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

## Mapa de Desplazamientos Verticales del Piso 5 Caso ( F - )

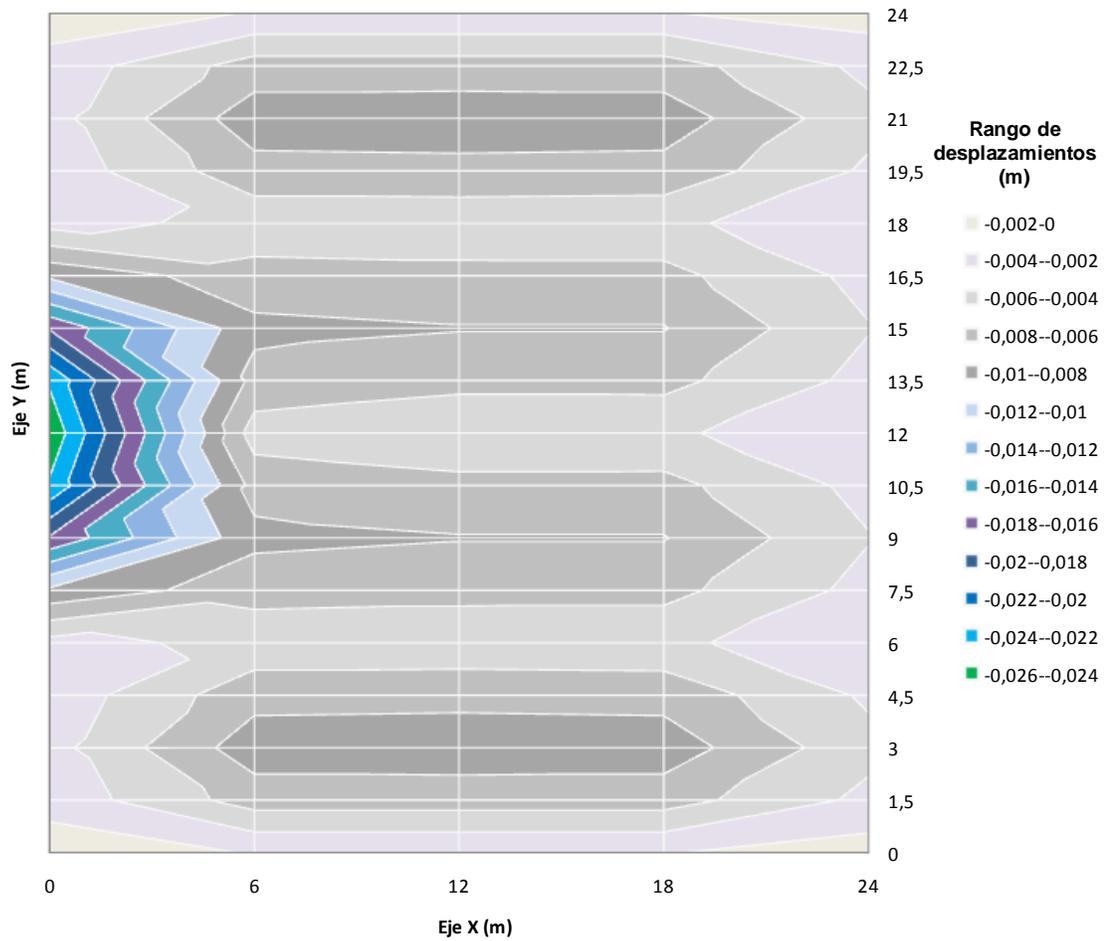


Figura 10. Mapa de desplazamientos verticales del piso 5, para el edificio de 5 pisos. Caso ( F - ).

Fuente: Autores con Microsoft Office Excel.

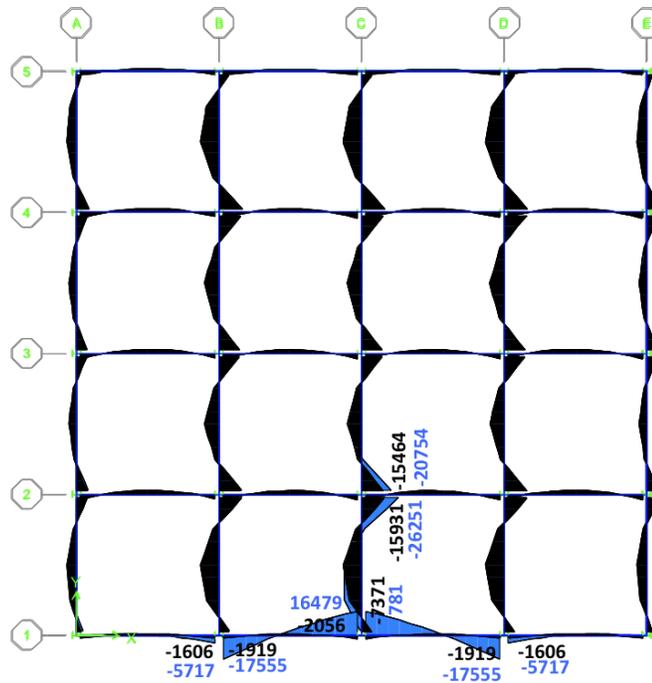


Figura 12. Diagramas de momento en kgf-m, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso ( F // ) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

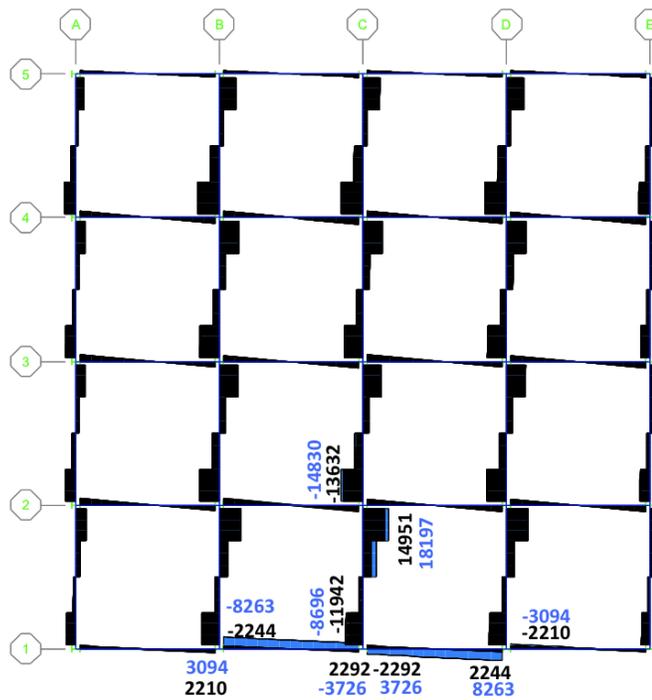


Figura 11. Diagramas de corte en kgf, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso ( F // ) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

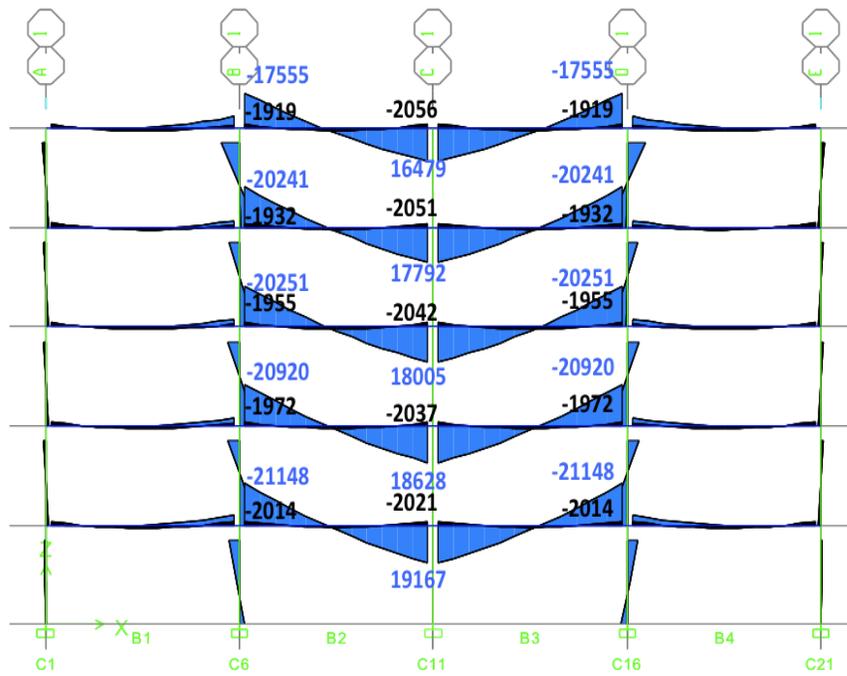


Figura 13. Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico 1 para el edificio de 5 pisos. Caso ( F // ) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

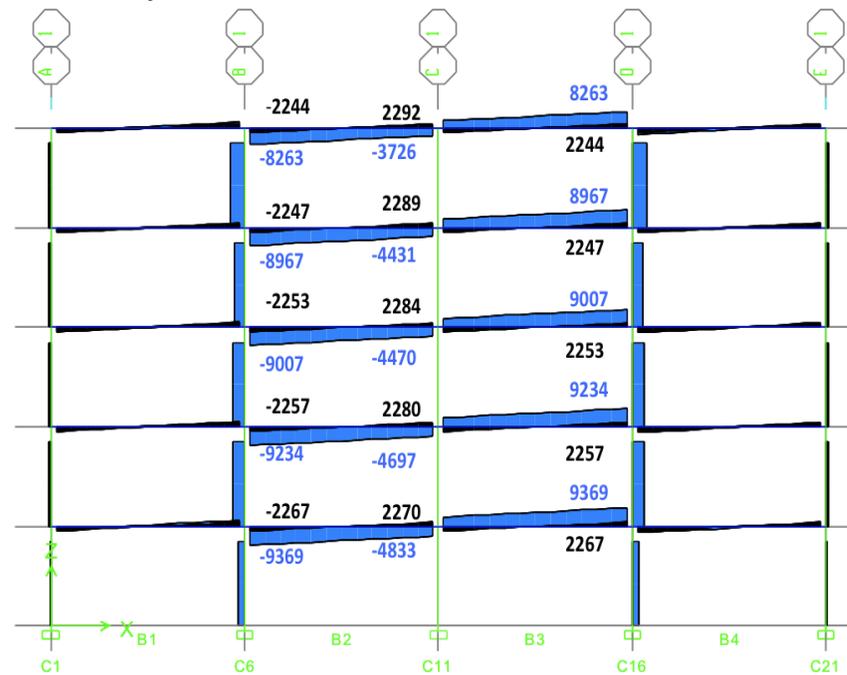


Figura 14. Diagramas de corte en kgf, del pórtico 1 para el edificio de 5 pisos. Caso ( F // ) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

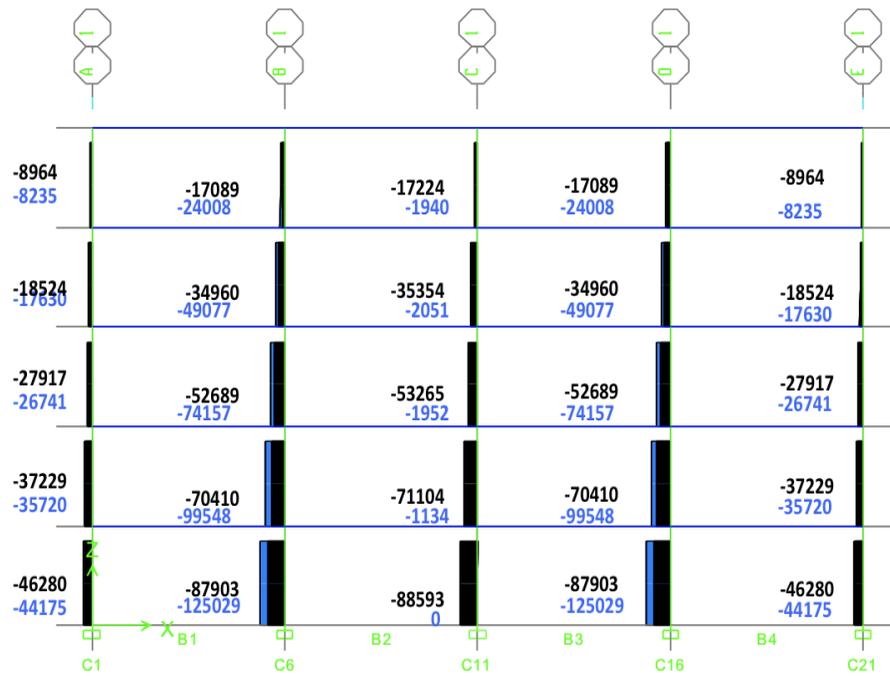


Figura 15. Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico 1 para el edificio de 5 pisos. Caso ( F // ) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

## Mapa de Desplazamientos Verticales del Piso 5 Caso ( F // )

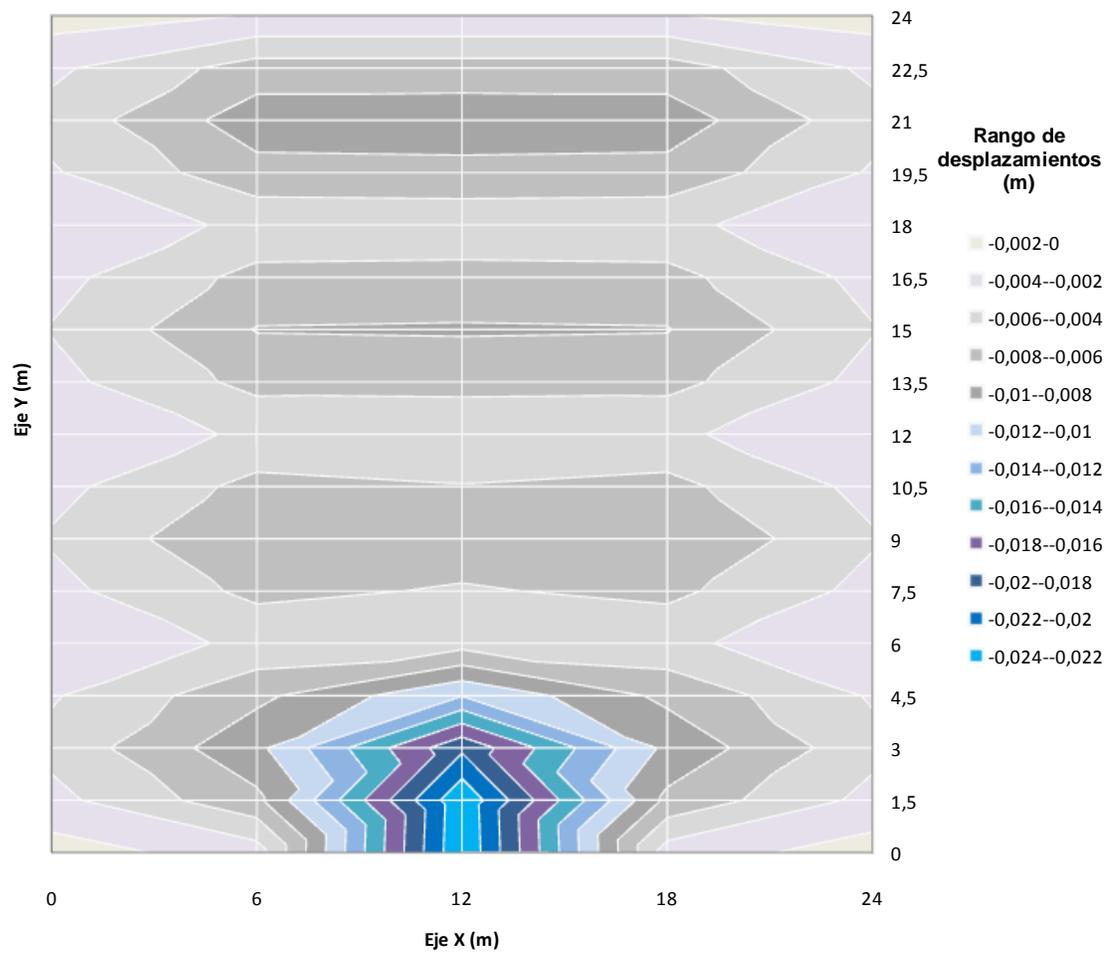


Figura 16. Mapa de desplazamientos verticales del piso 5, para el edificio de 5 pisos.  
Caso ( F // ).

