

Congreso de Ingeniería Sísmica, Estructural y Geotécnica

Enseñanzas del Sismo del 16 de Abril de 2016

Una retrospectiva de lo aprendido, evaluado y actuado con miras hacia el futuro

Técnicas de Modelación de Edificios sujetos a Cargas Sísmicas en Programas de Análisis Estructural

Francisco Flores Ph.D.

Profesor

Universidad de Cuenca

Quito, 20 y 21 de abril de 2016



Organización

- Introducción
- Sistemas Sismo-Resistentes y Factor de Reducción Sísmico
- Modelación y Diseño Sísmico de Estructuras
- Losas Planas
- Modelación y Diseño Sísmico Estructuras con Losas Planas
- Conclusiones

Introducción

- Terremoto del 16 de Abril demostró que existen deficiencias en el diseño estructural.
 - ¿Deficiencias en el código de diseño?
 - ¿Deficiencias en el diseño?
 - ¿Deficiencias en el modelo utilizado para el cálculo?
 - ¿Deficiencias en la construcción?

Código

- Código actual NEC-15 en muchas ocasiones es más exigente que el código de Estados Unidos (ASCE7-10).
- Sin embargo, existen algunas inconsistencias con lo propuesto en literatura y en códigos (Losas planas).

Diseño

- Existen todavía deficiencias en el diseño estructural.
 - Configuraciones estructurales deficientes.
 - Gran mayoría de conexiones en estructuras de acero no son pre-calificadas.
 - Detallamiento en hormigón muchas veces no es adecuado.

Modelación de Estructura

- El modelamiento para el diseño sísmico puede presentar muchas deficiencias que lleven a la conclusión de tener un diseño adecuado.
 - Modelación de elementos que no forman parte del sistema sismo-resistente.

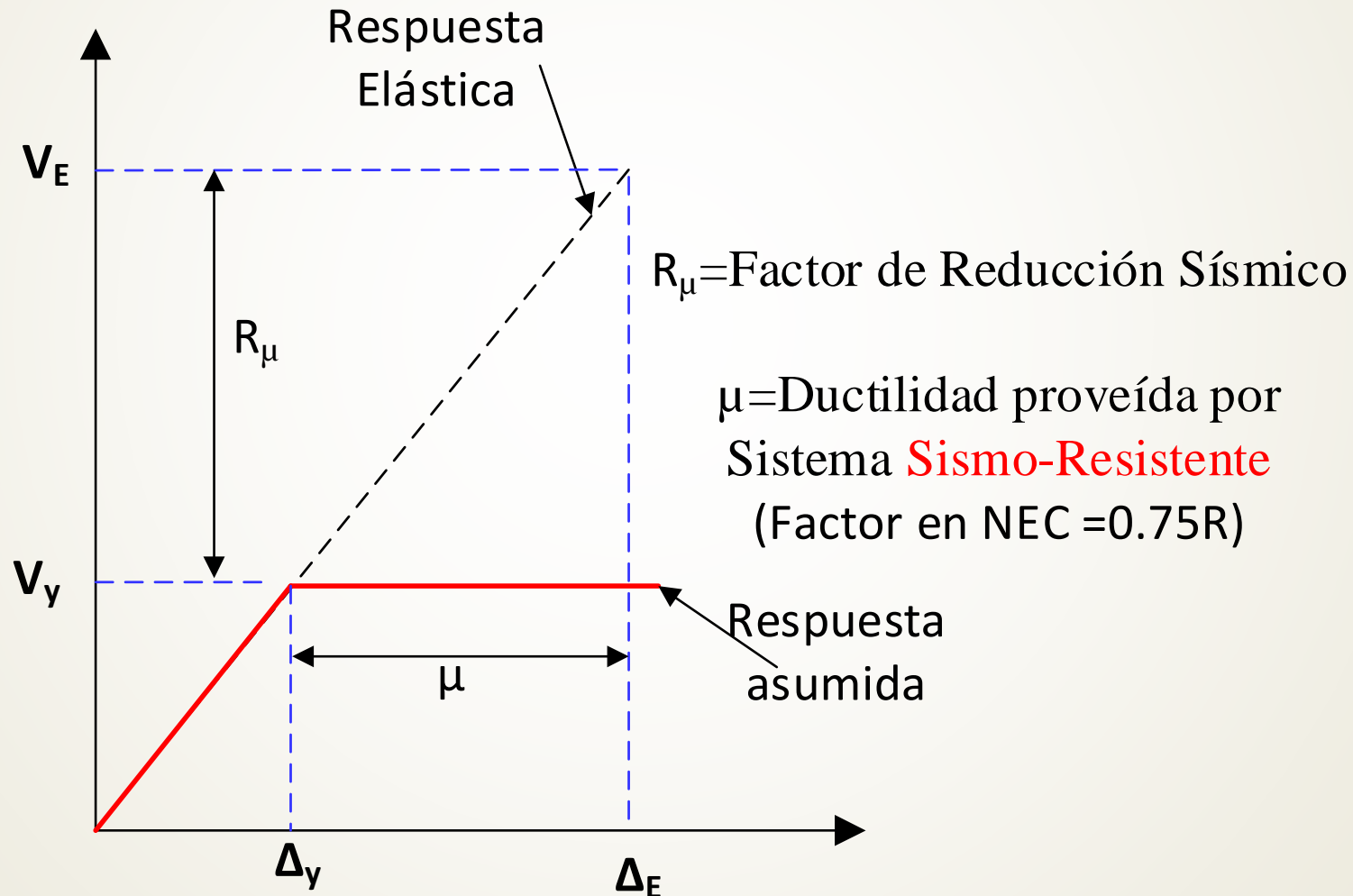
Construcción

- Muchas veces no existe control en la construcción.
- Se utiliza arena de mar para el hormigón de los elementos principales o para el enlucido.

Sistemas Sismo-Resistentes y Factor de Reducción Sísmico

- El sistema sismo-resistente es el sistema estructural encargado de resistir las cargas sísmicas y disipar la energía que ingresa en el sismo.
- A cada sistema se le ha asignado un factor de reducción sísmico.
- Única metodología para obtener R: FEMA-P695

Sistemas Sismo-Resistentes y Factor de Reducción Sísmico



Sistemas Sismo-Resistentes y Factor de Reducción Sísmico

- De Acuerdo a la NEC-15

“El factor **R** implica una reducción de las fuerzas sísmicas de diseño, lo cual es permitido con rótulas plásticas”

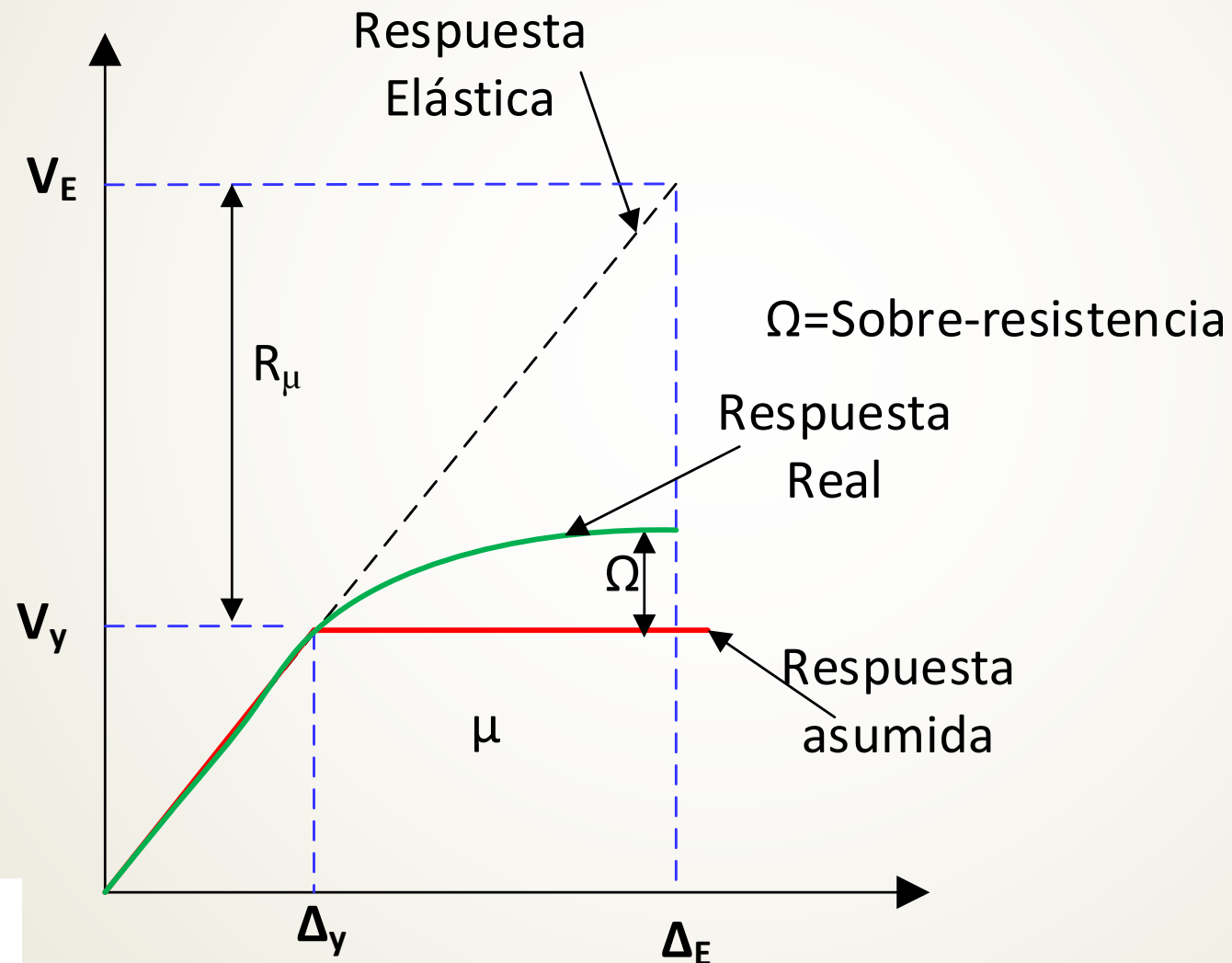
Sistemas Sismo-Resistentes y Factor de Reducción Sísmico

- Fuerzas sísmicas reducidas (Factor R) debido a la ductilidad proveída por el sistema estructural.
- Por lo tanto en el diseño sísmico no se deberían incluir elementos que no forman parte del sistema que provee ductilidad.

Sistemas Sismo-Resistentes y Factor de Reducción Sísmico

- En el diseño sísmico no se debe incluir por ejemplo:
 - Paredes del edificio.
 - Gradadas del edificio.
 - Rigidez flexural de losas.

Sistemas Sismo-Resistentes y Factor de Reducción Sísmico



Sobre-Resistencia

- La sobre-resistencia o Resistencia de reserva proviene de fuentes no consideradas durante el diseño.
- De acuerdo a Humar y Rahgozar (1996) la reserva de resistencia se debe a distintos factores:
 - Factores donde existe incertidumbre:
 - *Diferencia entre resistencia real y la usada en el cálculo.*

Sobre-Resistencia

- Factores que no pueden ser considerados por falta de conocimiento.
 - Efecto de elementos no estructurales.
 - Contribución de losas de hormigón, contribución de columnas en losas planas con muros de corte, incremento de resistencia de hormigón debido al confinamiento.