Fuente: Autores con Microsoft Office Excel.

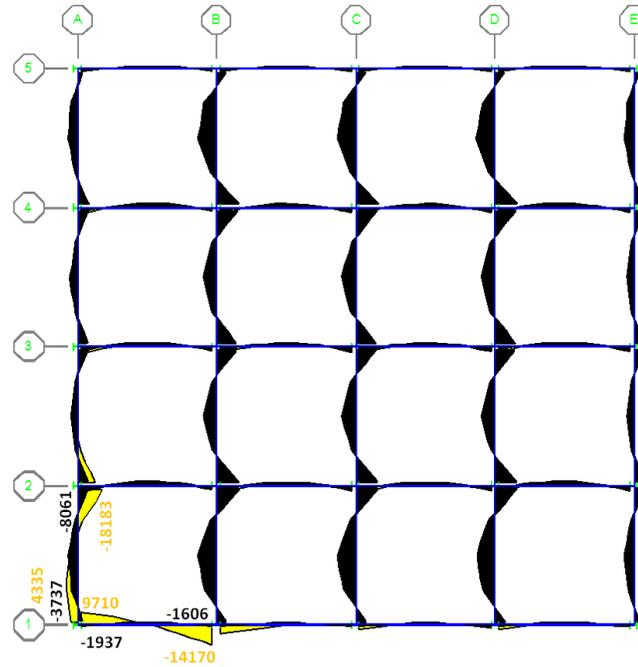


Figura 17. Diagramas de momento en kgf-m, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso (E) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

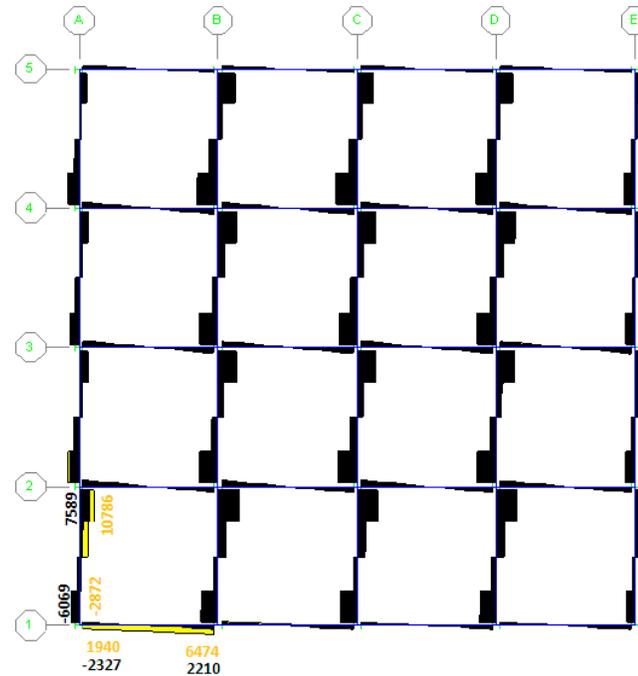


Figura 18. Diagramas de corte en kgf, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso (E) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

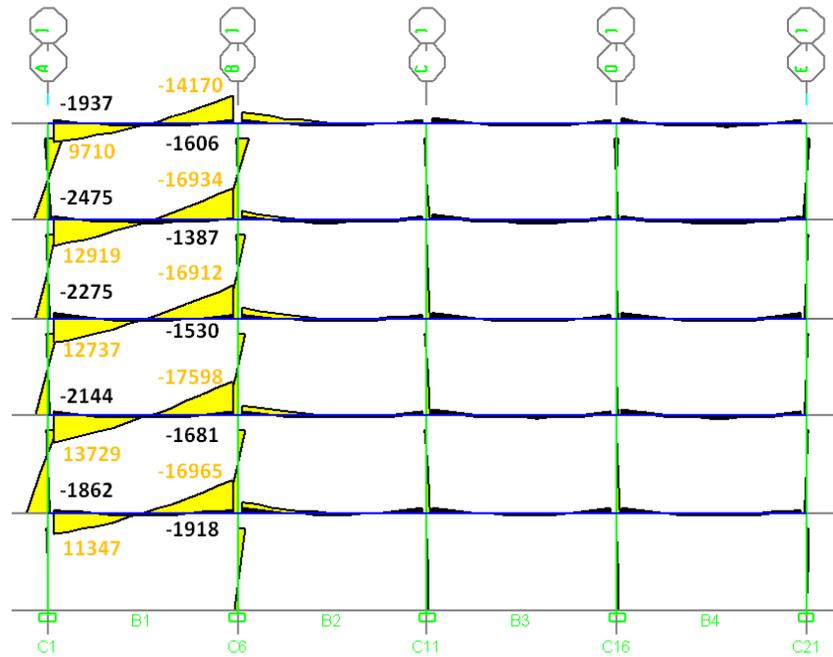


Figura 19. Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico 1 para el edificio de 5 pisos. Caso (E) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

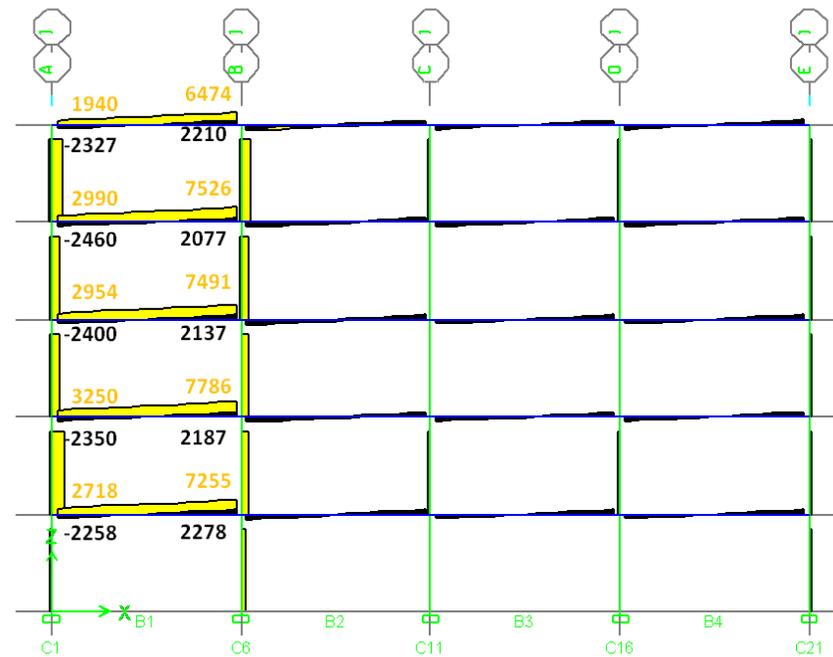


Figura 20. Diagramas de corte en kgf, del pórtico 1 para el edificio de 5 pisos. Caso (E) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

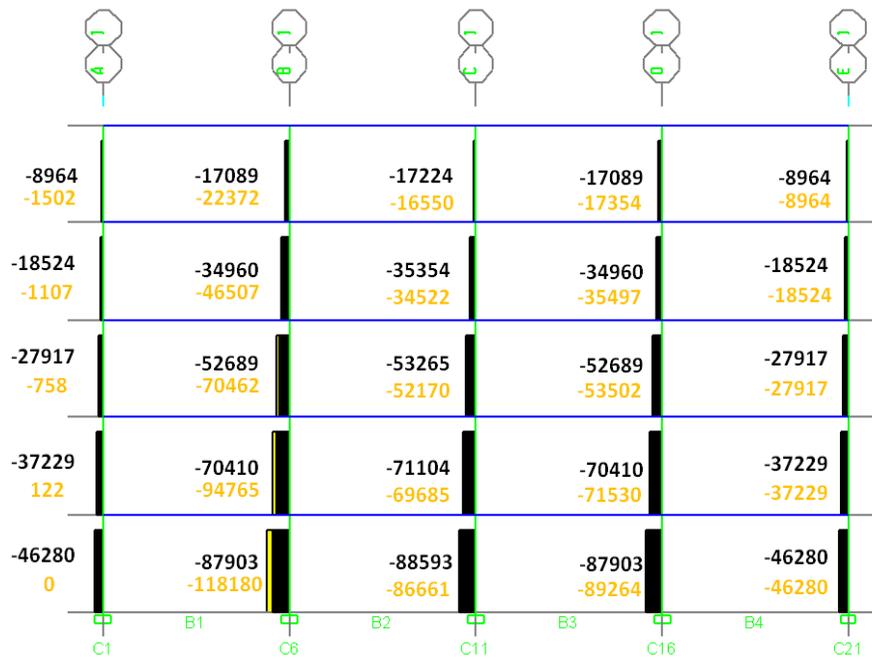


Figura 21. Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico 1 para el edificio de 5 pisos. Caso (E) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

## Mapa de Desplazamientos Verticales del Piso 5 Caso (E)

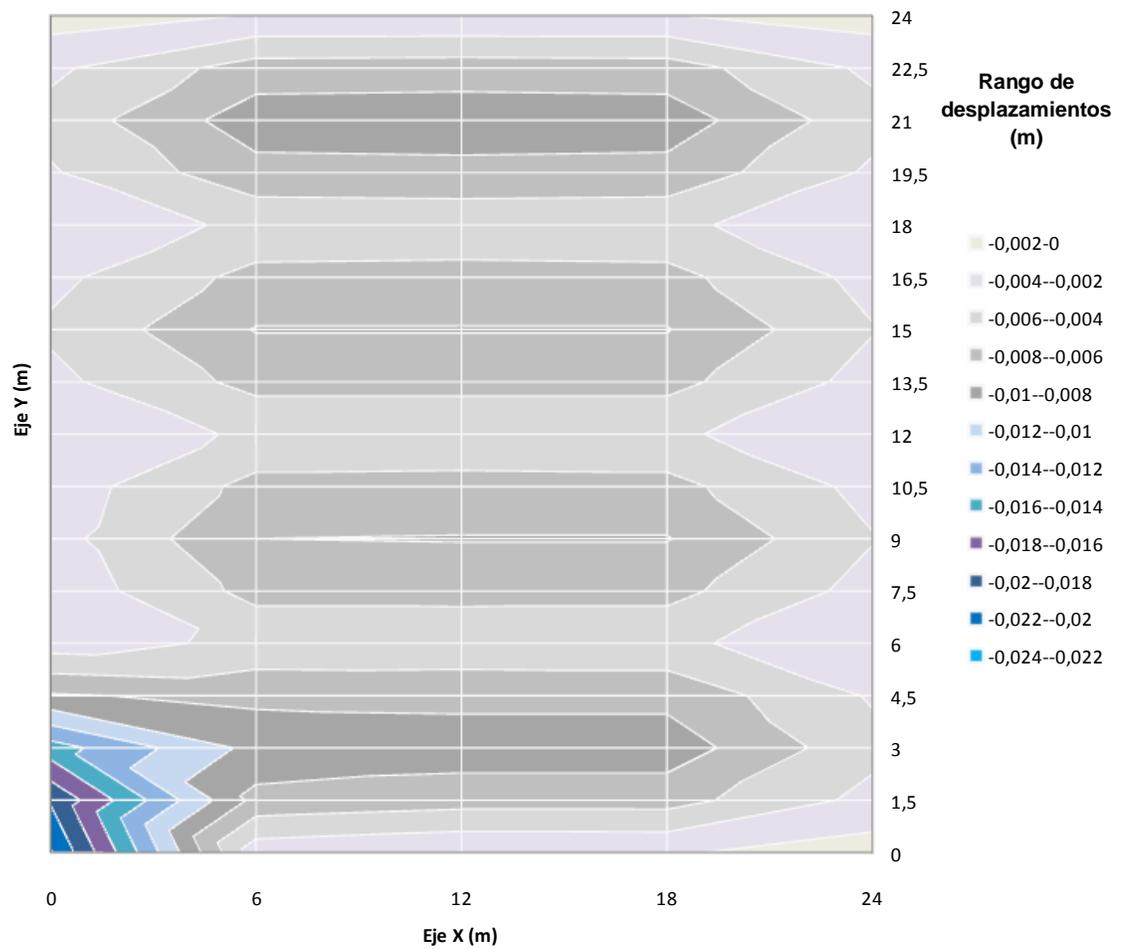


Figura 22. Mapa de desplazamientos verticales del piso 5, para el edificio de 5 pisos.  
Caso (E).

Fuente: Autores con Microsoft Office Excel.

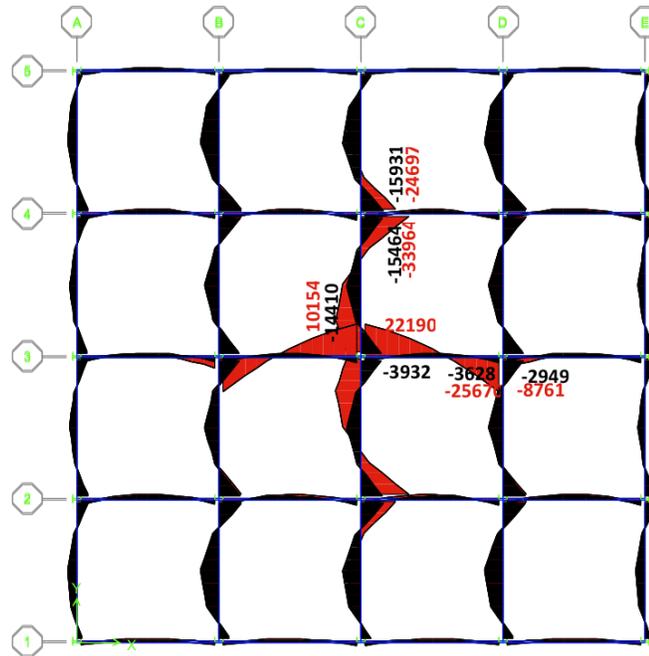


Figura 24. Diagramas de momento en kgf-m, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

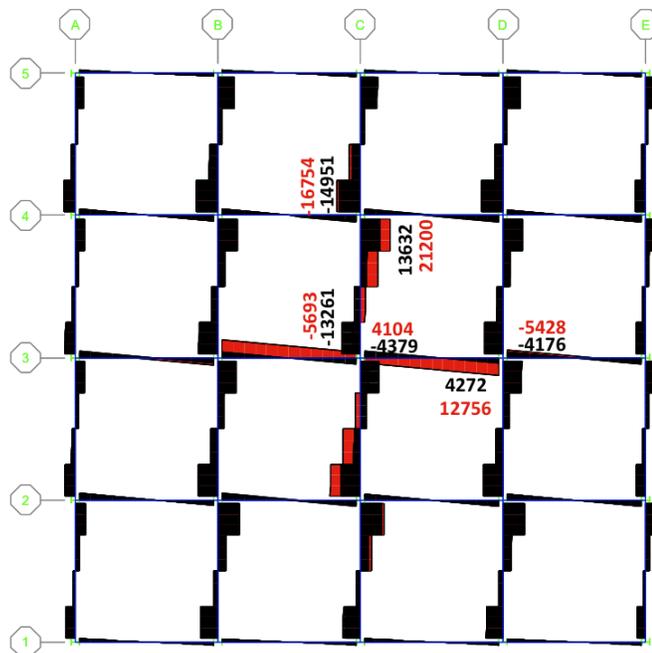


Figura 23. Diagramas de corte en kgf, de las vigas del piso 5 para el edificio de 5 pisos, visto en planta. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

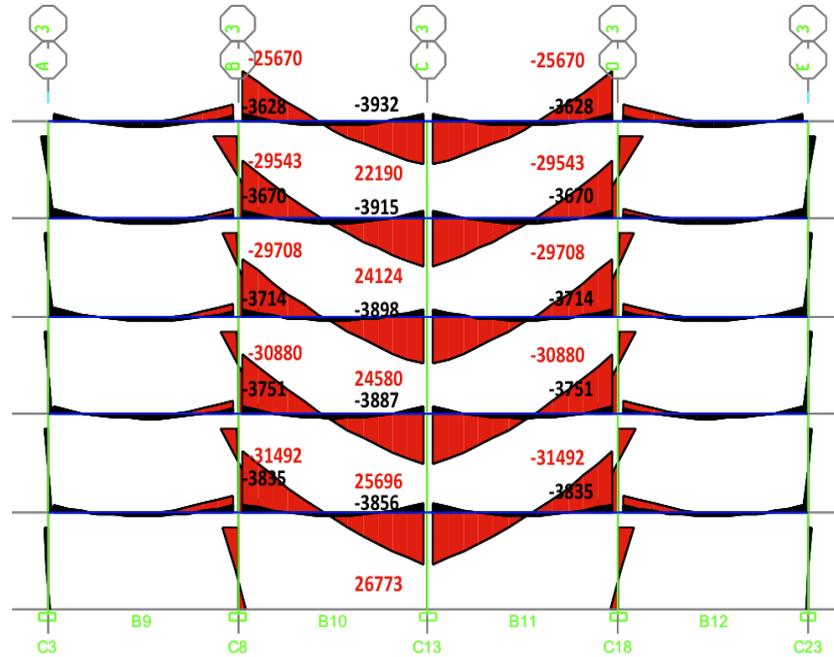


Figura 25. Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico 3 para el edificio de 5 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

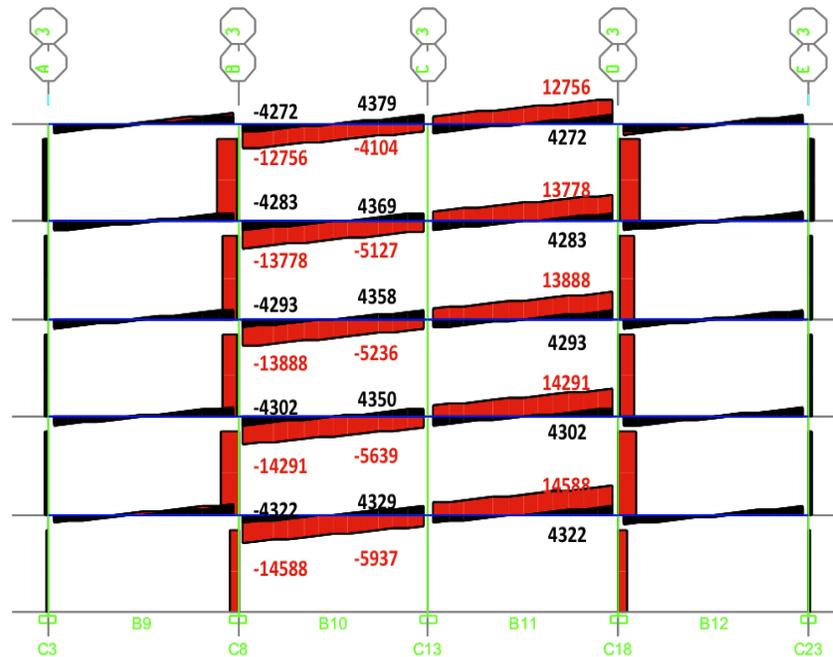


Figura 26. Diagramas de corte en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 5 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

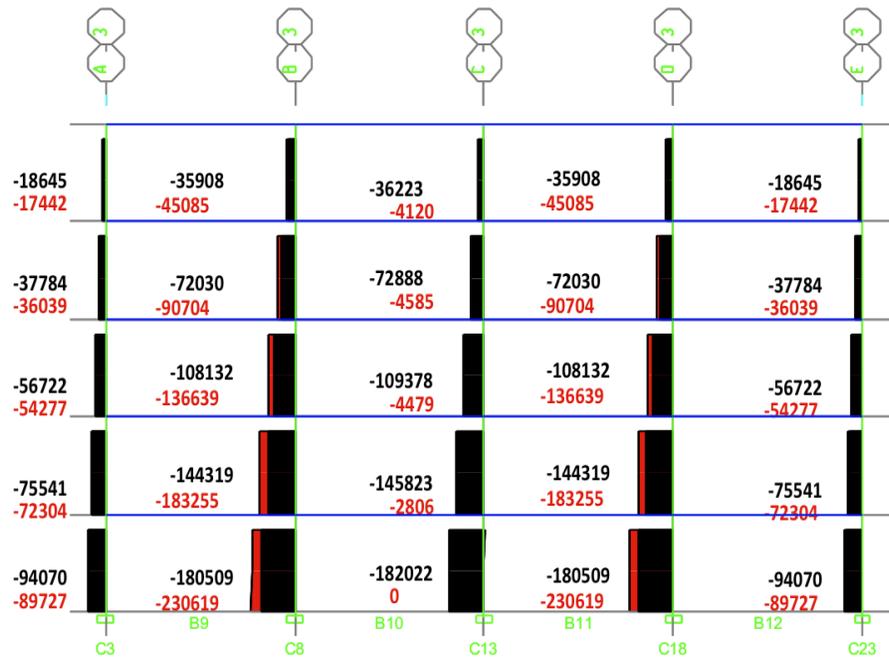


Figura 27 Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 5 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

## Mapa de Desplazamientos Verticales del Piso 5 Caso (C)

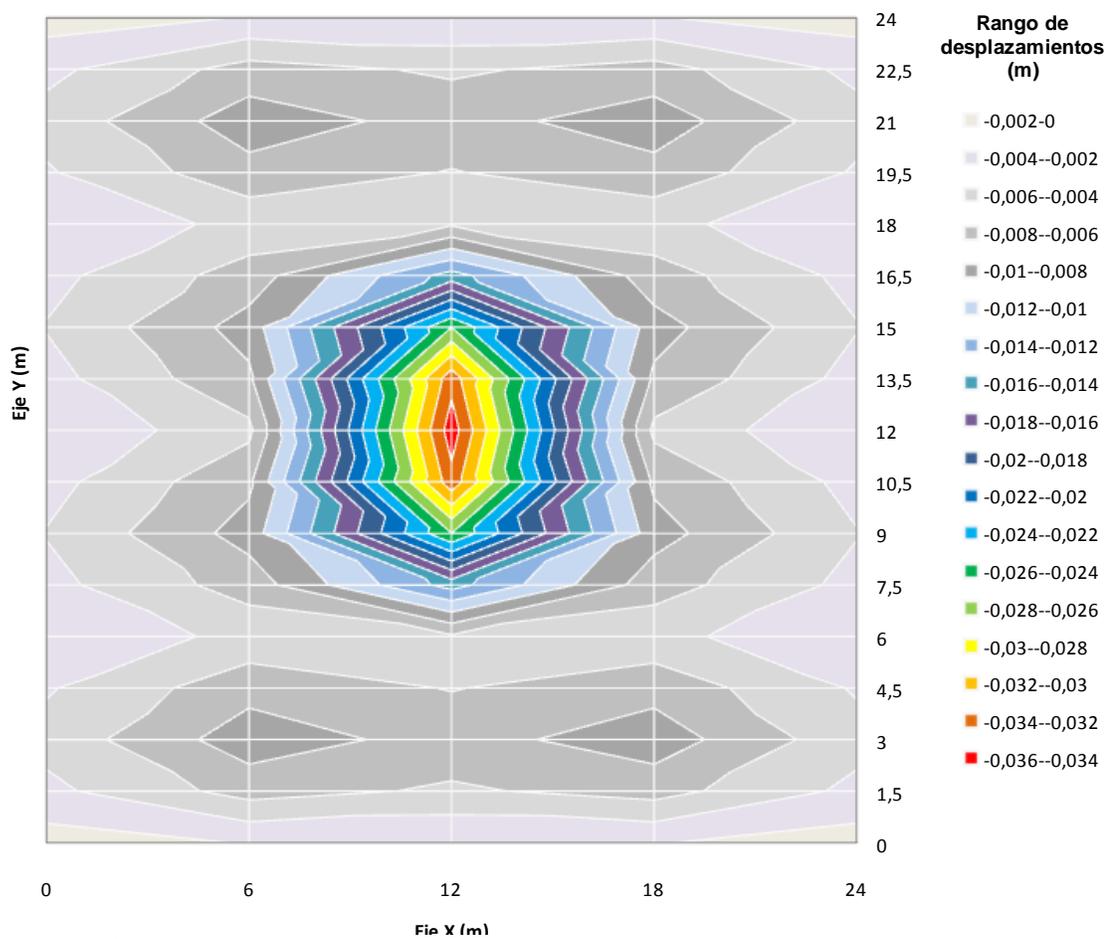
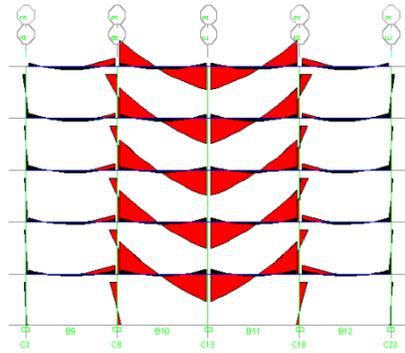


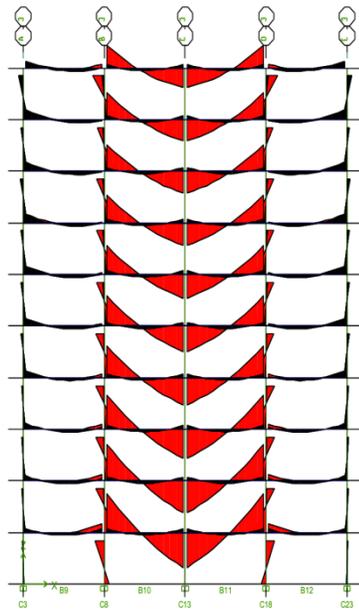
Figura 28 Mapa de desplazamientos verticales del piso 5, para el edificio de 5 pisos. Caso (C).

Fuente: Autores con Microsoft Office Excel.



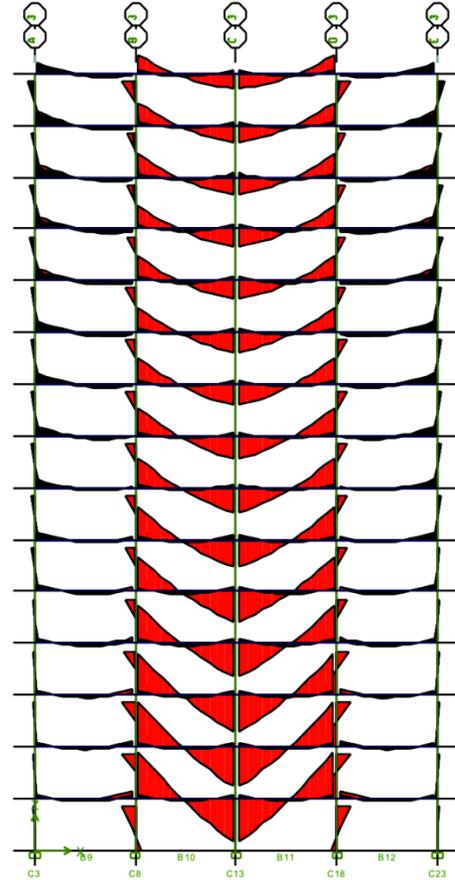
**Figura 29.** Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico 3 para el edificio de 5 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.



**Figura 30.** Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico 3 para el edificio de 10 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

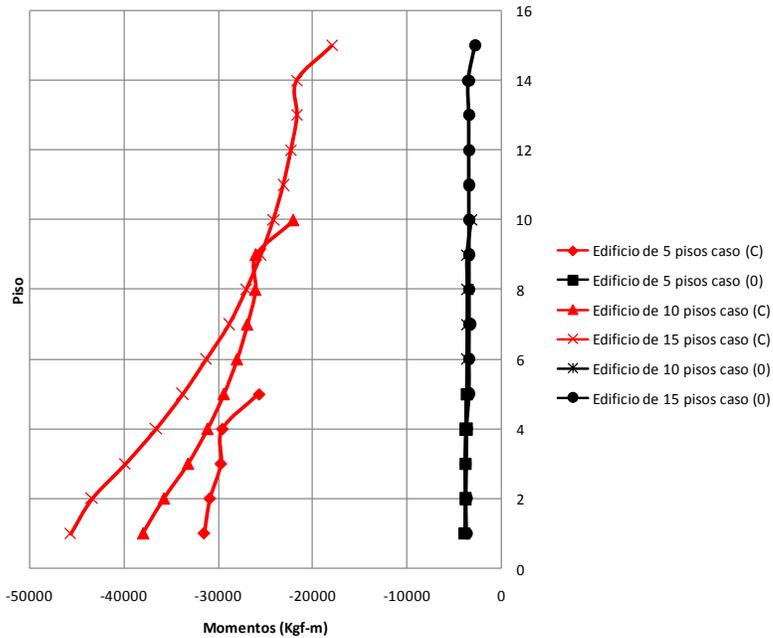
Fuente: ETABS y Autores.



**Figura 31.** Diagramas de momento en kgf-m, del pórtico 3 para el edificio de 15 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

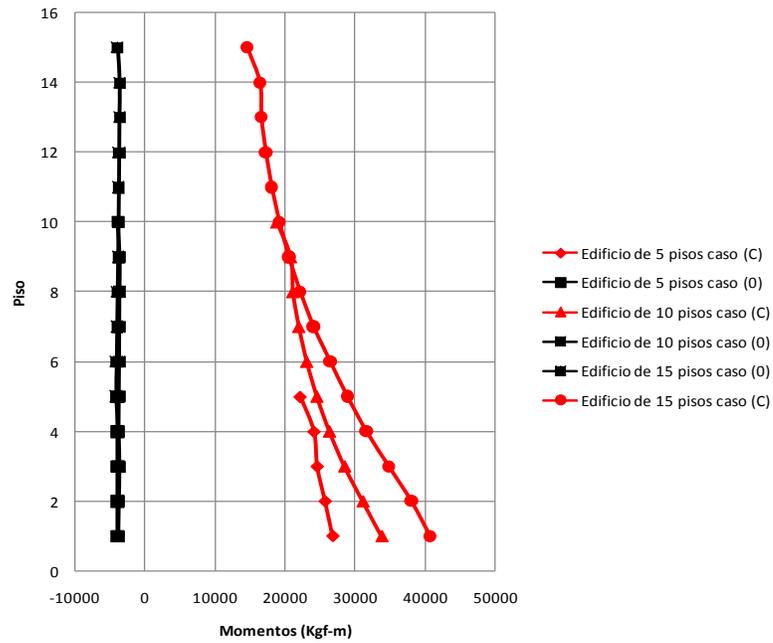
Fuente: ETABS y Autores.