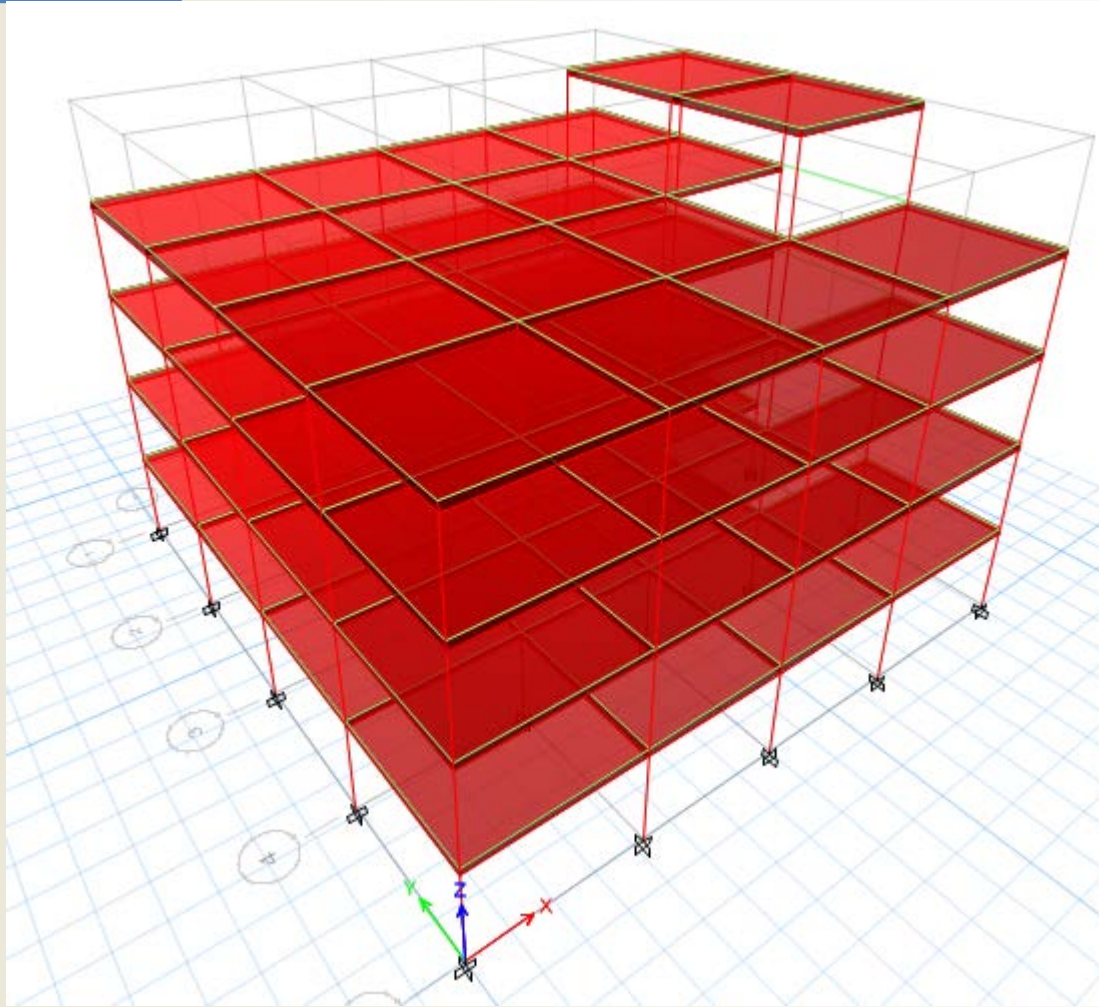
Sobre-Resistencia

- Factores relacionados con simplificaciones en el diseño.
 - Redistribución de fuerzas no es considerada.

Influencia de Losas en Diseño

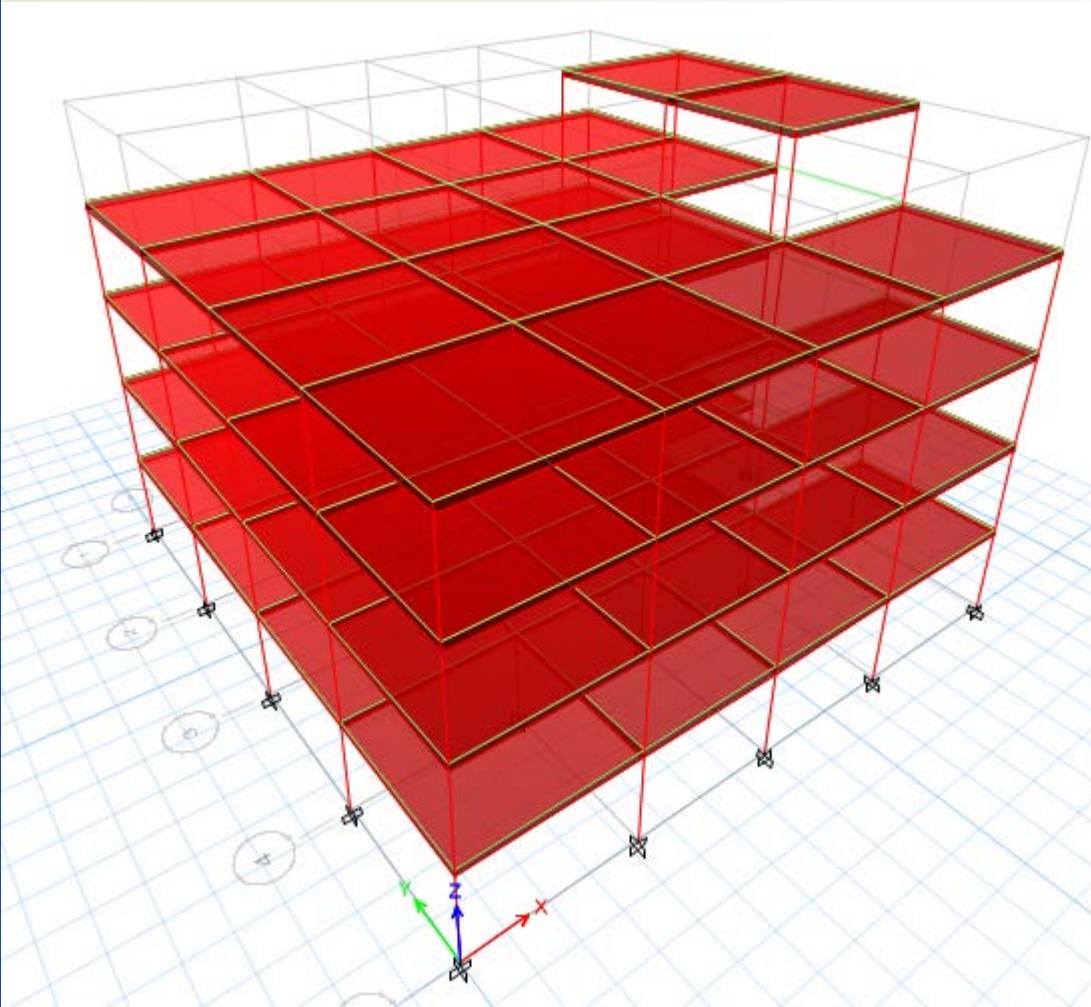
- De acuerdo a literatura y a los conceptos del uso del factor de reducción sísmico las losas no son parte del sistema sismo-resistente.
- El efecto que puede tener su incorporación en el diseño es importante (especialmente en sistemas con losas planas).

Influencia de losa en diseño sísmico



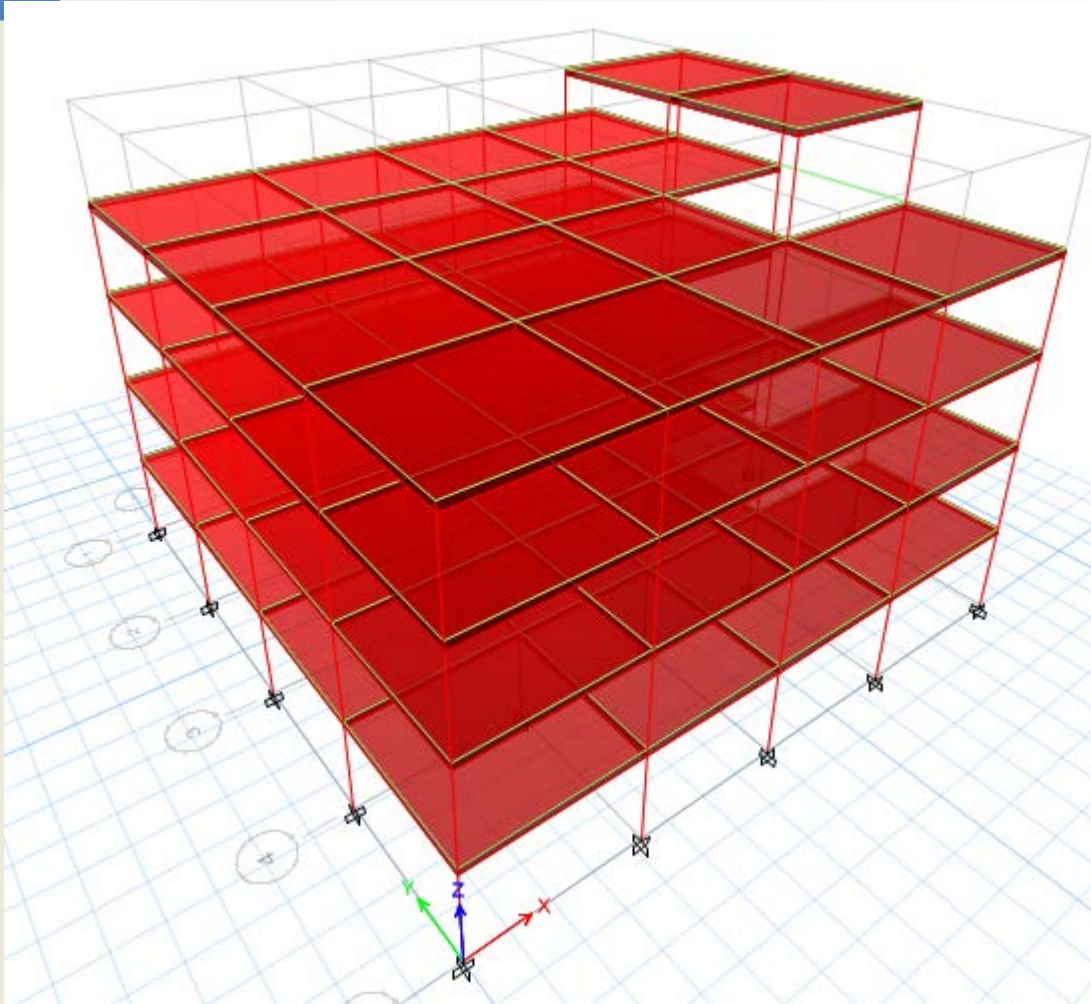
- Edificio real ubicado en Portoviejo.
- Estructura original con losas planas.
- Se estudia el efecto de losas con sistema especial con vigas descolgadas.
- $R=8$