**MOMENTOS EN LA VIGA B10  
EXTREMO CONECTADO A C8**



**Figura 32. Diagramas de momento vs altura de los edificios de 5,10 y 15 pisos en los casos (C) y (0) para la viga B10 en el extremo C8. Fuente: Autores con Microsoft Office Excel.**

**MOMENTOS EN LA VIGA B10  
EXTREMO CONECTADO A C13**



**Figura 33. Diagramas de momento vs altura de los edificios de 5,10 y 15 pisos en los casos (C) y (0) para la viga B10 en el extremo C13. Fuente: Autores con Microsoft Office Excel.**

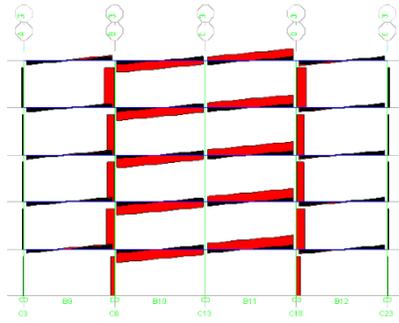


Figura 34. Diagramas de corte en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 5 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

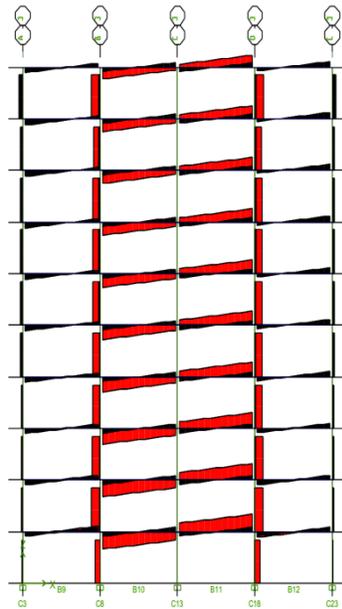


Figura 35. Diagramas de corte en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 10 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

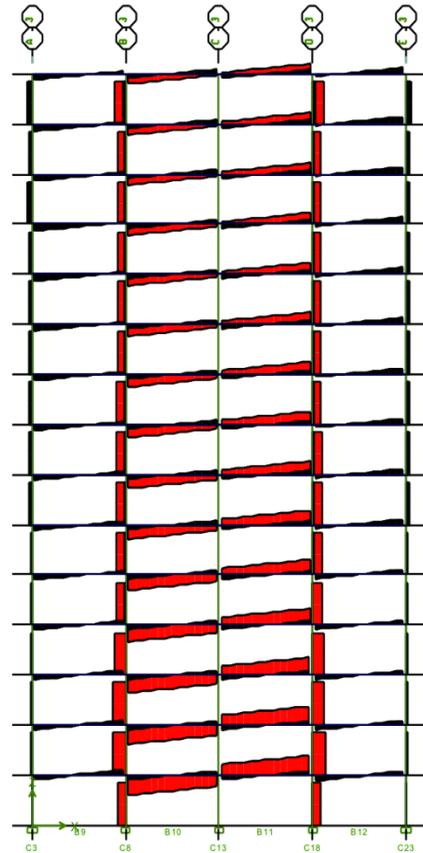
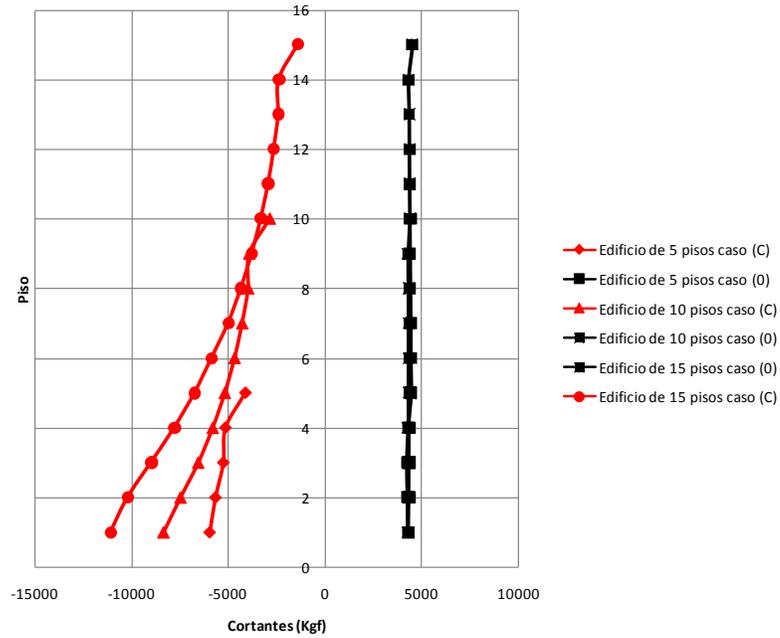


Figura 36 Diagramas de corte en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 15 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

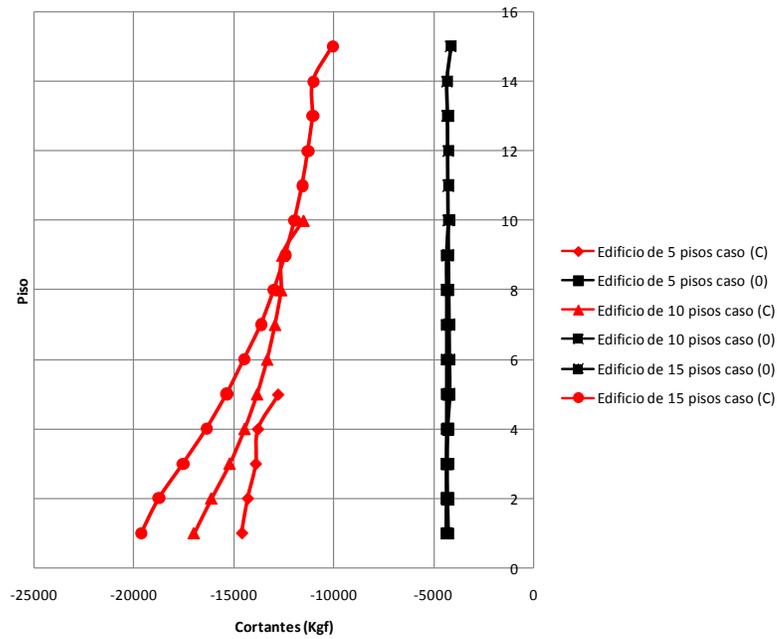
Fuente: ETABS y Autores.

**CORTANTES EN LA VIGA B10  
EXTREMO CONECTADO A C13**

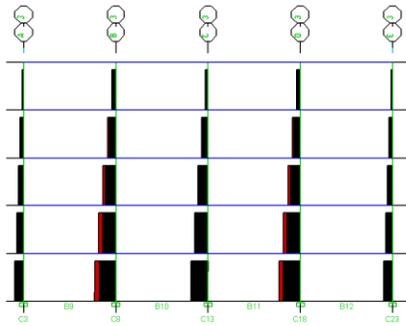


**Figura 38. Diagramas de cortante vs altura de los edificios de 5,10 y 15 pisos en los casos (C) y (0) para la viga B10 en el extremo C13. Fuente: Autores con Microsoft Office Excel.**

**CORTANTES EN LA VIGA B10  
EXTREMO CONECTADO A C8**

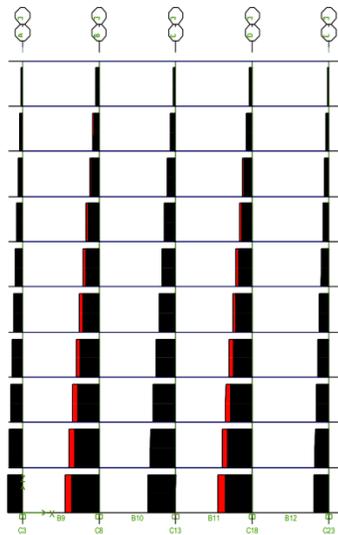


**Figura 37. Diagramas de cortante vs altura de los edificios de 5,10 y 15 pisos en los casos (C) y (0) para la viga B10 en el extremo C8. Fuente: Autores con Microsoft Office Excel.**



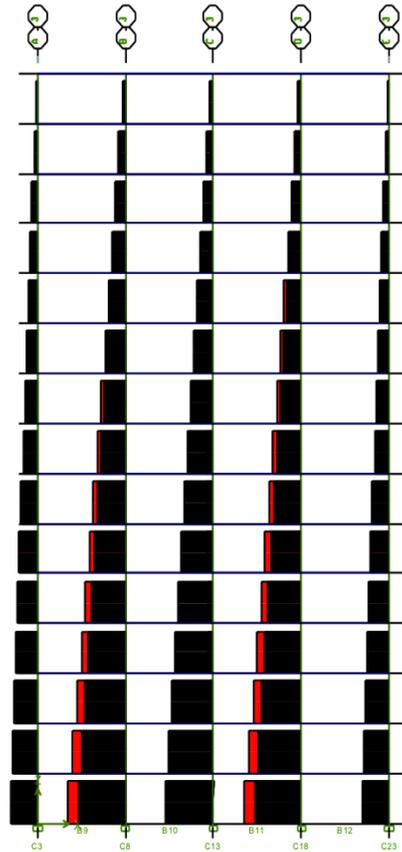
**Figura 39** Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 5 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.



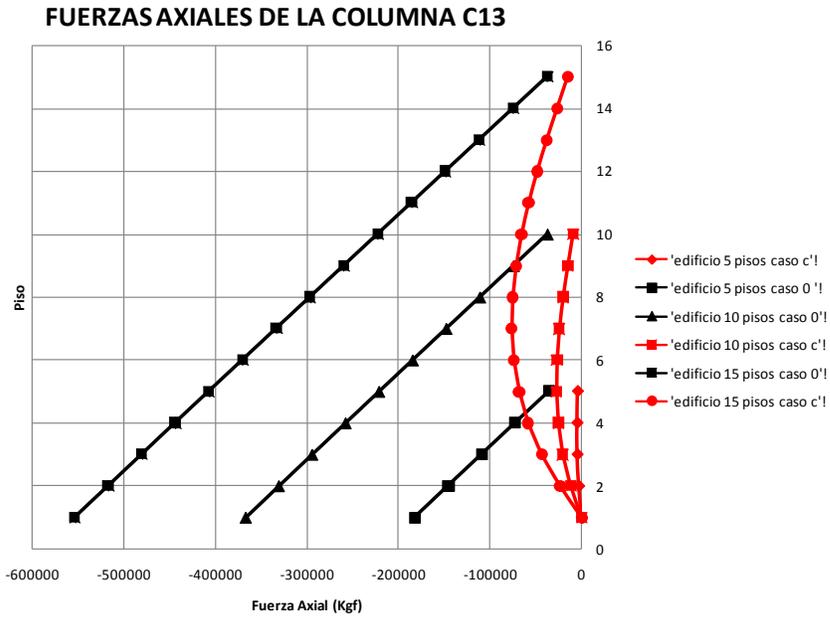
**Figura 40** Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 10 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.

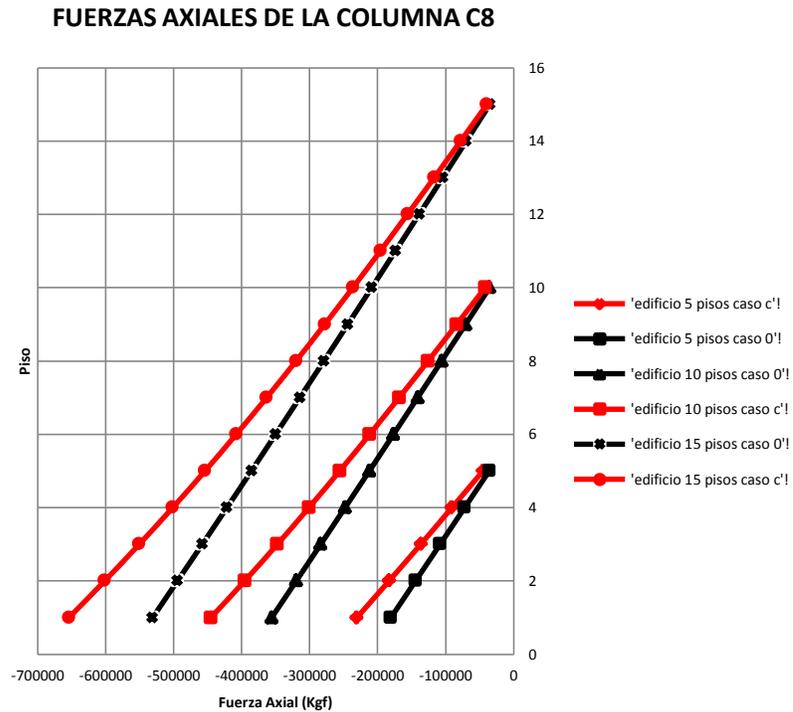


**Figura 41** Diagramas de fuerza axial en kgf, del pórtico 3 para el edificio de 15 pisos. Caso (C) y Caso (0) superpuestos.

Fuente: ETABS y Autores.



**Figura 42** Diagramas de axial vs altura de los edificios de 5,10 y 15 pisos en los casos (C) y (0) para la viga B10 en el extremo C13.  
 Fuente: Autores con Microsoft Office Excel.



**Figura 43.** Diagramas de axial vs altura de los edificios de 5,10 y 15 pisos en los casos (C) y (0) para la viga B10 en el extremo C8.  
 Fuente: Autores con Microsoft Office Excel.

## 4.2 DISCUSIÓN

La discusión se divide en dos partes. Primero se describe lo observado en los resultados, y luego se dan explicaciones.

### Observaciones

#### **Caso ( F - ):**

En las figuras 5 y 6 se ve como los diagramas de corte y momento aumentan, concentrándose hacia la columna que pierde soporte. Llegando a un máximo valor de momento de  $-21.861\text{kgf}\cdot\text{m}$  y un cortante de  $\pm 12.664\text{ kgf}$  en las vigas B22 Y B23.

También cabe destacar en la figura 5, que los momentos en los extremos de la viga B9 no se equilibran. Es decir, si se observa con detenimiento el momento de la viga B9 en el nodo C3, se ve que aparece un momento en verde de  $9.361\text{kgf}\cdot\text{m}$ , el cual no tiene un contrario para equilibrarse. Quiere decir que la única opción que le queda es el equilibrio en el sentido vertical con la columna C3. Este momento que aparece en las columnas, se puede observar visualmente (sin valores) en la figura 7.

En las figuras 7 y 8 se observa como los cortantes y momentos aumentan a medida que se descienden los pisos. Con un momento que va hasta un máximo de  $-25.266\text{ kgf}\cdot\text{m}$ , y un cortante que llega a los  $13.738\text{kgf}$ .

Además cabe resaltar como las vigas B22 y B23 se comportan como si fueran una sola con el doble de luz.

En la figura 9 se ve como las axiales de la columna C3 disminuyen notablemente, sobre todo a medida que nos acercamos a las bases del edificio, siendo  $0\text{kgf}$  en la columna de planta baja. Por otro lado, se observa que la fuerza axial aumenta en las columnas adyacentes (C2 y C4), aunque lo hace en menor proporción con respecto a lo que disminuye la columna C3.

Curiosamente además, se ve que en las columnas externas existe una pequeña disminución de las axiales.

Por último, en la figura 10, se ve como los desplazamientos verticales se concentran en los dos paños conectados a la columna C3. En un rango que va desde aproximadamente un máximo de entre -2.6 y -2.4cm en color verde hasta un mínimo de entre -0.4cm y -0.2cm.

### **Caso ( F // ):**

En las figuras 11 y 12 se ve como los diagramas de corte y momento también aumentan al acercarse a la columna que pierde el soporte. Llegando a un máximo valor de momento de -26.251kgf-m y un cortante de  $\pm 18.197$ kgf en la viga B29.

En este caso hay que destacar que los momentos en planta no se encuentran en equilibrio en los nodos de las columnas C6 y C16. Pero, si se observa la figura 13, se ve como aparecen esos momentos en las columnas C6 y C16 vistas de perfil.