Influencia de losa en diseño sísmico



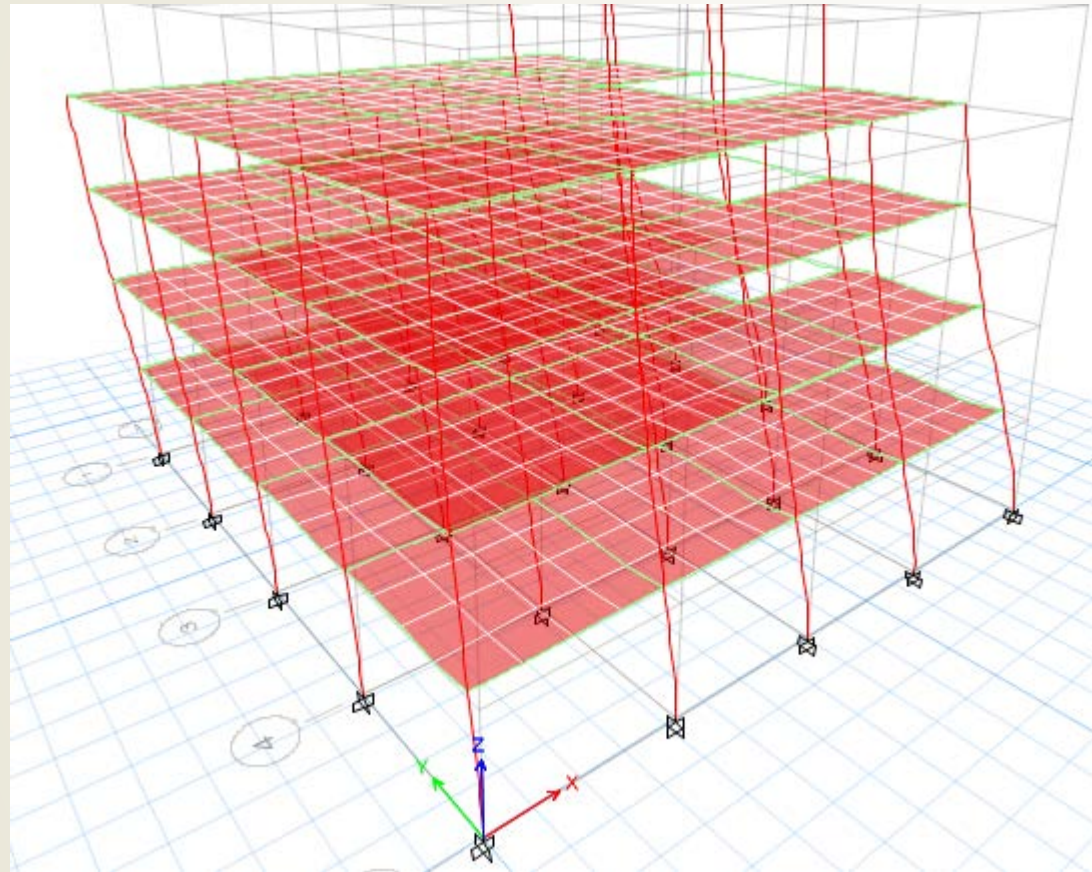
- Losa de 20 cm de espesor.
- Losa no es parte del sistema sísmico.
- Suelo Tipo D
- $R=8$ (NEC-15)
- Se realiza el diseño utilizando el método Modal Espectral.

Detalles del Modelo en Edificio (R=8)



- Losas modeladas con elementos tipo (membrana)
- Vigas descolgadas.

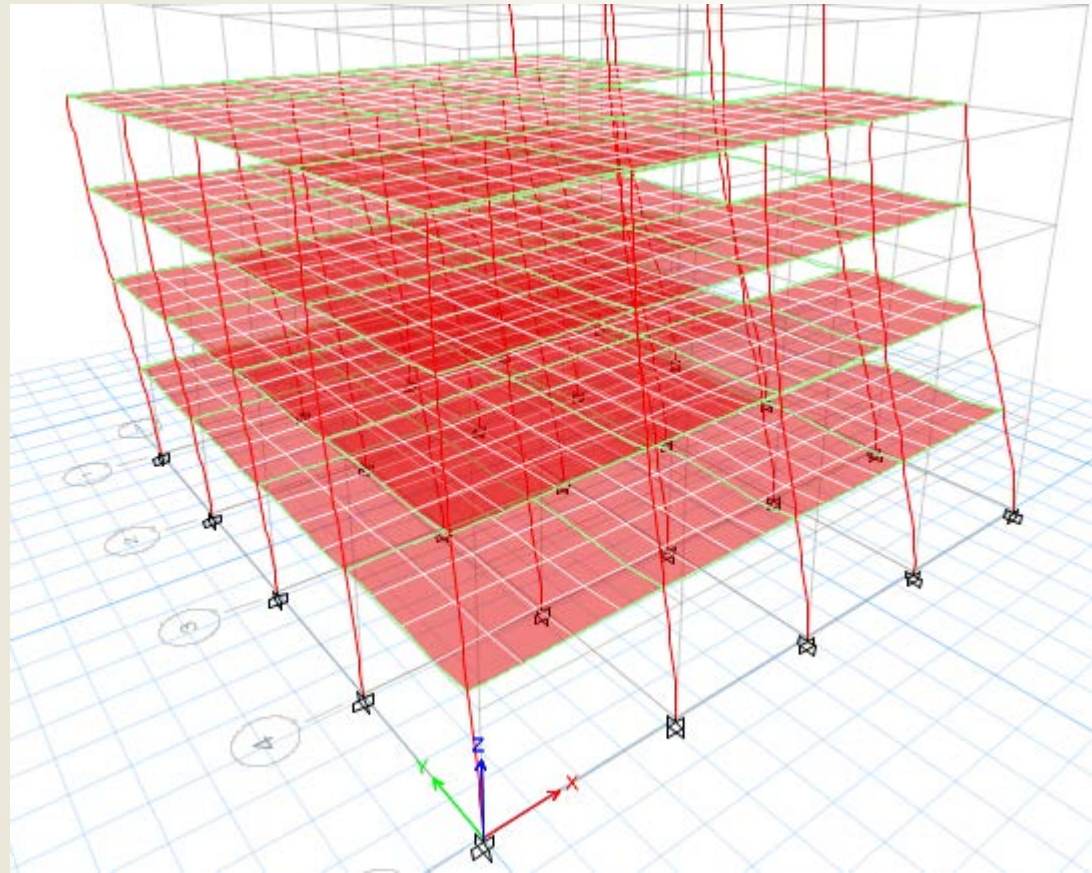
Resultados



Diseño Final

- Columnas 40x40cm
- Vigas 30x40cm

Resultados



Períodos de Vibración

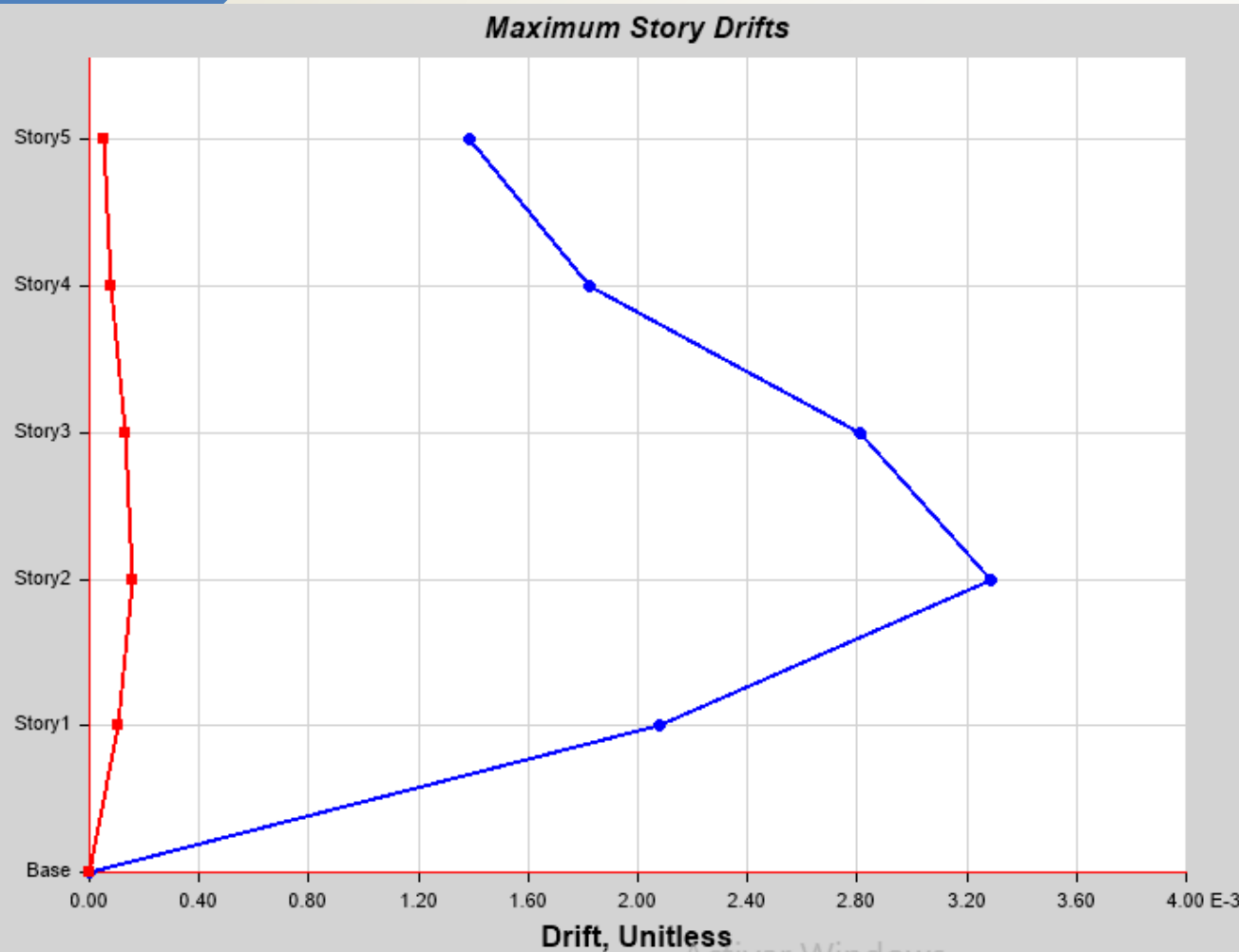
- $T_y = 0.825$ seg
- $T_x = 0.821$ seg
- $T_\theta = 0.71$ seg

Cortante Basal

$V = 150$ Tnf (Estático)

$V = 120$ Tnf (Modal
Espectral)

Resultados



Derivas Elásticas Max

- $\Delta x = 0.00328$

- $\Delta y = 0.00329$

Derivas Inelásticas

($\Delta_E \times 0.75R$)