En la figuras 13, 14 y 15 se observan comportamientos similares a los explicados en el caso anterior.

Por último en la figura 16 se observa como los desplazamientos verticales se concentran en los dos paños que se conectan a la columna C11 en un rango que va desde aproximadamente un máximo de entre -2.4 y -2.2 cm en color azul hasta un mínimo de entre -0.4cm y -0.2cm.

Específicamente, en esta figura se ve que existe una relación entre, la falta de momento negativo en la viga B29, en el extremo conectado a la columna C11, y la prolongación o elongación de las curvas de desplazamientos en la dirección del eje y.

**Caso ( E ):**

En este caso se ve un comportamiento similar a los anteriores, existiendo una concentración de tensiones en la esquina.

En las figuras 16 y 17 se ve un máximo momento de  $-18.183\text{kgf}\cdot\text{m}$  y un cortante de  $10.786\text{ kgf}$  en la viga B21. En estas figuras se observa claramente también una falta de simetría de los momentos. Se puede ver en la figura 18, como la viga B1 equilibra el momento en la esquina con la columna C1, debajo.

En la figura 22 se observa como los desplazamientos verticales se concentran en la esquina, en un paño, y cuyo rango va desde aproximadamente un máximo de entre  $-2.4$  y  $-2.2\text{ cm}$  en color azul hasta un mínimo de entre  $-0.4\text{cm}$  y  $-0.2\text{cm}$ .

**Caso ( C ):**

En las figuras 23 y 24 se ven unos momentos y cortantes máximos de  $-33.964\text{ kgf}\cdot\text{m}$  y  $21.200\text{ kgf}$  respectivamente, en la viga B31 y por simetría en la B30.

En este caso todos los momentos se equilibran en el nodo de la columna C13, pero no lo hacen en las columnas adyacentes. Se puede observar entonces, la aparición de momentos en estas columnas (figura 25).

En la figura 28 se ve como se concentran los desplazamientos verticales, en los cuatro centrales del edificio. Con un rango que va desde un máximo de entre  $-3.6\text{ cm}$  y  $-3.4\text{cm}$  en color rojo hasta un mínimo de entre  $-0.6\text{cm}$  y  $-0.4\text{cm}$  en color gris.

Se observa que en los 4 casos existe una relación entre los momentos y los desplazamientos verticales. Siendo mayores los momentos en los sitios con mayores desplazamientos. En los anexos se muestra una superposición de estos para apreciar mejor lo dicho.

### **Comparación entre edificios de 5, 10 y 15 pisos:**

En las figuras 29,30, 31, 34, 35, 36, 39, 40 y 41 se observa como el comportamiento de los momentos, cortantes y axiales del edificio es similar en los tres edificios. La gran diferencia está en la relación de magnitud de los pisos comunes.

Con ayuda de las figuras 32, 33, 37 y 38 se ve como era el comportamiento de los momentos antes y después de la pérdida de soporte.

Se ve que inicialmente los momentos y cortantes en las vigas de los tres edificios eran prácticamente iguales en el caso 0. Luego existe un gran aumento en las magnitudes. Siendo mayor a medida que más pisos tiene el edificio.

De estas figuras cabe destacar como los momentos y cortantes son máximos abajo, y disminuyen a medida que se asciende. Con la curiosidad de que la tendencia es la misma en los tres edificios, y que por ejemplo se observa que siempre en el último piso existe una disminución brusca del momento.

En la figura 42, se observa como la axial de la columna C13 del caso (0) disminuye triangularmente a medida que se asciende, y como luego de perder soporte, no tiene casi fuerza axial y se comporta de manera curva. Teniendo un máximo cercano al centro, y mínimos en la parte superior e inferior.

Por otro lado en la figura 43 se ve como existe un aumento en las fuerzas axiales de las columnas adyacentes a la que pierde soporte (C8).

Finalmente, por los valores de corte, momento y axial observados en las figuras anteriores. Se puede deducir que el caso más sensible es el (C), luego los casos ( F  $\perp$  ) y ( F // ) y por último el (E).

Se hace difícil distinguir entre la gravedad del ( F  $\perp$  ) y el ( F // ). Para esto se pueden utilizar los valores de desplazamiento vertical.

Se puede ver que en el caso (C) se afectan 4 paños con un rango que varía entre el máximo y el mínimo desplazamiento en 3.2 cm, luego el caso

( F ⊥ ), que afecta 2 paños en un rango que varía hasta un valor de 2.4 cm, luego el caso ( F // ) que afecta 2 paños también pero varía en 2.2cm y finalmente el caso (E) que afecta 1paño y varia 2.2cm. Esto nos corrobora el orden de sensibilidad planteado anteriormente y además nos sirve para distinguir al caso ( F ⊥ ) como peor que el ( F // ).

### **Explicaciones**

Bajo condiciones normales, las cargas gravitacionales en un edificio aporticado, se transmiten, de losa a las vigas, de las vigas a las columnas, y de las columnas al suelo. Esta transferencia está acompañada por la generación de diferentes tensiones en los miembros. En las vigas, principalmente se generan cortantes y momentos. Luego, esos cortantes pasan a las columnas como axiales, que se acumulan de piso en piso. Y, finalmente, las axiales se transfieren al suelo.

Cuando una columna pierde soporte, se corta el último paso del proceso. De manera que la carga tiene que buscar una ruta alterna:

La viga que intenta transmitir carga a las dos columnas de sus extremos, encuentra que una no puede resistir casi, por no tener forma de descargar al suelo.

Ahora las columnas adyacentes reciben casi toda la carga. Por lo tanto la mayor parte de la reacciones en la viga se concentran en un solo extremo. De aquí se entiende entonces, que las tensiones serán diferentes.

El hecho que la reacción se concentre en un extremo hace que las tensiones cortantes aumenten ahí (ver Anexo 1 y 2).

Por otro lado, una mayor concentración de fuerza hace que, se genere un mayor momento en uno de los extremos y disminuya en el otro. Por lo tanto tienen que aparecer unos nuevos momentos en los extremos que equilibren esta situación (ver Anexo 1 y 2).

Finalmente los cortantes generados en las vigas pasan como axiales a las columnas, y se acumulan de piso en piso.

Esta acumulación de axiales se traduce también en una acumulación de cortantes y momentos.

Sabiendo esto podemos explicar el orden de sensibilidad de los casos estudiados.

Si el peso aguantado por la columna que pierde el soporte pasa a las adyacentes. Entonces el peor caso será, aquel que tenga más peso y menos miembros a los cuales repartir. Es decir aquel con la mayor relación entre número de paños y número de columnas que se le conectan.

Para este análisis se realiza la siguiente tabla:

| Tabla x  |                            |                               |          |                       |
|----------|----------------------------|-------------------------------|----------|-----------------------|
| Caso     | Número de paños vinculados | Número de columnas adyacentes | Relación | Orden de peligrosidad |
| (C)      | 4                          | 4                             | 1        | 1                     |
| ( F ⊥ )  | 2                          | 3                             | 0.67     | 2                     |
| ( F // ) |                            |                               |          |                       |
| (E)      | 1                          | 2                             | 0.5      | 3                     |

**El más peligroso es el 1 y el menos el 3. Nótese que este análisis no distingue entre fachadas.**

Vemos entonces que esta relación explica porque los momentos vistos en planta son mayores en el caso (C), luego en los casos ( F ⊥ ) y ( F // ), y por último (E).

Por otro lado, también se puede usar la distorsión angular como medio de comparación entre casos.

De los valores de desplazamiento vertical del piso 5 mostrados en los anexos, se toman exactamente: Para una viga, el que ocurre en el extremo que

perdió soporte y el menor entre los valores de desplazamiento del otro extremo.

Dividiendo la diferencia de estos valores entre la luz de la viga se obtiene la distorsión angular (ver tabla a continuación).

| Tabla de Distorsión angular |        |        |              |                                 |
|-----------------------------|--------|--------|--------------|---------------------------------|
| Caso                        | S1(cm) | S2(cm) | Longitud(cm) | Distorsión angular $\Delta S/L$ |
| (C)                         | -3.51  | -.55   | 600          | 1/203                           |
| ( F <sub>1</sub> )          | -2.56  | -.33   |              | 1/269                           |
| ( F// )                     | -2.39  | -.3    |              | 1/287                           |
| (E)                         | -2.22  | -.21   |              | 1/299                           |

**Nótese que con esta tabla se puede diferenciar la gravedad de todos los casos. Mientras menor sea el denominador en la distorsión angular, más grave será el caso.**

Cabe destacar que los valores de distorsión angular expuestos arriba son del quinto piso del edificio de 5 pisos. Se tomó arbitrariamente ese piso porque, como se menciona anteriormente, lo que se estudia son las relaciones entre los casos y no la magnitud.

Por último, al comparar los pisos en común de los edificios de 5, 10 y 15 pisos, notamos que mientras más alto es, más afectado se ve por la pérdida de soporte. Se dice esto porque, teniendo un mismo perfil de viga, se observa que los diagramas de corte y momento son mayores mientras más alto es el edificio.

Esto es porque, como se mencionó anteriormente, existe una acumulación de tensiones a medida que se descende verticalmente. Entonces, mientras más pisos, más carga se acumula.

Tomando en cuenta que los edificios se diseñaron mediante un análisis estático lineal, se asume que los miembros que conforman cada una de las estructuras, no exceden su capacidad bajo las demandas producidas por el fenómeno de pérdida de soporte. Dicho estudio aplica para los tres edificios.

Aunque puedan haber algunos miembros cuyo valor de DEMANDA/CAPACIDAD sean solo un poco mayor a 1 (ver anexos 7 a 12). Esto no afectaría para el análisis lineal porque se sabe que detrás de los valores de DEMANDA/CAPACIDAD, hay muchos factores de seguridad y reducción como por ejemplo:  $\phi_b = 0,90$ . Además hay que considerar que el edificio sólo fue diseñado para resistir cargas gravitacionales, por lo tanto si se hubiese diseñado para sismo, sus miembros serían más grandes y los valores de DEMANDA/CAPACIDAD disminuirían.

Aún así, aunque algunos miembros de la estructura sobrepasaran su capacidad, la estructura todavía permanecería en pie mientras no se genere un mecanismo.

Para que se genere un mecanismo de colapso, tiene que fallar cierta cantidad de miembros claves, dando inestabilidad a la estructura. El mecanismo puede ser formado por pandeo, fatiga ó suficientes articulaciones plásticas en el sistema, entre otros.

Debido a la configuración de los edificios estudiados, el tipo de mecanismo más probable a ocurrir es el de articulaciones plásticas. Para que se formen estas articulaciones, se debe someter al miembro a unas cargas anormales que hagan vencer su resistencia a la flexión haciéndolo llegar a la zona de plastificación en una determinada sección de este.

Sin embargo, para poder entrar al concepto de plastificación en miembros, que generalmente se hablan de vigas en este caso, se debe aclarar que para una viga llegar a la plastificación, esta debe tener su momento nominal resistente a la flexión igual al momento plástico ( $M_p$ ). Es decir que no sufre ningún tipo de pandeo antes de que se le forme la primera articulación plástica.

Para estudiar la plastificación en miembros y poder analizar un posible mecanismo de falla en la estructura, vendría mejor hacer un análisis estático no lineal.

## CAPÍTULO V

### 5.1 CONCLUSIONES

- El orden de sensibilidad está relacionado con el peso soportado por la columna afectada, y el número de miembros a los que está conectada.
- El grado de alteración de las tensiones en los miembros aumenta a medida que se aproximan a la columna crítica. Visto tanto en planta como en perfil.
- El caso más grave es (C), luego ( F  $\perp$  ), después ( F // ), y por último (E).
- Mientras más alto, más afectado es el edificio por la pérdida de soporte.
- Los pisos más afectados en todos los edificios que están sometidos por la pérdida de soporte son los primeros.
- Luego de la pérdida de soporte, la carga anteriormente aguantada por la columna en cuestión, pasa mayoritariamente, a las columnas adyacentes a través de las vigas.
- Los desplazamientos verticales en un piso están relacionados con los momentos de este.
- Los valores de DEMANDA/CAPACIDAD ayudan a determinar las potenciales localizaciones donde las fallas podrían ocurrir.
- Los métodos gráficos son herramientas útiles y muy prácticas para entender la gravedad del daño que se ocasiona en una estructura cuando se encuentra sometida por este tipo de fenómenos.
- La influencia de la pérdida de soporte en una estructura es tan importante como la afectación por otros fenómenos.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Existe un gran número de variables que no se estudiaron, o tomaron en cuenta en esta tesis, ya que sería muy complejo a realizar en un solo trabajo, pero se sugiere que se consideren en trabajos posteriores, uno a uno, cada uno de los siguientes efectos:

- Irregularidad del edificio.
- Estudiar el caso en donde ocurra la pérdida de soporte en una columna central pero no simétrica.
- Estudiar el efecto de la fuerza sísmica aunque se considera baja la probabilidad de que ocurran simultáneamente los dos efectos.
- En vista que los momentos y cortantes aumentan significativamente en las vigas de los pisos inferiores luego de la pérdida de soporte, se recomienda estudiar el efecto de la utilización de vigas más grandes en los primeros pisos u otra solución podría ser, colocar arriostramientos diagonales en los pisos inferiores.
- Se recomienda hacer el estudio considerando el aporte de las vigas de riostra en la solución del sistema estructural.
- Se recomienda estudiar la pérdida de soporte en un edificio de concreto. Principalmente debido a que el concreto no resiste casi a tracción, y como se observó en esta investigación, la pérdida de soporte conlleva la inversión de signos de los momentos en algunas partes de la estructura. Esto podría causar mayores consecuencias en edificios de concreto si no están debidamente reforzados con acero en esos puntos.
- Estudiar el comportamiento plástico de una estructura cuando por pérdida de soporte, la capacidad resistente de sus miembros sea menor que la carga que reciben. Esto incluye la disminución de grados de hiperestaticidad por medio de formación de rótulas plásticas y la evaluación de mecanismos de colapso.
- Estudiar cómo afecta el hecho de que el edificio este diseñado sísmicamente, a la pérdida de soporte.

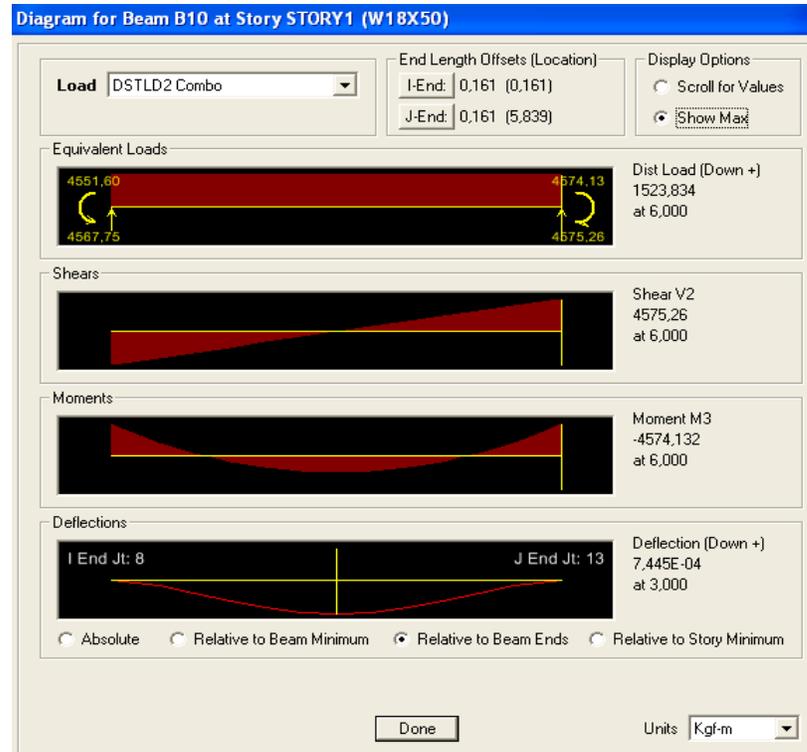
- En sitios propensos a fallas de fundación, utilizar pilotes en vez de fundaciones superficiales, ya que es muy difícil que se ocasione la pérdida de soporte debido a la profundidad a la cual se entierra el pilote.