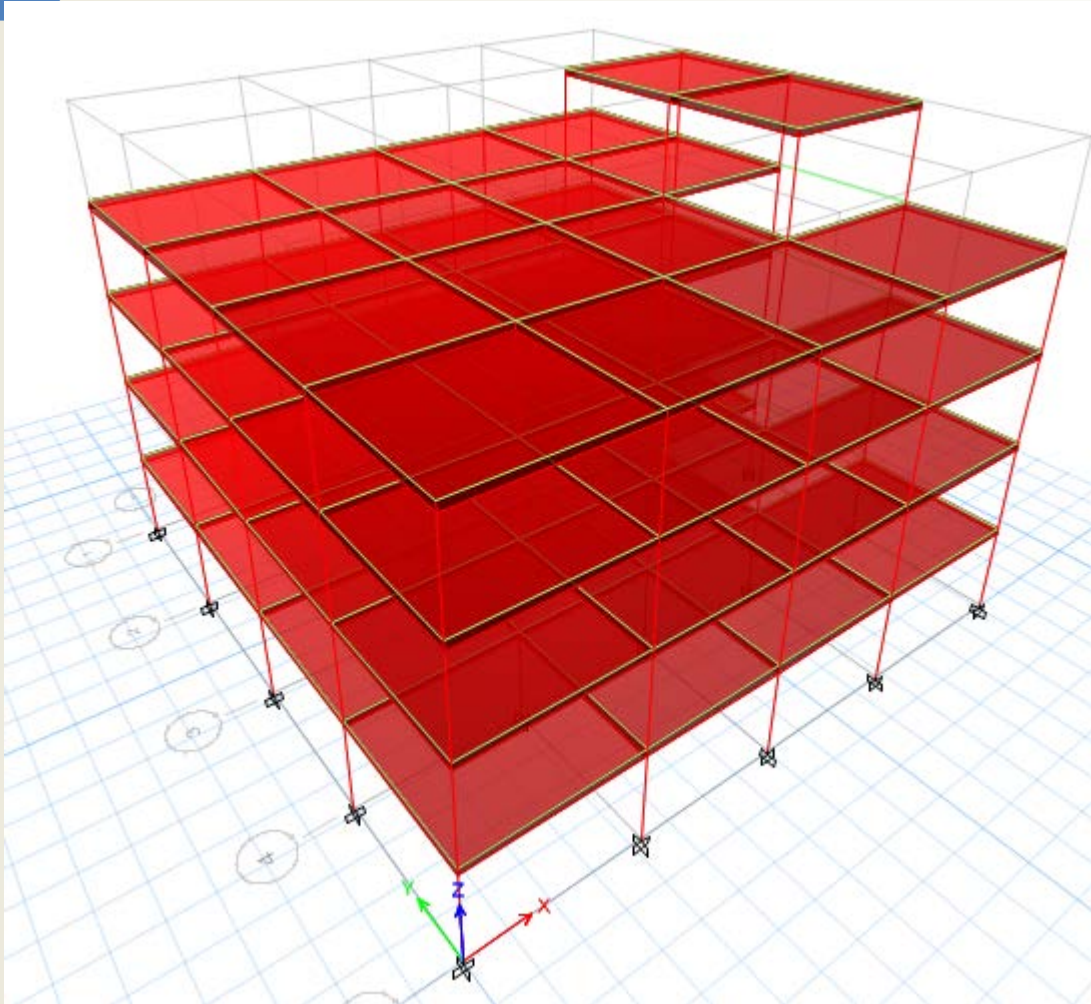
- $\Delta x = 1.97\%$

- $\Delta y = 1.97\%$

Influencia de Losas en Diseño

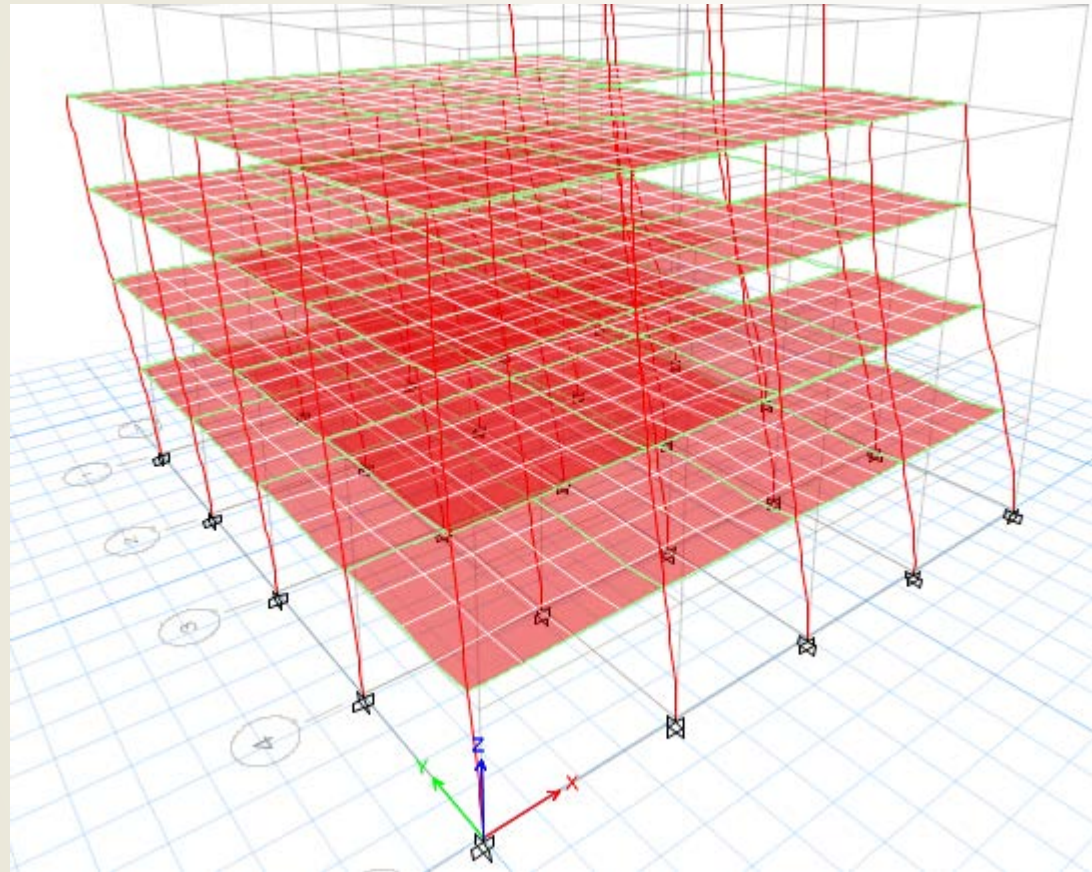
- La influencia de la losa es cuantificada al incluirla en el diseño.
- Los modos y las derivas son comparadas.

Detalles del Modelo en Edificio (R=8)



- Losas modeladas con elementos tipo (Shell thin o Shell thick)
- Vigas descolgadas.

Resultados



Períodos de Vibración

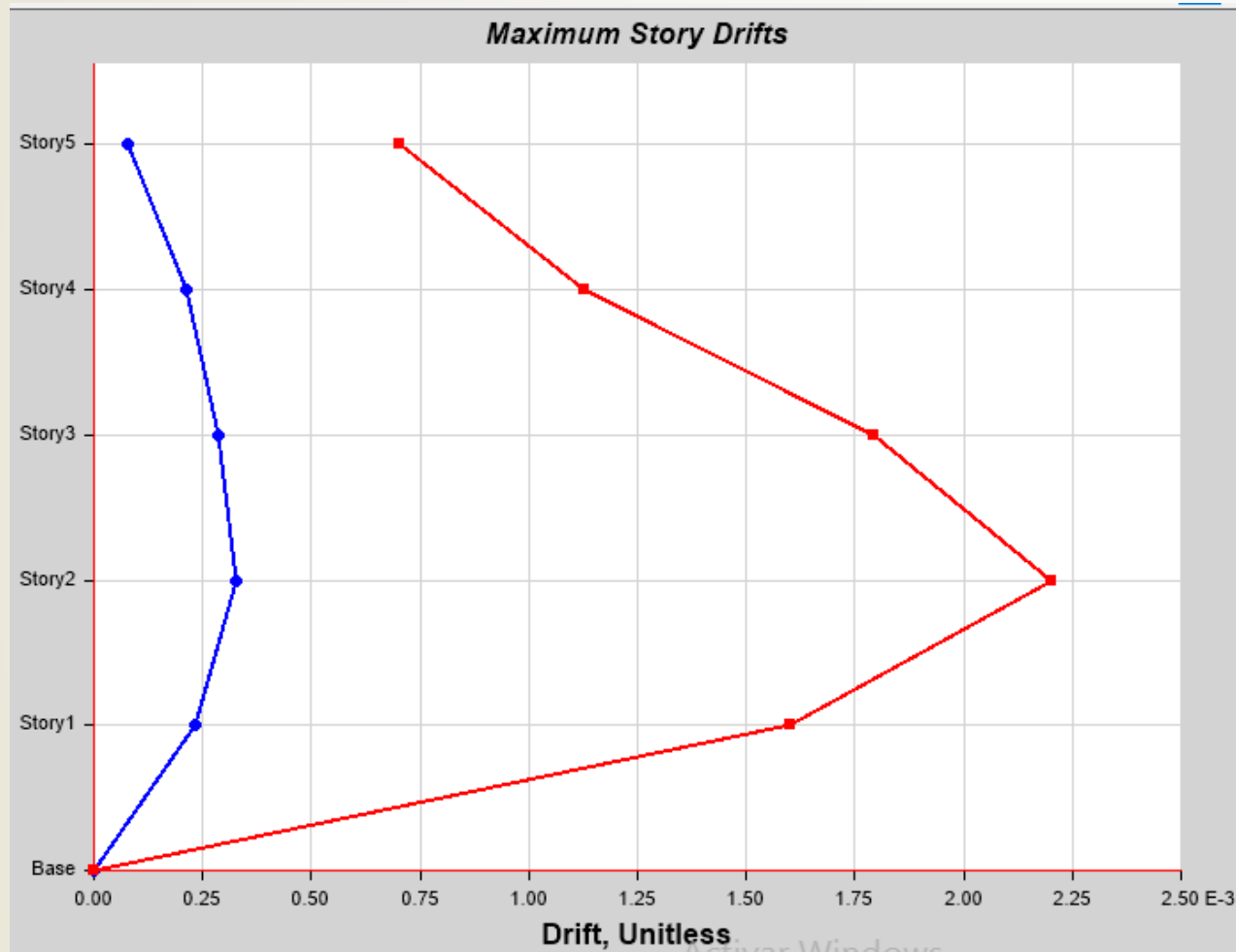
- $T_y = 0.651$ seg
- $T_x = 0.65$ seg
- $T_\theta = 0.57$ seg

Cortante Basal

$V = 150$ Tnf (Estático)

$V = 120$ Tnf (Modal
Espectral)

Resultados



Derivas Elásticas Max

- $\Delta x = 0.0020$

- $\Delta y = 0.0022$

Derivas Inelásticas

($\Delta_E \times 0.75R$)

- $\Delta x = 1.2\%$

- $\Delta y = 1.3\%$

Conclusiones de Diseño

- Las derivas se reducen del 2% al 1.3% lo que representa una reducción del 35%.
- Se puede concluir que las losas tienen una gran influencia y la incorporación de las mismas da como resultado un diseño no conservador.
- El diseño de la estructura con losas incluidas requeriría de columnas de 35x35 y vigas de 25x35.

Losas Planas

- Losas planas con vigas embebidas son un sistema sismo-resistente de acuerdo a la NEC-15.
- Los valores del factor de reducción sísmico son:

Losas Planas

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Tabla 15: Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles



Losas Planas

- Este tipo de sistema ha fallado en previos eventos tales como Alaska (1964), Caracas (1967) y México (1985). Falla por punzonamiento.
- ¿Es este sistema utilizado en zonas altamente sísmicas?
 - En Chile las losas planas son comúnmente usadas.
 - En EEUU también son utilizadas.

Losas Planas

- ¿Por qué si las losas planas son usadas en edificios en zonas sísmicas en EEUU no se encuentran codificadas en ASCE7-10?
- De acuerdo al ACI318-14 (18.14) las losas planas (18.14.5) pueden ser utilizadas como parte del sistema de gravedad en zonas de alta sismicidad.

Losas Planas

- Citando lo mencionado en el libro de Bozorgia y Bertero (2006).

“Slab-column frames cannot be used as a lateral force-resisting system in seismic design categories D, E and F. Their use in combination with one of the permitted lateral force-resisting system for these seismic design categories as frame members not proportioned to resist forces induced by earthquake motion (see Section 21.11 of ACI 318–02) is still permitted”

Losas Planas

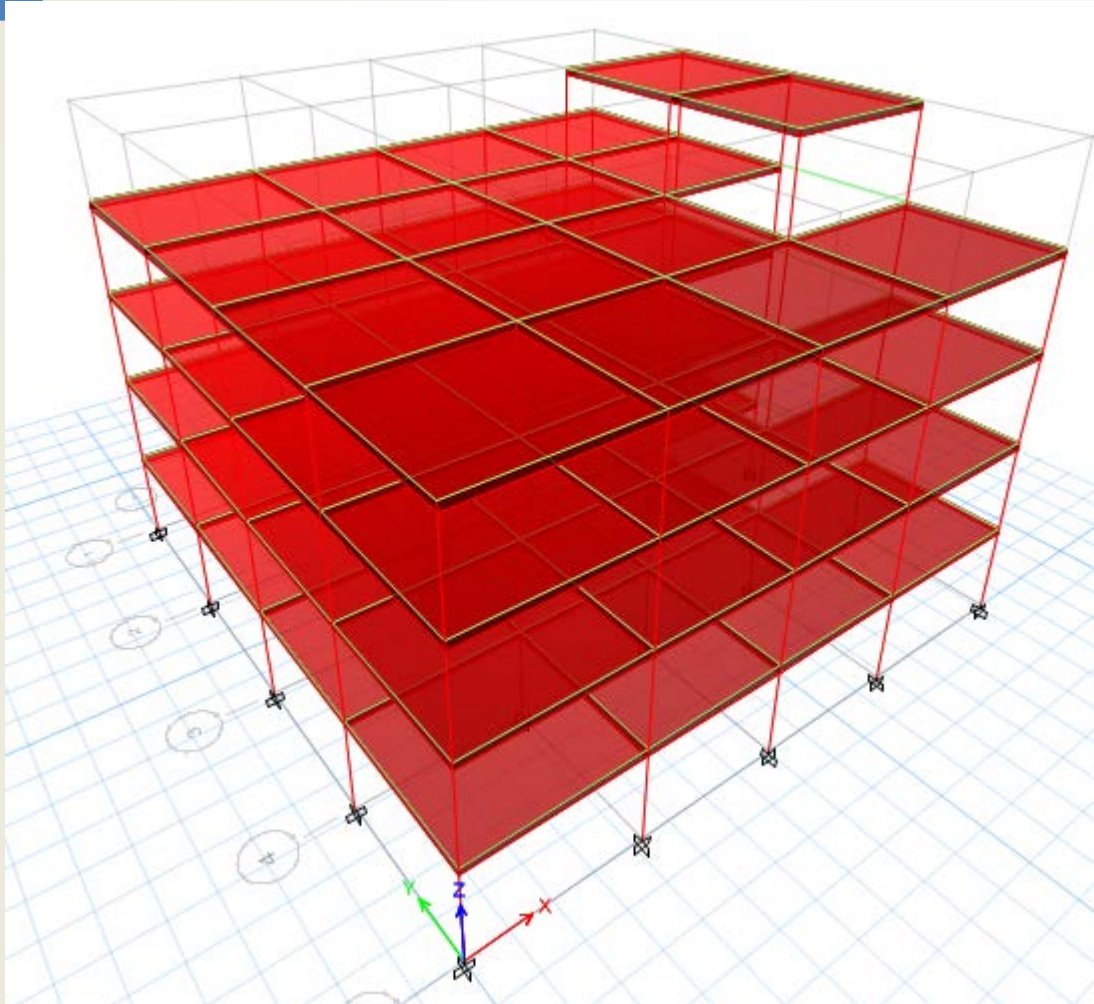
- De acuerdo al profesor de Berkeley, Jack Moehle en su libro "Seismic Design of Reinforced Concrete Structures"

"Slab-column framing and slab-wall framing generally are not used as part of the seismic-force-resisting system in regions of high seismicity. Such framing is, however, used to support gravity loads."

Losas Planas

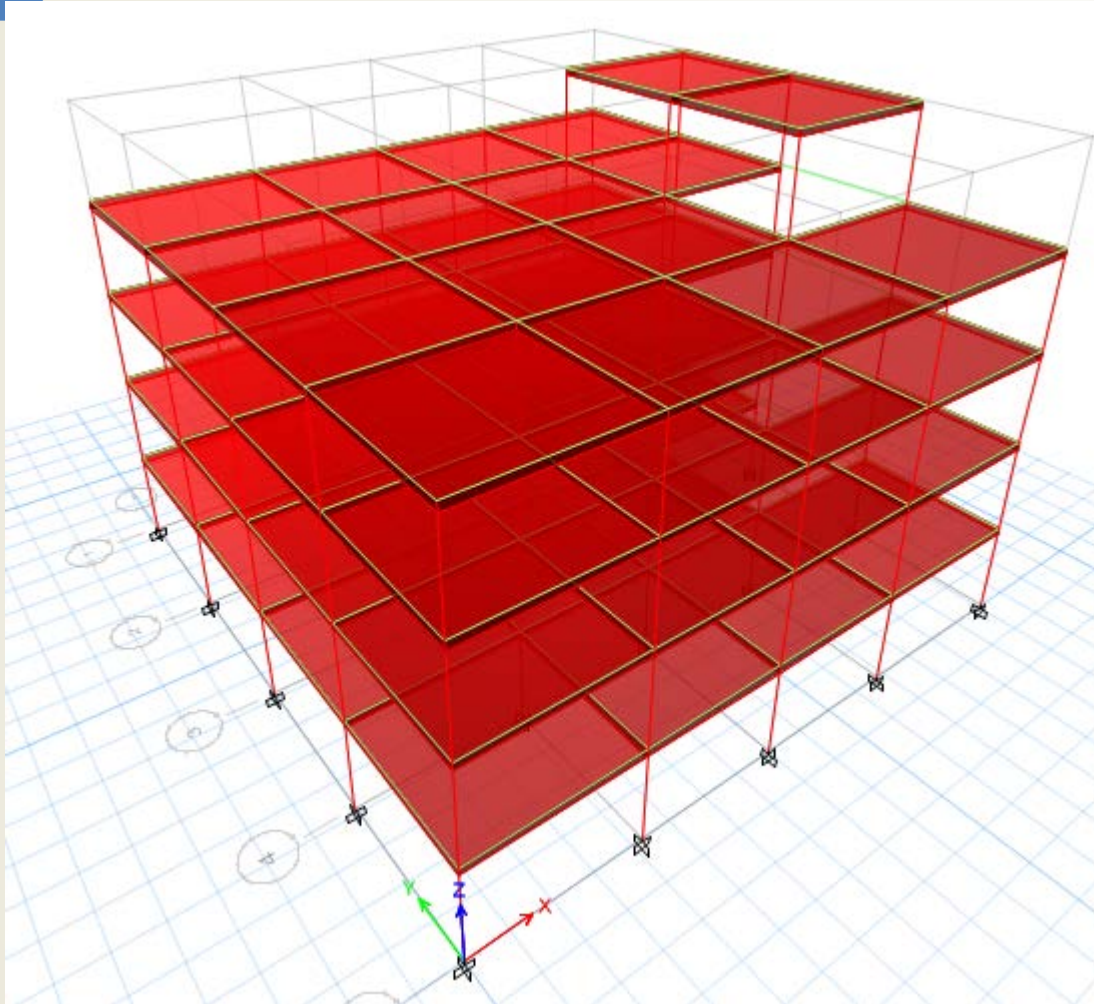
- ACI y literatura no recomienda o no permite el uso de losas planas en zonas altamente sísmicas.
- De acuerdo a esto, el sistema lateral con vigas banda ($R=5$) **NO** sería un sistema sismo-resistente.
- Por otro lado el sistema con muros y losas planas debería tener el R correspondiente al sistema con muros.

Efectos de Losas Planas en el Diseño



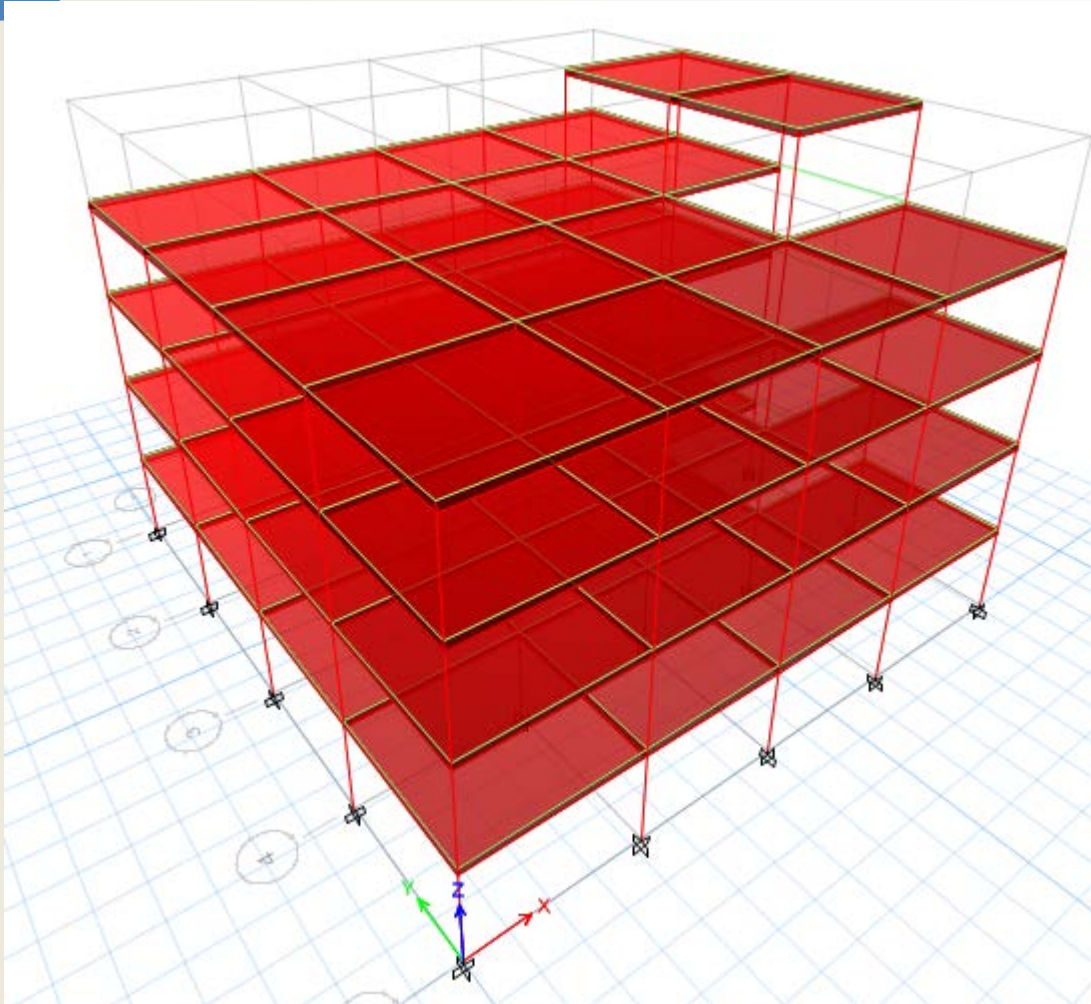
- Edificio real ubicado en Portoviejo.
- Sufrió daños estructurales y no estructurales durante el evento del 16 de Abril.