## BIBLIOGRAFÍA

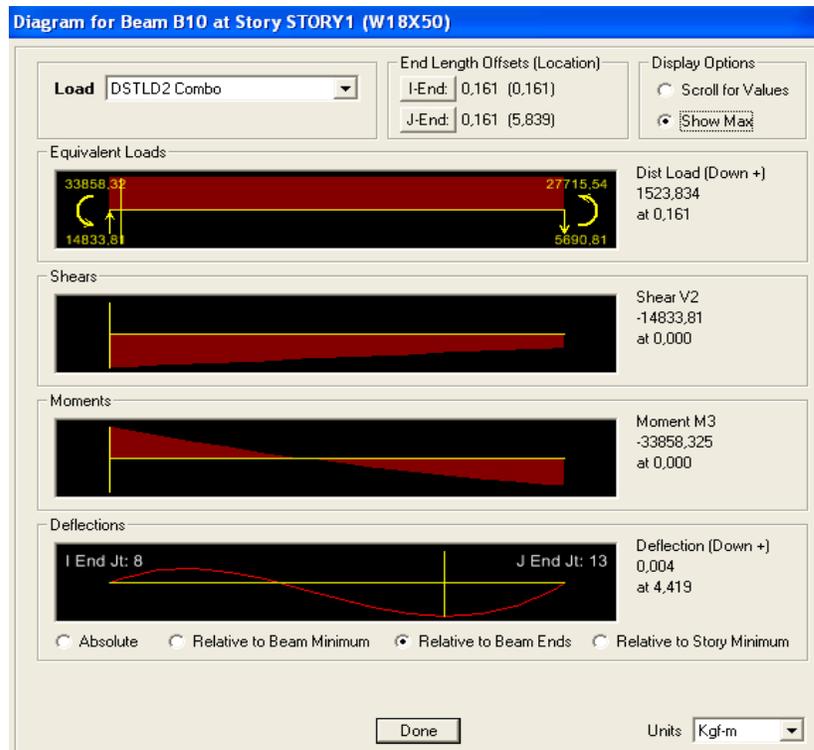
1. Alcina, O. (1998) "*Búsqueda de parámetros adimensionales para predecir los efectos de asentamientos diferenciales en pórticos*". Trabajo Especial de Grado no publicado. Universidad Católica Andrés Bello.
2. Bendito, A. "*Introducción al comportamiento y al diseño de estructuras de acero. Método de los Estados Límite*". Universidad de Los Andes. Consultado Septiembre 2011. Disponible en: <http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/americanab/>
3. COVENIN 1753 (2006). "*Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural*". En proceso de aprobación.
4. Marchand, K y Alfawakhiri, F. (2005). *Facts for Steel Buildings Number 2 - Blast and Progressive Collapse.*" American Institute of Steel Construction, Inc.
5. Palencia, E. (2011). "*Método de refuerzo de la estructura de una edificación aporricada virtual, para mitigar los efectos producidos por asentamientos diferenciales, mediante el uso del programa ETABS*": Trabajo Especial de Grado no publicado.
6. Pérez Marrero, J. y Santos Simoza E. (1999). "*Búsqueda de parámetros adimensionales en la determinación de efectos de asentamientos en porticos de acero y concreto*". Trabajo Especial de Grado no publicado. UNEFA.
7. R.Shankar Nair, Marzo (2004), "Progressive Collapse Basics". Revista Modern Steel Construction. Disponible en: [http://www.modernsteel.com/uploads/issues/March\\_2004/30727\\_nair.pdf](http://www.modernsteel.com/uploads/issues/March_2004/30727_nair.pdf).
8. Rojas, S. "*Material de apoyo de Fundaciones parte II Teoría de Elasticidad para Estimación de Asentamientos y Tensiones*". Universidad de Los Andes. Consultado Septiembre 2011. Disponible en: [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/silviorojas/fundaciones/CapIII\\_Ase ntElasticos/CapIII\\_104-115.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/silviorojas/fundaciones/CapIII_Ase ntElasticos/CapIII_104-115.pdf).

9. U.S. General Services *Administration Progressive (Disproportionate) Collapse Definitions*. Consultado Septiembre 2011. Disponible en: <http://www.gsa.gov./portal/content/103202>.
10. Valencia, G. (2004). "Estructuras de acero. Diseño con factores de cargas y de resistencia." 2da edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

## **ANEXOS**

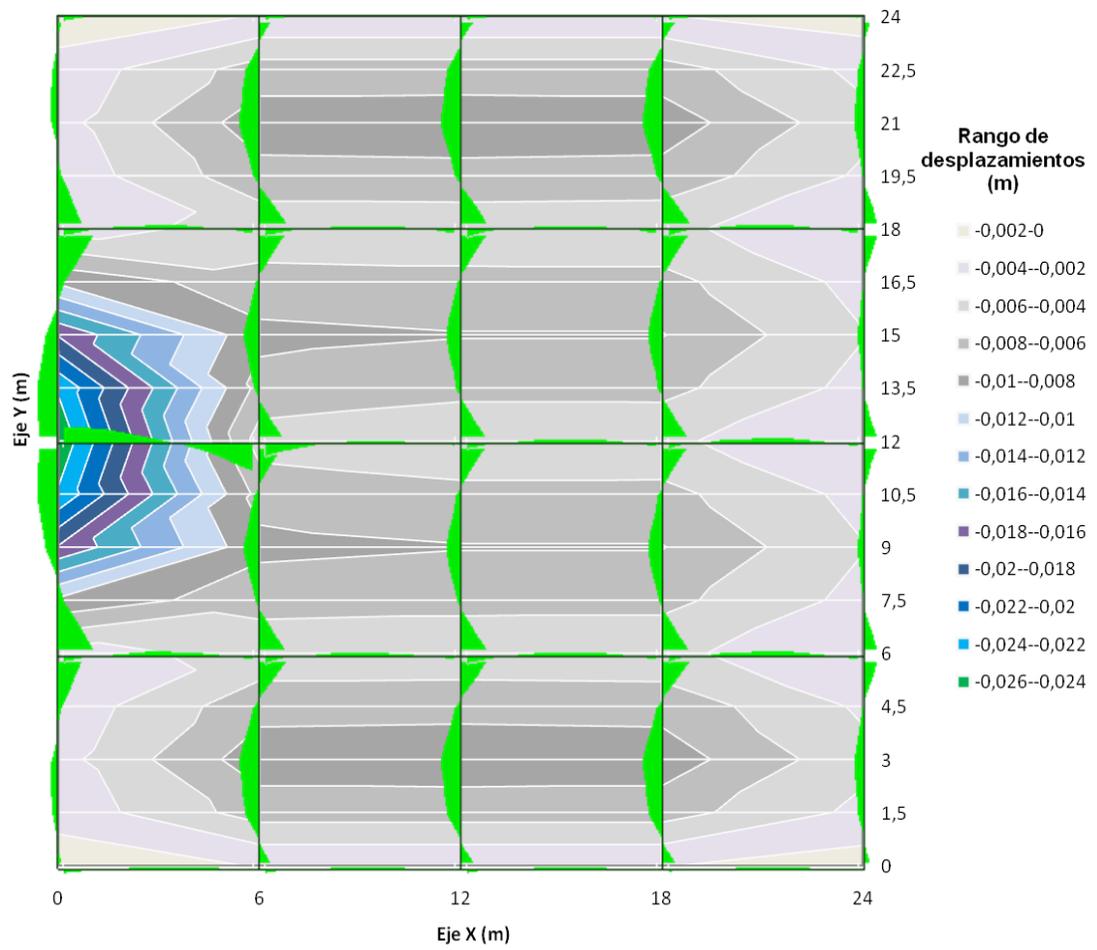


**Anexo 1. Diagramas de cuerpo libre, corte, momento y deflexión de la viga B10 en el piso 1, para el edificio de 5 pisos. Caso (0)**



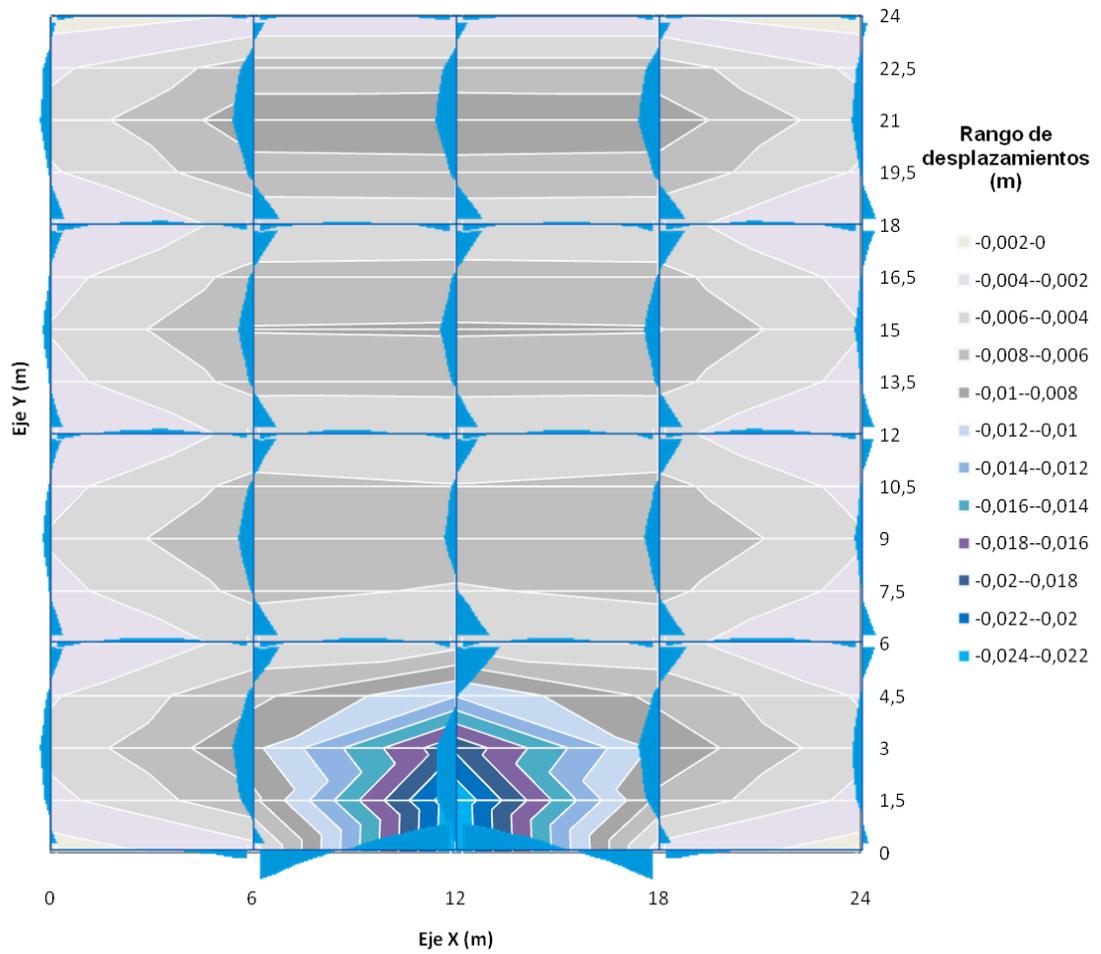
**Anexo 2. Diagramas de cuerpo libre, corte, momento y deflexión de la viga B10 en el piso 1, para el edificio de 5 pisos. Caso (C)**

### Mapa de Desplazamientos Verticales del Piso 5 Caso ( F $\perp$ )



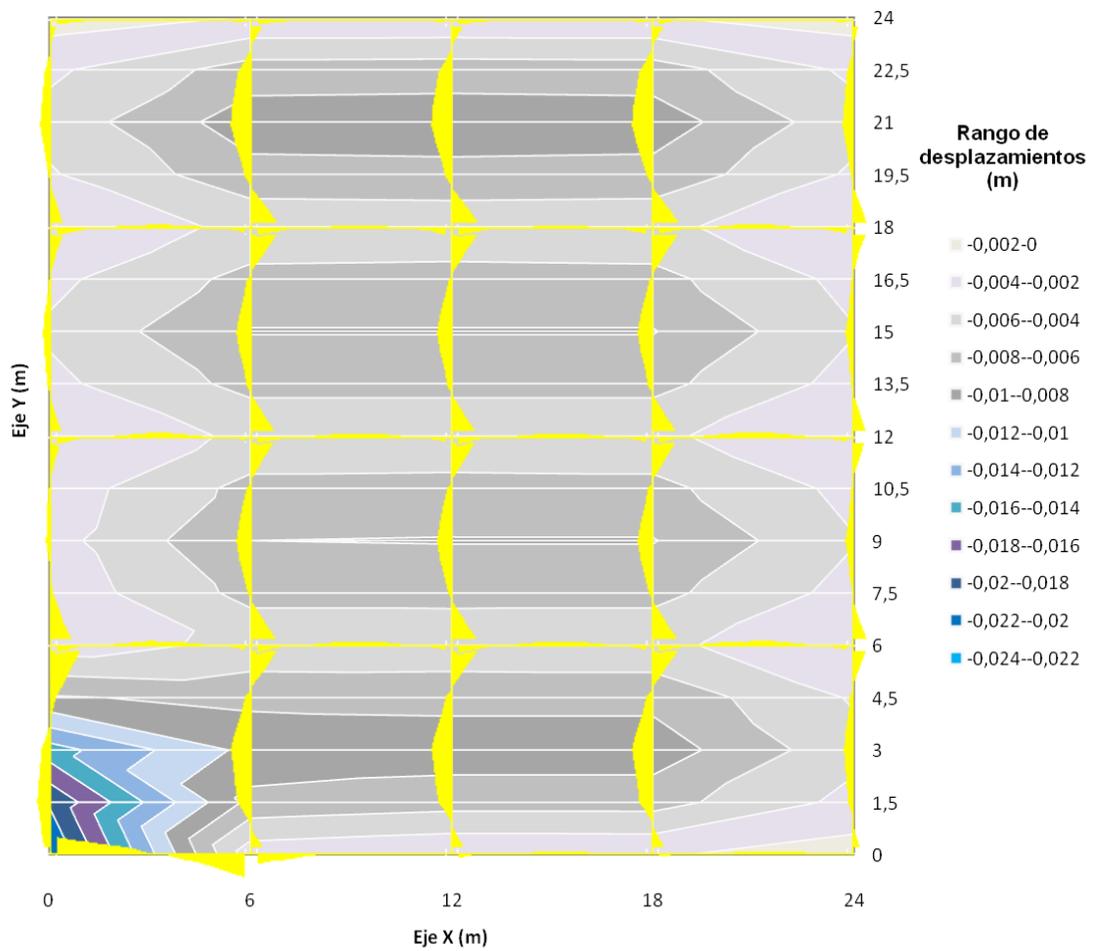
Anexo 3. Figura 10 superpuesta sobre Figura 6