Efectos de Losas Planas en el Diseño



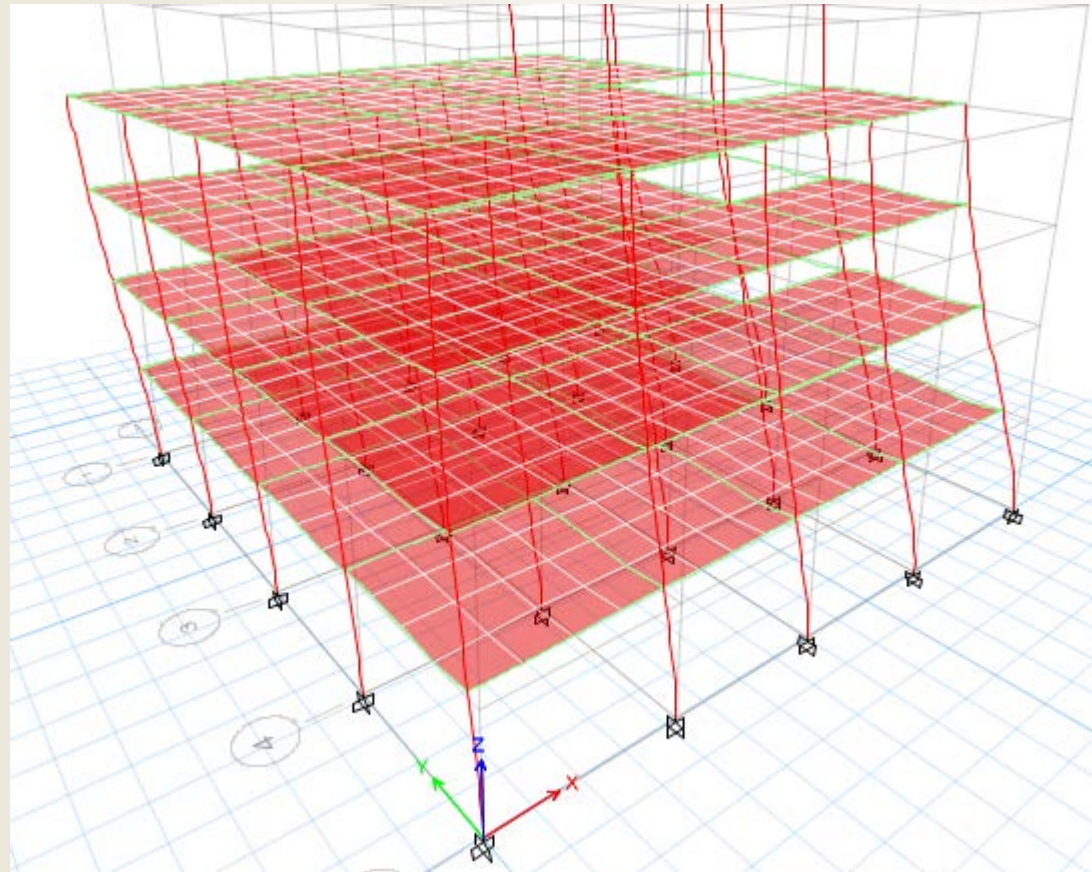
- Losa plana con vigas banda.
- Columnas 35x35
- Vigas 40x20
- Suelo Tipo D
- $R=5$ (NEC-15)

Detalles del Modelo en Edificio (R=5)



- Losas modeladas con elementos tipo (Shell thin o Shell thick)
- Vigas capaces de transmitir momentos a columnas.

Resultados



Períodos de Vibración

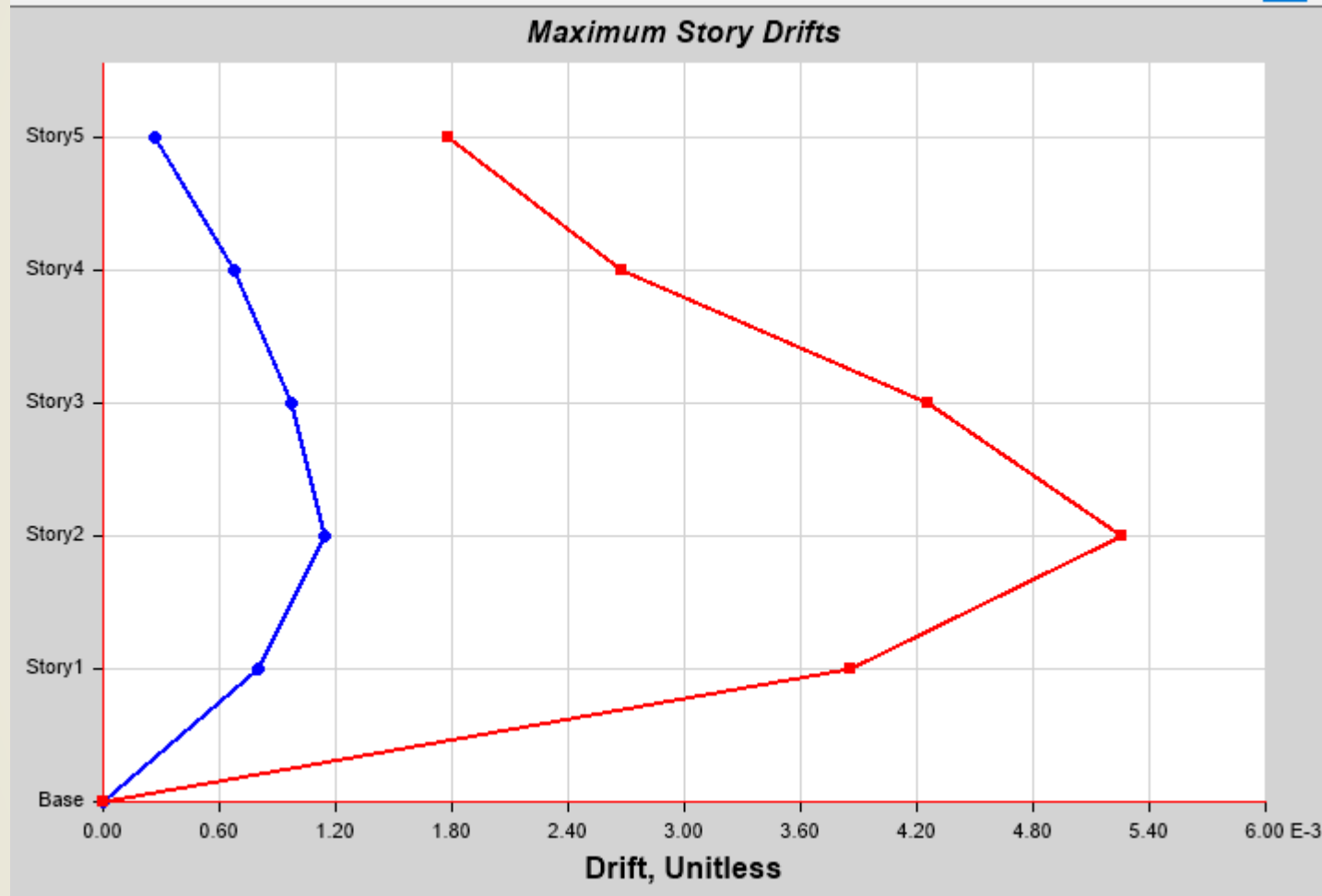
- $T_y = 0.796$ seg
- $T_x = 0.793$ seg
- $T_\theta = 0.715$ seg

Cortante Basal

$V = 219$ Tnf (Estático)

$V = 180$ Tnf (Modal
Espectral)

Resultados



Derivas Elásticas Max

- $\Delta x = 0.0047$

- $\Delta y = 0.0052$

Derivas Inelásticas

($\Delta_E \times 0.75R$)

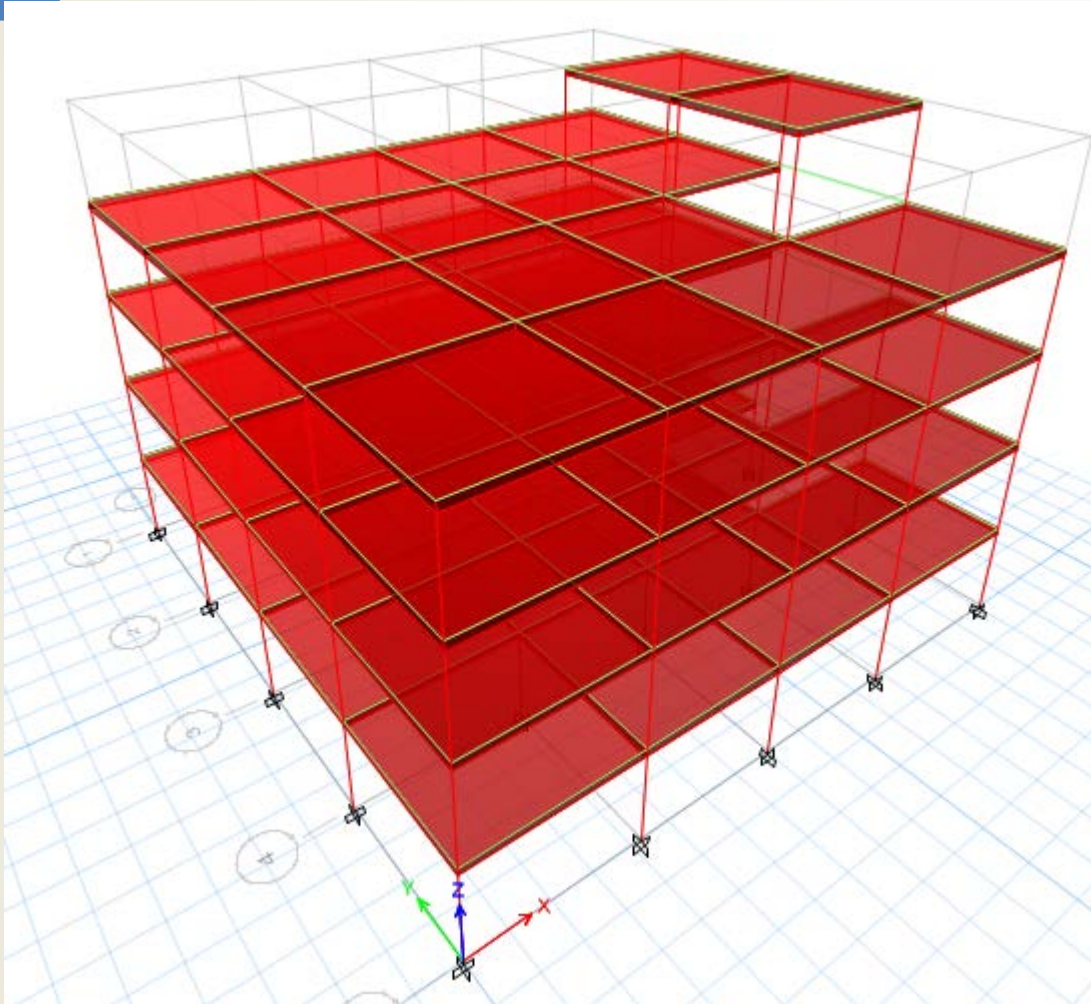
- $\Delta x = 1.76\%$

- $\Delta y = 1.95\%$

Conclusiones de Diseño

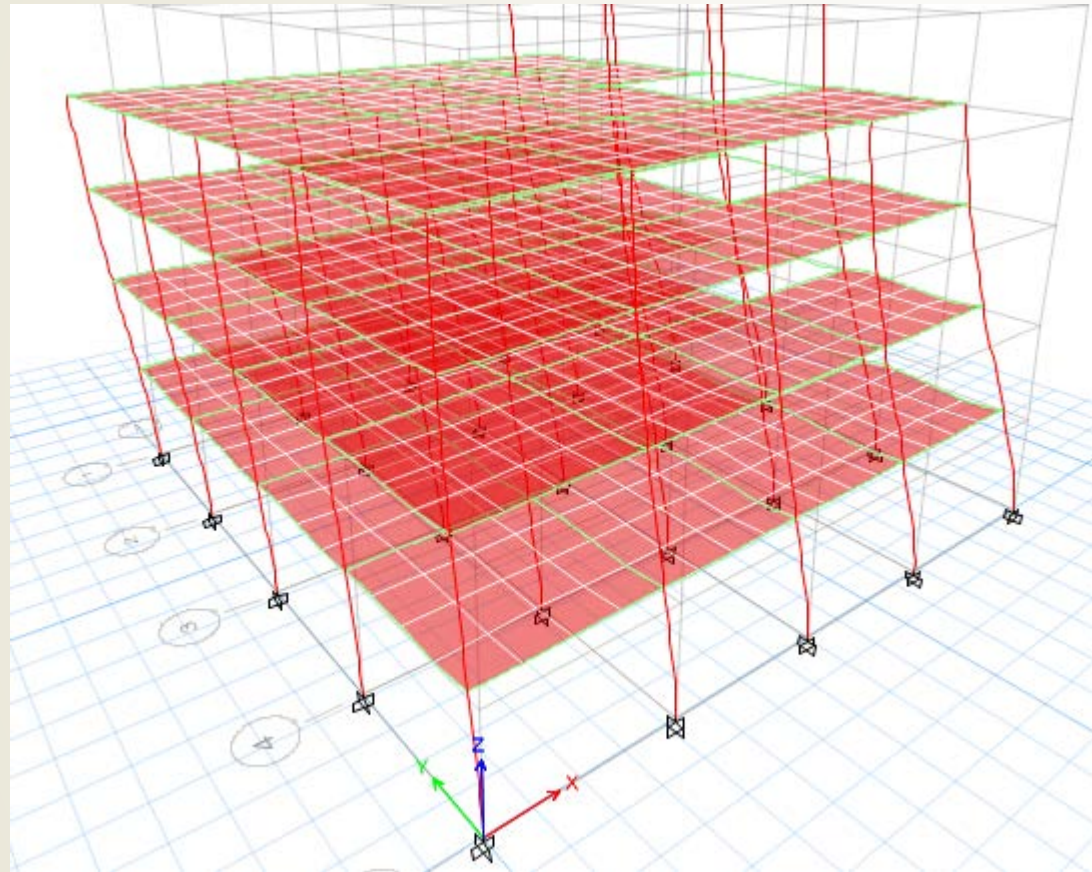
- De acuerdo al diseño realizado, el edificio cumple con la Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC-15) sin ningún problema.
- Sin embargo de acuerdo a lo recomendado por el ACI318-14 y por literatura este sistema no es un sistema sismo-resistente.

Detalles del Modelo en Edificio (R=5)



- Losas modeladas con elementos tipo (Membrane). Rigidez flexural no incluida.
- Vigas capaces de transmitir momentos a columnas.

Resultados



Períodos de Vibración

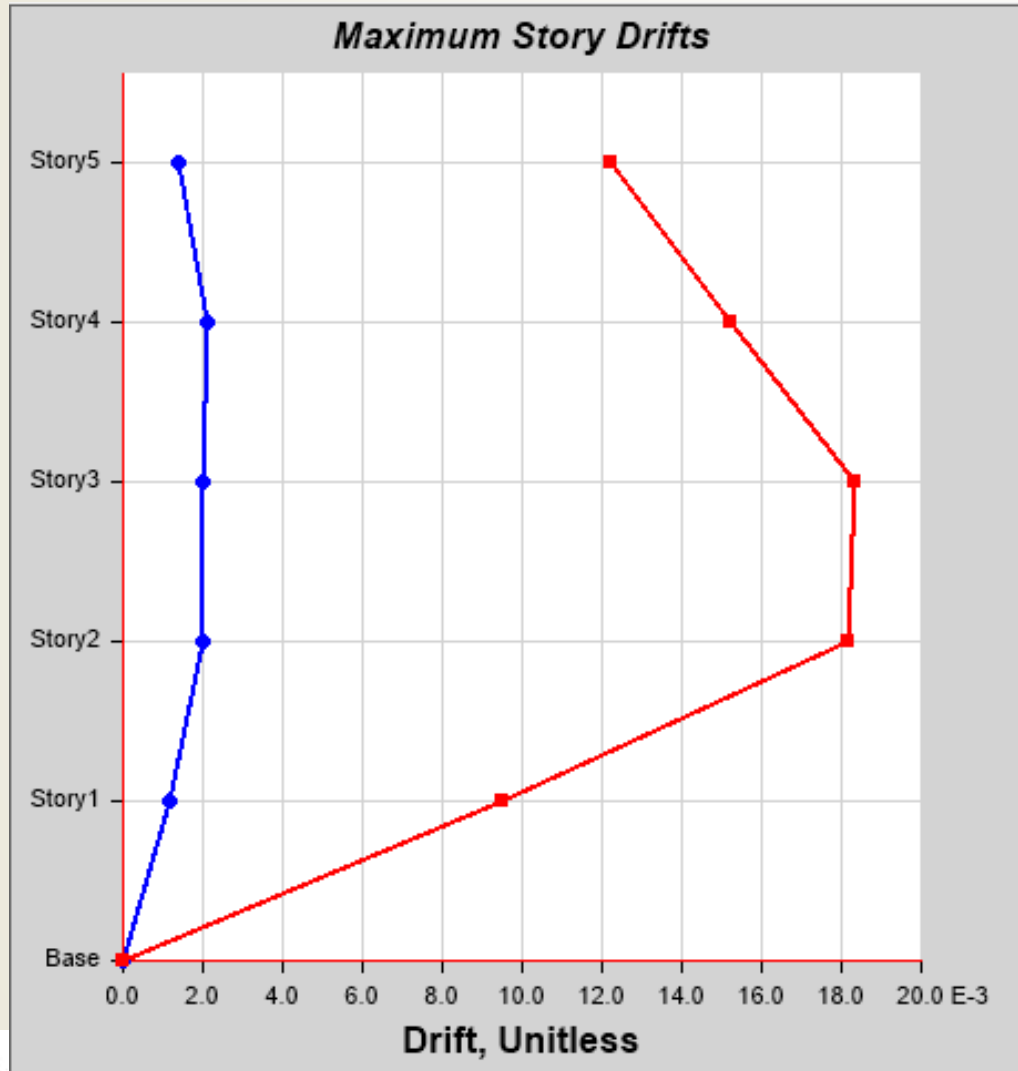
- $T_y = 1.552$ seg
- $T_x = 1.544$ seg
- $T_\theta = 1.285$ seg

Cortante Basal

$V = 219$ Tnf (Estático)

$V = 180$ Tnf (Modal
Espectral)

Resultados



Derivas Elásticas Max

- $\Delta x = 0.0177$

- $\Delta y = 0.0183$

Derivas Inelásticas

($\Delta_E \times 0.75R$)