### Mapa de Desplazamientos Verticales del Piso 5 Caso ( F // )



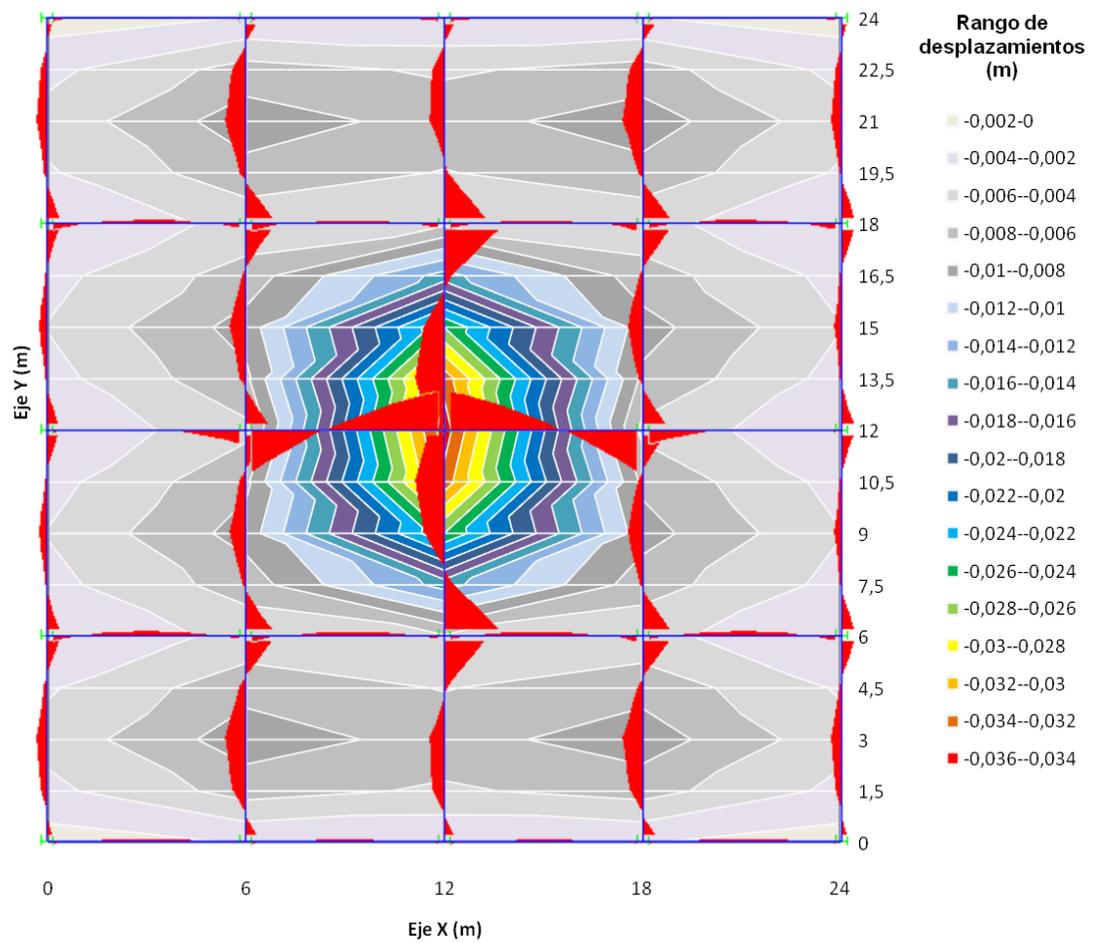
Anexo 4. Figura 16 superpuesta sobre Figura 12

## Mapa de Desplazamientos Verticales del Piso 5 Caso (E)



Anexo 5. Figura 22 superpuesta sobre Figura 18

## Mapa de Desplazamientos Verticales del Piso 5 Caso (C)



Anexo 6. Figura 28 superpuesta sobre Figura 24

|   |       |   |       |   |       |   |       |   |
|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|
|  |       |  |       |  |       |  |       |  |
| 0.235   | 0.304 | 0.054   | 0.295 | 0.037   | 0.295 | 0.054   | 0.304 | 0.235   |
| 0.220   | 0.284 | 0.083   | 0.283 | 0.075   | 0.283 | 0.083   | 0.284 | 0.220   |
| 0.238   | 0.291 | 0.240   | 0.283 | 0.225   | 0.283 | 0.240   | 0.291 | 0.238   |
| 0.269   | 0.296 | 0.324   | 0.284 | 0.301   | 0.284 | 0.324   | 0.296 | 0.269   |
| 0.198   | 0.308 | 0.400   | 0.292 | 0.379   | 0.292 | 0.400   | 0.308 | 0.198   |
| □   | B29   | □   | B30   | □   | B31   | □   | B32   | □   |

**Anexo 7. Valores de DEMANDA/CAPACIDAD, edificio de 5 pisos, caso 0, p<sup>o</sup>rtico C.**

|  |       |  |       |  |       |  |       |  |
|--|-------|--|-------|--|-------|--|-------|--|
|  |       |  |       |  |       |  |       |  |
| 0.200  | 0.472 | 0.309  | 0.649 | 0.004  | 0.649 | 0.309  | 0.472 | 0.200  |
| 0.192  | 0.399 | 0.336  | 0.706 | 0.005  | 0.706 | 0.336  | 0.399 | 0.192  |
| 0.204  | 0.417 | 0.505  | 0.714 | 0.005  | 0.714 | 0.505  | 0.417 | 0.204  |
| 0.220  | 0.428 | 0.622  | 0.734 | 0.003  | 0.734 | 0.622  | 0.428 | 0.220  |
| 0.164  | 0.469 | 0.620  | 0.743 | 3.148E-04  | 0.743 | 0.620  | 0.469 | 0.164  |
| □  | B29   | □  | B30   | □  | B31   | □  | B32   | □  |
| C11  |       | C12  |       | C13  |       | C14  |       | C15  |

**Anexo 8. Valores de DEMANDA/CAPACIDAD, edificio de 5 pisos, caso C, p<sup>o</sup>rtico C.**



|       |       |       |       |           |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 0.286 | 0.377 | 0.331 | 0.571 | 0.009     | 0.571 | 0.331 | 0.377 | 0.286 |
| 0.269 | 0.289 | 0.352 | 0.627 | 0.015     | 0.627 | 0.352 | 0.289 | 0.269 |
| 0.288 | 0.305 | 0.503 | 0.634 | 0.021     | 0.634 | 0.503 | 0.305 | 0.288 |
| 0.299 | 0.316 | 0.595 | 0.649 | 0.025     | 0.649 | 0.595 | 0.316 | 0.299 |
| 0.308 | 0.331 | 0.669 | 0.669 | 0.028     | 0.669 | 0.669 | 0.331 | 0.308 |
| 0.408 | 0.351 | 0.787 | 0.695 | 0.028     | 0.695 | 0.787 | 0.351 | 0.408 |
| 0.432 | 0.374 | 0.889 | 0.727 | 0.026     | 0.727 | 0.889 | 0.374 | 0.432 |
| 0.451 | 0.403 | 0.994 | 0.765 | 0.021     | 0.765 | 0.994 | 0.403 | 0.451 |
| 0.475 | 0.435 | 1.120 | 0.812 | 0.012     | 0.812 | 1.120 | 0.435 | 0.475 |
| 0.438 | 0.492 | 1.008 | 0.850 | 3.148E-04 | 0.850 | 1.008 | 0.492 | 0.438 |
| C11   | B29   | C12   | B30   | C13       | B31   | C14   | B32   | C15   |

Anexo 10. Valores de DEMANDA/CAPACIDAD, edificio de 10 pisos, caso C, p rtico C.

|     | C-1   | C-2   | C-3   | C-4   | C-5   |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
|     | 0,324 | 0,281 | 0,283 | 0,283 | 0,281 |
|     | 0,300 | 0,321 | 0,286 | 0,286 | 0,321 |
|     | 0,324 | 0,301 | 0,284 | 0,284 | 0,301 |
|     | 0,339 | 0,299 | 0,284 | 0,284 | 0,299 |
|     | 0,431 | 0,292 | 0,284 | 0,284 | 0,292 |
|     | 0,466 | 0,285 | 0,284 | 0,284 | 0,285 |
|     | 0,500 | 0,276 | 0,284 | 0,284 | 0,276 |
|     | 0,532 | 0,265 | 0,283 | 0,283 | 0,265 |
|     | 0,563 | 0,258 | 0,283 | 0,283 | 0,258 |
|     | 0,593 | 0,257 | 0,282 | 0,282 | 0,257 |
|     | 0,625 | 0,267 | 0,281 | 0,281 | 0,267 |
|     | 0,657 | 0,278 | 0,279 | 0,279 | 0,278 |
|     | 0,682 | 0,283 | 0,277 | 0,277 | 0,283 |
|     | 0,673 | 0,289 | 0,274 | 0,274 | 0,289 |
|     | 0,663 | 0,305 | 0,278 | 0,278 | 0,305 |
| C11 |       |       |       |       |       |
| B29 |       |       |       |       |       |
| C12 |       |       |       |       |       |
| B30 |       |       |       |       |       |
| C13 |       |       |       |       |       |
| B31 |       |       |       |       |       |
| C14 |       |       |       |       |       |
| B32 |       |       |       |       |       |
| C15 |       |       |       |       |       |

Anexo 11. Valores de DEMANDA/CAPACIDAD, edificio de 15 pisos, caso 0, pórtico C.



## Anexo 13

| TABLA DE MOMENTOS DE LAS VIGAS B10 Y B11 PARA LOS EDIFICIOS DE 5, 10 Y 15 PISOS |                      |      |      |                         |  |   |   |
|---|----------------------|------|------|-------------------------|--|---|---|
| Tipo de caso  | Combinacion de carga | Viga | Piso | Localización en la viga | Edificio de 5 pisos<br>Momento (Kgf-m) | Edificio de 10 pisos<br>Momento (Kgf-m) | Edificio de 15 pisos<br>Momento (Kgf-m) |
| 0   | CP+CV                | B10  | 5    | Extremo conectado a C8  | -3628                                  | -3631                                   | -3367                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | -3932                                  | -3730                                   | -4145                                   |
|   |                      |      | 4    | Extremo conectado a C8  | -3670                                  | -3665                                   | -3644                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | -3915                                  | -3754                                   | -3824                                   |
|   |                      |      | 3    | Extremo conectado a C8  | -3714                                  | -3711                                   | -3761                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | -3898                                  | -3778                                   | -3670                                   |
|   |                      |      | 2    | Extremo conectado a C8  | -3751                                  | -3762                                   | -3697                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | -3887                                  | -3802                                   | -3764                                   |
|   |                      |      | 1    | Extremo conectado a C8  | -3835                                  | -3802                                   | -3629                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | -3856                                  | -3851                                   | -3849                                   |
|   |                      | B11  | 5    | Extremo conectado a C13 | -3932                                  | -3730                                   | -4145                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -3628                                  | -3631                                   | -3367                                   |
|   |                      |      | 4    | Extremo conectado a C13 | -3915                                  | -3754                                   | -3824                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -3670                                  | -3665                                   | -3644                                   |
|   |                      |      | 3    | Extremo conectado a C13 | -3898                                  | -3778                                   | -3670                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -3714                                  | -3711                                   | -3761                                   |
|   |                      |      | 2    | Extremo conectado a C13 | -3887                                  | -3802                                   | -3764                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -3751                                  | -3762                                   | -3697                                   |
|   |                      |      | 1    | Extremo conectado a C13 | -3856                                  | -3851                                   | -3849                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -3835                                  | -3802                                   | -3629                                   |

## Anexo 14

| TABLA DE MOMENTOS DE LAS VIGAS B10 Y B11 PARA LOS EDIFICIOS DE 5, 10 Y 15 PISOS |                      |      |      |                         |  |   |   |
|---|----------------------|------|------|-------------------------|--|---|---|
| Tipo de caso  | Combinacion de carga | Viga | Piso | Localización en la viga | Edificio de 5 pisos<br>Momento (Kgf-m) | Edificio de 10 pisos<br>Momento (Kgf-m) | Edificio de 15 pisos<br>Momento (Kgf-m) |
| (C)   | CP+CV                | B10  | 5    | Extremo conectado a C8  | -25670                                 | -29379                                  | -33722                                  |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | 22190                                  | 24567                                   | 28886                                   |
|   |                      |      | 4    | Extremo conectado a C8  | -29543                                 | -31112                                  | -36572                                  |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | 24124                                  | 26365                                   | 31612                                   |
|   |                      |      | 3    | Extremo conectado a C8  | -29708                                 | -33186                                  | -39811                                  |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | 24580                                  | 28526                                   | 34800                                   |
|   |                      |      | 2    | Extremo conectado a C8  | -30880                                 | -35748                                  | -43342                                  |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | 25696                                  | 31135                                   | 38013                                   |
|   |                      |      | 1    | Extremo conectado a C8  | -31492                                 | 31135                                   | -45589                                  |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | 26773                                  | -37953                                  | 40681                                   |
|   |                      | B11  | 5    | Extremo conectado a C13 | 22190                                  | 24567                                   | 28886                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -25670                                 | -29379                                  | -33722                                  |
|   |                      |      | 4    | Extremo conectado a C13 | 24124                                  | 26365                                   | 31612                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -29543                                 | -31112                                  | -36572                                  |
|   |                      |      | 3    | Extremo conectado a C13 | 24580                                  | 28526                                   | 34800                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -29708                                 | -33186                                  | -39811                                  |
|   |                      |      | 2    | Extremo conectado a C13 | 25696                                  | 31135                                   | 38013                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -30880                                 | -35748                                  | -43342                                  |
|   |                      |      | 1    | Extremo conectado a C13 | 26773                                  | -37953                                  | 40681                                   |
|   |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -31492                                 | 31135                                   | -45589                                  |

## Anexo 15

| TABLA DE CORTANTES DE LAS VIGAS B10 Y B11 PARA LOS EDIFICIOS DE 5, 10 Y 15 PISOS (kgf) |                      |      |      |                         |                               |                                |                                |
|--|----------------------|------|------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Tipo de caso   | Combinacion de carga | Viga | Piso | Localización en la viga | Edificio de 5 pisos Cortantes | Edificio de 10 pisos Cortantes | Edificio de 15 pisos Cortantes |
| 0  | CP+CV                | B10  | 5    | Extremo conectado a C8  | -4272                         | -4308                          | -4183                          |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | 4379                          | 4343                           | 4457                           |
|  |                      |      | 4    | Extremo conectado a C8  | -4283                         | -4310                          | -4271                          |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | 4369                          | 4341                           | 4334                           |
|  |                      |      | 3    | Extremo conectado a C8  | -4293                         | -4314                          | -4303                          |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | 4358                          | 4337                           | 4271                           |
|  |                      |      | 2    | Extremo conectado a C8  | -4302                         | -4319                          | -4273                          |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | 4350                          | 4333                           | 4297                           |
|  |                      |      | 1    | Extremo conectado a C8  | -4322                         | -4332                          | -4244                          |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | 4329                          | 4312                           | 4322                           |
|  |                      | B11  | 5    | Extremo conectado a C13 | 4379                          | 4343                           | 4457                           |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -4272                         | -4308                          | -4183                          |
|  |                      |      | 4    | Extremo conectado a C13 | 4369                          | 4341                           | 4334                           |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -4283                         | -4310                          | -4271                          |
|  |                      |      | 3    | Extremo conectado a C13 | 4358                          | 4337                           | 4271                           |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -4293                         | -4314                          | -4303                          |
|  |                      |      | 2    | Extremo conectado a C13 | 4350                          | 4333                           | 4297                           |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -4302                         | -4319                          | -4273                          |
|  |                      |      | 1    | Extremo conectado a C13 | 4329                          | 4312                           | 4322                           |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -4322                         | -4332                          | -4244                          |

## Anexo 16

| TABLA DE CORTANTES DE LAS VIGAS B10 Y B11 PARA LOS EDIFICIOS DE 5, 10 Y 15 PISOS (kgf) |                      |      |      |                         |                              |                               |                               |
|--|----------------------|------|------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Tipo de caso   | Combinacion de carga | Viga | Piso | Localización en la viga | Edificio de 5 pisos Cortante | Edificio de 10 pisos Cortante | Edificio de 15 pisos Cortante |
| (C)  | CP+CV                | B10  | 5    | Extremo conectado a C8  | -12756                       | -13828                        | -15362                        |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | -4104                        | -5176                         | -6723                         |
|  |                      |      | 4    | Extremo conectado a C8  | -13778                       | -14449                        | -16377                        |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | -5127                        | -5798                         | -7772                         |
|  |                      |      | 3    | Extremo conectado a C8  | -13888                       | -15195                        | -17547                        |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | -5236                        | -6544                         | -8973                         |
|  |                      |      | 2    | Extremo conectado a C8  | -14291                       | -16106                        | -18751                        |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | -5639                        | -7455                         | -10180                        |
|  |                      |      | 1    | Extremo conectado a C8  | -14588                       | -16977                        | -19629                        |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C13 | -5937                        | -8333                         | -11063                        |
|  |                      | B11  | 5    | Extremo conectado a C13 | -4104                        | -5176                         | -6723                         |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -12756                       | -13828                        | -15362                        |
|  |                      |      | 4    | Extremo conectado a C13 | -5127                        | -5798                         | -7772                         |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -13778                       | -14449                        | -16377                        |
|  |                      |      | 3    | Extremo conectado a C13 | -5236                        | -6544                         | -8973                         |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -13888                       | -15195                        | -17547                        |
|  |                      |      | 2    | Extremo conectado a C13 | -5639                        | -7455                         | -10180                        |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -14291                       | -16106                        | -18751                        |
|  |                      |      | 1    | Extremo conectado a C13 | -5937                        | -8333                         | -11063                        |
|  |                      |      |      | Extremo conectado a C18 | -14588                       | -16977                        | -19629                        |

## Anexo 17

| TABLA DE FUERZAS AXIALES DE LAS COLUMNAS PARA LOS EDIFICIOS DE 5, 10 Y 15 PISOS (kgf) |                      |         |                      |                                |                                 |                                 |
|---|----------------------|---------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Tipo de caso  | Combinacion de carga | columna | Entrepiso            | Edificio de 5 pisos<br>F.Axial | Edificio de 10 pisos<br>F.Axial | Edificio de 15 pisos<br>F.Axial |
| 0   | CP+CV                | C3      | Planta baja - Piso 1 | -94070                         | -198185                         | -300824                         |
|   |                      | C3      | Piso 1 - Piso 2      | -75541                         | -179553                         | -282366                         |
|   |                      | C3      | Piso 2 - Piso 3      | -56722                         | -160457                         | -263661                         |
|   |                      | C3      | Piso 3 - Piso 4      | -37784                         | -141044                         | -244771                         |
|   |                      | C3      | Piso 4 - Piso 5      | -18645                         | -121343                         | -225628                         |
|   |                      | C8      | Planta baja - Piso 1 | -180509                        | -355954                         | -531094                         |
|   |                      | C8      | Piso 1 - Piso 2      | -144319                        | -319775                         | -494578                         |
|   |                      | C8      | Piso 2 - Piso 3      | -108132                        | -283765                         | -458088                         |
|   |                      | C8      | Piso 3 - Piso 4      | -72030                         | -247942                         | -421800                         |
|   |                      | C8      | Piso 4 - Piso 5      | -35908                         | -255887                         | -385801                         |
|   |                      | C13     | Planta baja - Piso 1 | -182022                        | -367113                         | -553894                         |
|   |                      | C13     | Piso 1 - Piso 2      | -145823                        | -330881                         | -517276                         |
|   |                      | C13     | Piso 2 - Piso 3      | -109378                        | -294423                         | -480686                         |
|   |                      | C13     | Piso 3 - Piso 4      | -72888                         | -257865                         | -444240                         |
|   |                      | C13     | Piso 4 - Piso 5      | -36223                         | -221201                         | -407471                         |
|   |                      | C18     | Planta baja - Piso 1 | -180509                        | -355954                         | -531094                         |
|   |                      | C18     | Piso 1 - Piso 2      | -144319                        | -319775                         | -494578                         |
|   |                      | C18     | Piso 2 - Piso 3      | -108132                        | -283765                         | -458088                         |
|   |                      | C18     | Piso 3 - Piso 4      | -72030                         | -247942                         | -421800                         |
|   |                      | C18     | Piso 4 - Piso 5      | -35908                         | -255887                         | -385801                         |
|   |                      | C23     | Planta baja - Piso 1 | -94070                         | -198185                         | -300824                         |
|   |                      | C23     | Piso 1 - Piso 2      | -75541                         | -179553                         | -282366                         |
|   |                      | C23     | Piso 2 - Piso 3      | -56722                         | -160457                         | -263661                         |
|   |                      | C23     | Piso 3 - Piso 4      | -37784                         | -141044                         | -244771                         |
| C23   | Piso 4 - Piso 5      | -18645  | -121343              | -225628                        |                                 |                                 |

## Anexo 18

| TABLA DE FUERZAS AXIALES DE LAS COLUMNAS PARA LOS EDIFICIOS DE 5, 10 Y 15 PISOS (kgf) |                      |         |                      |                                |                                 |                                 |
|---|----------------------|---------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Tipo de caso  | Combinacion de carga | columna | Entrepiso            | Edificio de 5 pisos<br>F.Axial | Edificio de 10 pisos<br>F.Axial | Edificio de 15 pisos<br>F.Axial |
| (C)   | CP+CV                | C3      | Planta baja - Piso 1 | -89727                         | -194500                         | -300730                         |
|   |                      | C3      | Piso 1 - Piso 2      | -72304                         | -177134                         | -283167                         |
|   |                      | C3      | Piso 2 - Piso 3      | -54277                         | -158881                         | -264996                         |
|   |                      | C3      | Piso 3 - Piso 4      | -36039                         | -140077                         | -246587                         |
|   |                      | C3      | Piso 4 - Piso 5      | -17442                         | -120777                         | -227913                         |
|   |                      | C8      | Planta baja - Piso 1 | -230619                        | -445465                         | -654132                         |
|   |                      | C8      | Piso 1 - Piso 2      | -183255                        | -395676                         | -601669                         |
|   |                      | C8      | Piso 2 - Piso 3      | -136639                        | -347613                         | -550780                         |
|   |                      | C8      | Piso 3 - Piso 4      | -90704                         | -301108                         | -501601                         |
|   |                      | C8      | Piso 4 - Piso 5      | -45085                         | -255887                         | -454050                         |
|   |                      | C13     | Planta baja - Piso 1 | 0                              | 0                               | 0                               |
|   |                      | C13     | Piso 1 - Piso 2      | -2806                          | -11822                          | -23427                          |
|   |                      | C13     | Piso 2 - Piso 3      | -4479                          | -20332                          | -43358                          |
|   |                      | C13     | Piso 3 - Piso 4      | -4585                          | -25246                          | -57986                          |
|   |                      | C13     | Piso 4 - Piso 5      | -4120                          | -27205                          | -67659                          |
|   |                      | C18     | Planta baja - Piso 1 | -230619                        | -445465                         | -654132                         |
|   |                      | C18     | Piso 1 - Piso 2      | -183255                        | -395676                         | -601669                         |
|   |                      | C18     | Piso 2 - Piso 3      | -136639                        | -347613                         | -550780                         |
|   |                      | C18     | Piso 3 - Piso 4      | -90704                         | -301108                         | -501601                         |
|   |                      | C18     | Piso 4 - Piso 5      | -45085                         | -255887                         | -454050                         |
|   |                      | C23     | Planta baja - Piso 1 | -89727                         | -194500                         | -300730                         |
|   |                      | C23     | Piso 1 - Piso 2      | -72304                         | -177134                         | -283167                         |
|   |                      | C23     | Piso 2 - Piso 3      | -54277                         | -158881                         | -264996                         |
|   |                      | C23     | Piso 3 - Piso 4      | -36039                         | -140077                         | -246587                         |
| C23   | Piso 4 - Piso 5      | -17442  | -120777              | -227913                        |                                 |                                 |

**Anexo 19. Tabla de desplazamientos verticales, en metros. Caso ( F ⊥ )**

|           |    | Eje Y (m) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-----------|----|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|           |    | 0         | 1,5     | 3       | 4,5     | 6       | 7,5     | 9       | 10,5    | 12      | 13,5    | 15      | 16,5    | 18      | 19,5    | 21      | 22,5    | 24      |
| Eje X (m) | 0  | -0,001    | -0,0027 | -0,0033 | -0,0027 | -0,0033 | -0,0096 | -0,0178 | -0,0237 | -0,0256 | -0,0237 | -0,0178 | -0,0096 | -0,0033 | -0,0027 | -0,0033 | -0,0027 | -0,001  |
|           | 6  | -0,0021   | -0,0069 | -0,0091 | -0,0073 | -0,0046 | -0,0068 | -0,0085 | -0,0073 | -0,0051 | -0,0073 | -0,0085 | -0,0068 | -0,0046 | -0,0073 | -0,0091 | -0,0069 | -0,0021 |
|           | 12 | -0,0021   | -0,0069 | -0,0092 | -0,0074 | -0,0046 | -0,0066 | -0,0081 | -0,0066 | -0,0043 | -0,0066 | -0,0081 | -0,0066 | -0,0046 | -0,0074 | -0,0092 | -0,0069 | -0,0021 |
|           | 18 | -0,0021   | -0,0069 | -0,0091 | -0,0073 | -0,0045 | -0,0066 | -0,0081 | -0,0066 | -0,0044 | -0,0066 | -0,0081 | -0,0066 | -0,0045 | -0,0073 | -0,0091 | -0,0069 | -0,0021 |
|           | 24 | -0,0011   | -0,0035 | -0,0046 | -0,0037 | -0,0023 | -0,0034 | -0,0041 | -0,0034 | -0,0022 | -0,0034 | -0,0041 | -0,0034 | -0,0023 | -0,0037 | -0,0046 | -0,0035 | -0,0011 |

**Anexo 20. Tabla de desplazamientos verticales, en metros. Caso ( F // )**

|           |    | Eje Y (m) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-----------|----|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|           |    | 0         | 1,5     | 3       | 4,5     | 6       | 7,5     | 9       | 10,5    | 12      | 13,5    | 15      | 16,5    | 18      | 19,5    | 21      | 22,5    | 24      |
| Eje X (m) | 0  | -0,0011   | -0,0034 | -0,0046 | -0,0038 | -0,0023 | -0,0034 | -0,0042 | -0,0034 | -0,0023 | -0,0034 | -0,0041 | -0,0034 | -0,0024 | -0,0038 | -0,0047 | -0,0036 | -0,0011 |
|           | 6  | -0,003    | -0,0075 | -0,0095 | -0,0075 | -0,0045 | -0,0065 | -0,008  | -0,0066 | -0,0044 | -0,0066 | -0,0081 | -0,0066 | -0,0045 | -0,0073 | -0,0091 | -0,0069 | -0,0021 |
|           | 12 | -0,0239   | -0,0237 | -0,0196 | -0,0119 | -0,0052 | -0,0058 | -0,0071 | -0,0061 | -0,0043 | -0,0067 | -0,0082 | -0,0067 | -0,0046 | -0,0074 | -0,0092 | -0,0069 | -0,0021 |
|           | 18 | -0,003    | -0,0075 | -0,0095 | -0,0075 | -0,0045 | -0,0065 | -0,008  | -0,0066 | -0,0044 | -0,0066 | -0,0081 | -0,0066 | -0,0045 | -0,0073 | -0,0091 | -0,0069 | -0,0021 |
|           | 24 | -0,0011   | -0,0034 | -0,0046 | -0,0038 | -0,0023 | -0,0034 | -0,0042 | -0,0034 | -0,0023 | -0,0034 | -0,0041 | -0,0034 | -0,0024 | -0,0038 | -0,0047 | -0,0036 | -0,0011 |

**Anexo 21. Tabla de desplazamientos verticales, en metros. Caso (E)**

|           |    | Eje Y (m) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-----------|----|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|           |    | 0         | 1,5     | 3       | 4,5     | 6       | 7,5     | 9       | 10,5    | 12      | 13,5    | 15      | 16,5    | 18      | 19,5    | 21      | 22,5    | 24      |
| Eje X (m) | 0  | -0,0222   | -0,0198 | -0,0149 | -0,0082 | -0,003  | -0,0027 | -0,0032 | -0,0029 | -0,0022 | -0,0035 | -0,0043 | -0,0035 | -0,0024 | -0,0038 | -0,0047 | -0,0036 | -0,0011 |
|           | 6  | -0,0028   | -0,0074 | -0,0094 | -0,0075 | -0,0045 | -0,0066 | -0,008  | -0,0066 | -0,0044 | -0,0066 | -0,0081 | -0,0066 | -0,0045 | -0,0073 | -0,0091 | -0,0069 | -0,0021 |
|           | 12 | -0,0021   | -0,0068 | -0,0091 | -0,0074 | -0,0046 | -0,0066 | -0,0081 | -0,0067 | -0,0044 | -0,0066 | -0,0081 | -0,0067 | -0,0046 | -0,0074 | -0,0092 | -0,007  | -0,0021 |
|           | 18 | -0,0022   | -0,0068 | -0,0091 | -0,0074 | -0,0045 | -0,0066 | -0,0081 | -0,0066 | -0,0044 | -0,0066 | -0,0081 | -0,0066 | -0,0045 | -0,0073 | -0,0091 | -0,0069 | -0,0021 |
|           | 24 | -0,0011   | -0,0034 | -0,0046 | -0,0038 | -0,0023 | -0,0033 | -0,0041 | -0,0034 | -0,0022 | -0,0033 | -0,0041 | -0,0034 | -0,0023 | -0,0037 | -0,0047 | -0,0036 | -0,0011 |

**Anexo 22. Tabla de desplazamientos verticales, en metros. Caso (C)**

|           |    | Eje Y (m) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-----------|----|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|           |    | 0         | 1,5     | 3       | 4,5     | 6       | 7,5     | 9       | 10,5    | 12      | 13,5    | 15      | 16,5    | 18      | 19,5    | 21      | 22,5    | 24      |
| Eje X (m) | 0  | -0,0011   | -0,0035 | -0,0047 | -0,0038 | -0,0023 | -0,0034 | -0,0041 | -0,0033 | -0,0022 | -0,0033 | -0,0041 | -0,0034 | -0,0023 | -0,0038 | -0,0047 | -0,0035 | -0,0011 |
|           | 6  | -0,0021   | -0,0068 | -0,0091 | -0,0073 | -0,0046 | -0,0069 | -0,0088 | -0,0076 | -0,0055 | -0,0076 | -0,0088 | -0,0069 | -0,0046 | -0,0073 | -0,0091 | -0,0068 | -0,0021 |
|           | 12 | -0,002    | -0,0057 | -0,0072 | -0,0059 | -0,0057 | -0,0148 | -0,026  | -0,0333 | -0,0351 | -0,0333 | -0,026  | -0,0148 | -0,0057 | -0,0059 | -0,0072 | -0,0057 | -0,002  |
|           | 18 | -0,0021   | -0,0068 | -0,0091 | -0,0073 | -0,0046 | -0,0069 | -0,0088 | -0,0076 | -0,0055 | -0,0076 | -0,0088 | -0,0069 | -0,0046 | -0,0073 | -0,0091 | -0,0068 | -0,0021 |
|           | 24 | -0,0011   | -0,0035 | -0,0047 | -0,0038 | -0,0023 | -0,0034 | -0,0041 | -0,0033 | -0,0022 | -0,0033 | -0,0041 | -0,0034 | -0,0023 | -0,0038 | -0,0047 | -0,0035 | -0,0011 |