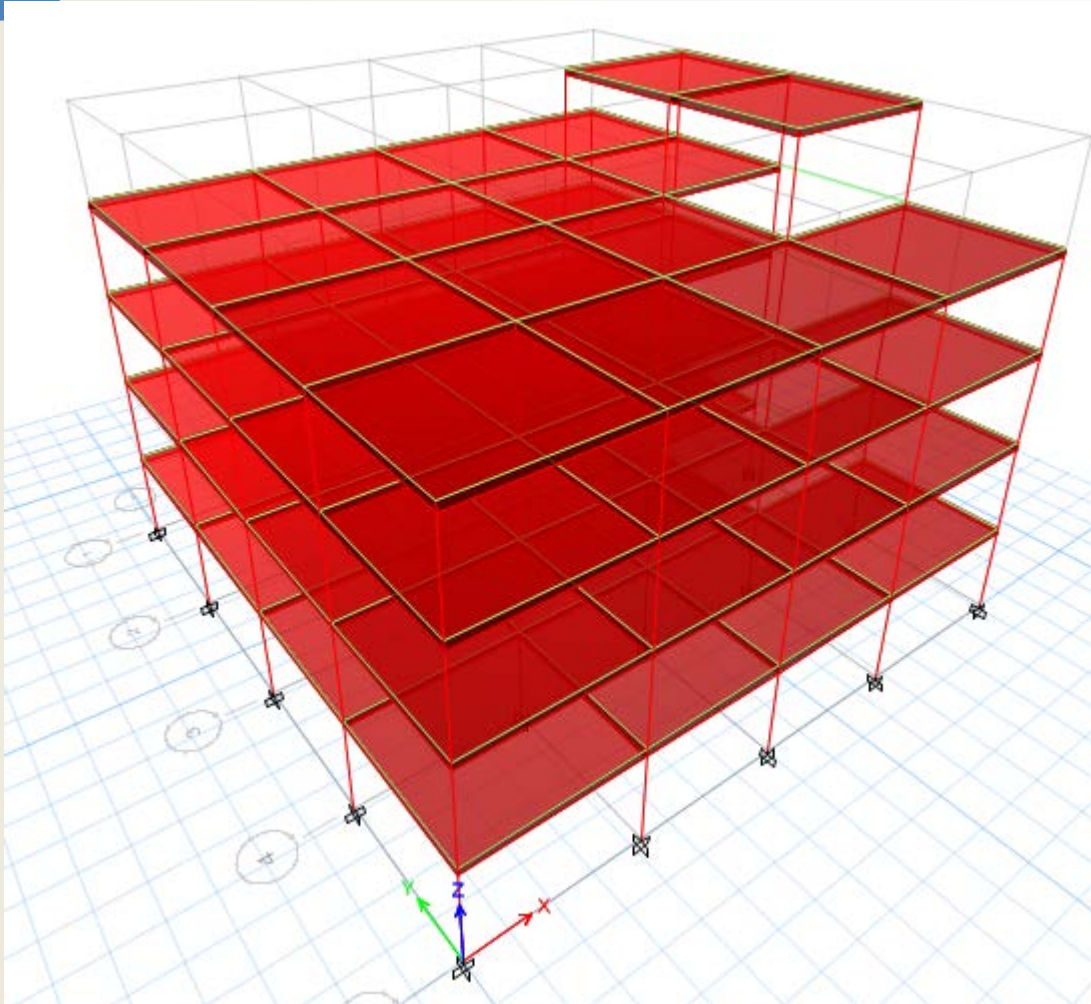
- $\Delta x = 6.6\%$

- $\Delta y = 6.8\%$

Conclusiones de Diseño

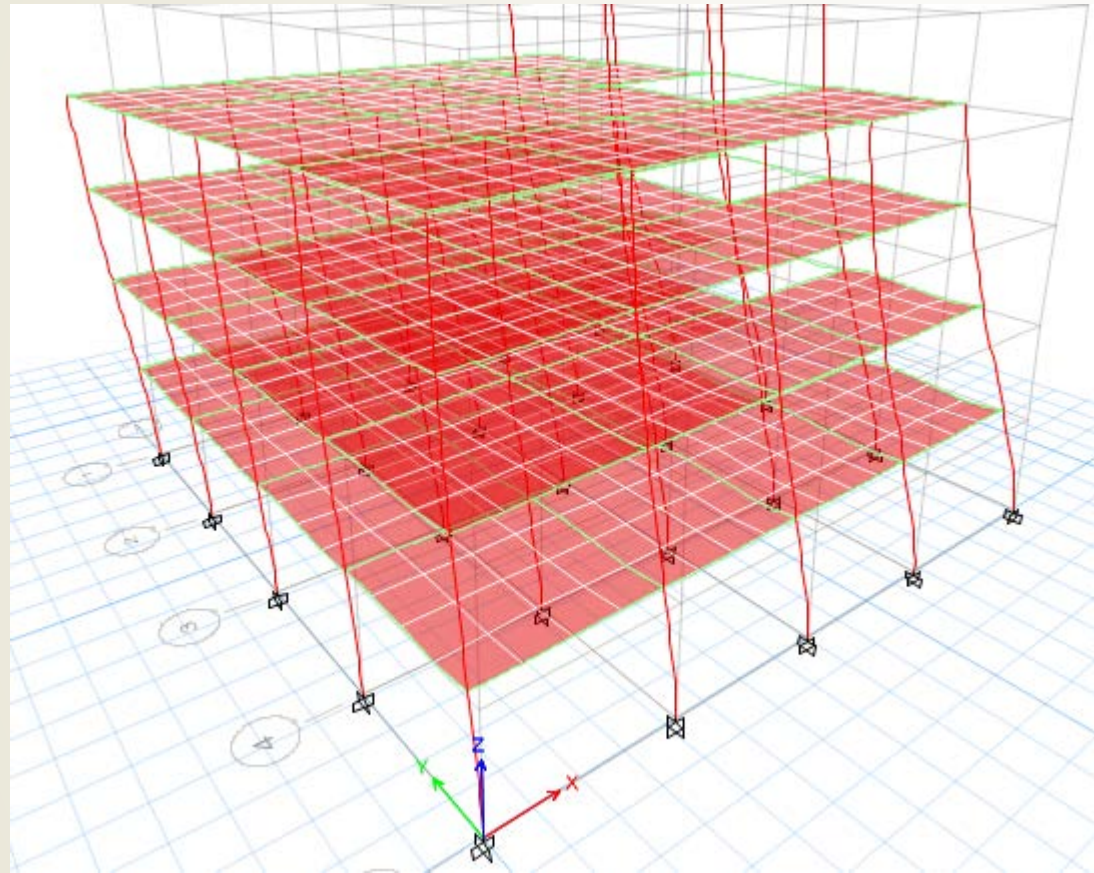
- Se demuestra la influencia que tienen las losas para controlar derivas pese a que no son parte de el sistema sismo-resistente.
- Las losas nos dan un falso diseño.
- Pese a que las vigas fueron incluidas como parte del sistema lateral, no tuvieron mayor influencia.

Detalles del Modelo en Edificio (R=5)



- Losas modeladas con elementos tipo (Shell thin o Shell thick)
- Vigas con articulaciones sin capacidad de transmitir momentos.

Resultados



Períodos de Vibración

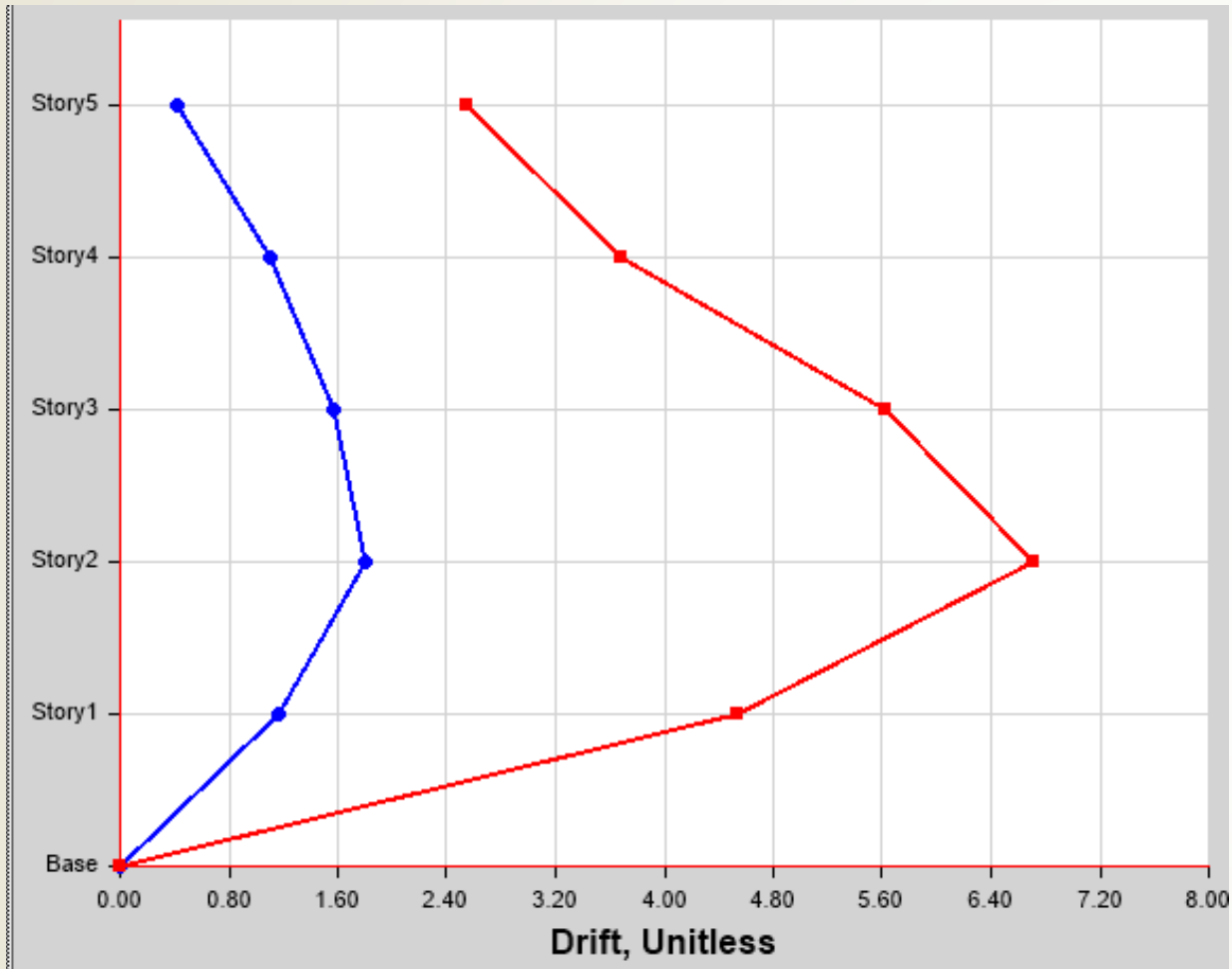
- $T_y = 0.896$ seg
- $T_x = 0.888$ seg
- $T_\theta = 0.813$ seg

Cortante Basal

$V = 219$ Tnf (Estático)

$V = 180$ Tnf (Modal
Espectral)

Resultados



Derivas Elásticas Max

- $\Delta x = 0.00605$

- $\Delta y = 0.00671$

Derivas Inelásticas

($\Delta_E \times 0.75R$)

- $\Delta x = 2.2\%$

- $\Delta y = 2.5\%$

Conclusiones de Diseño

- Se demuestra una vez más que las derivas son contraladas por la losa y no por las vigas. Las losas no tienen capacidad de disipar energía o no tienen un detallamiento para realizarlo por lo que no se debe contar con su rigidez en el diseño.

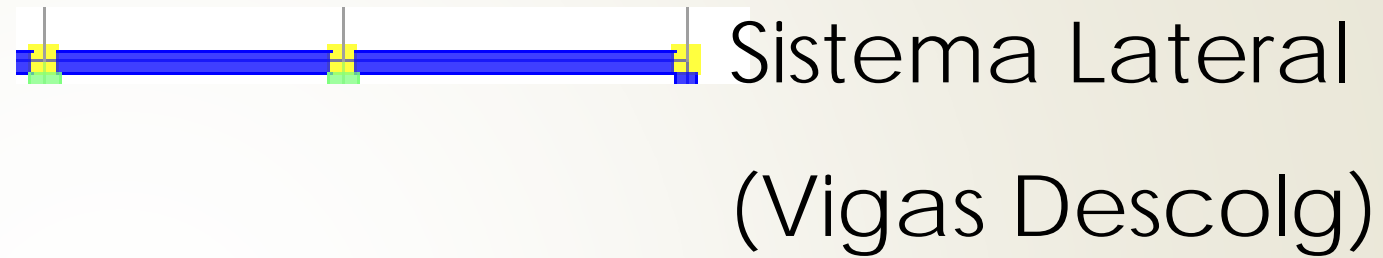
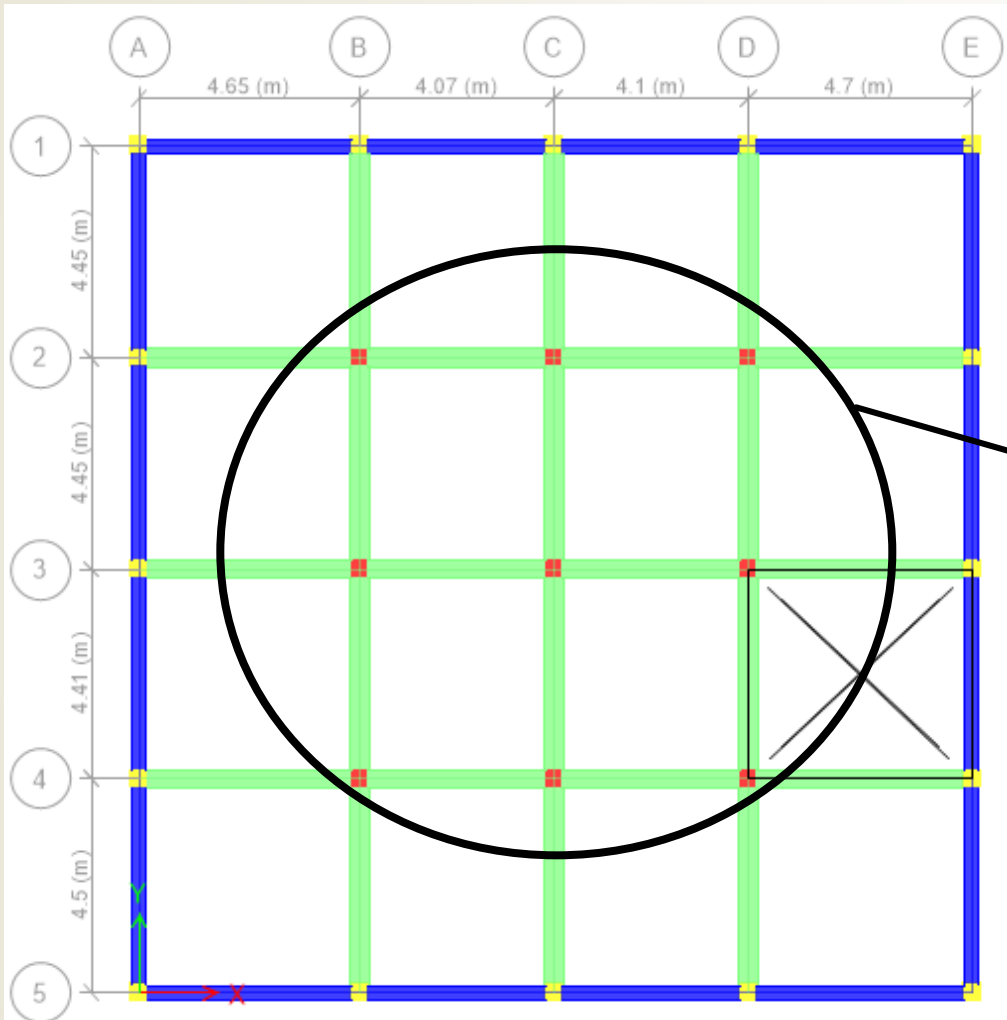
Cuál sería la solución o un diseño correcto?

- La solución para este diseño sería utilizar dos sistemas:
 - Un sistema lateral sismo-resistente (vigas descolgadas o muros).
 - Un sistema para cargas gravitatorias (losa plana con vigas embebidas).

Condiciones del diseño

- Rigidez flexural de losas no incluida.
- Vigas y columnas de sistema de gravedad articuladas.
- Fuerza sísmica resistida únicamente por sistema lateral.

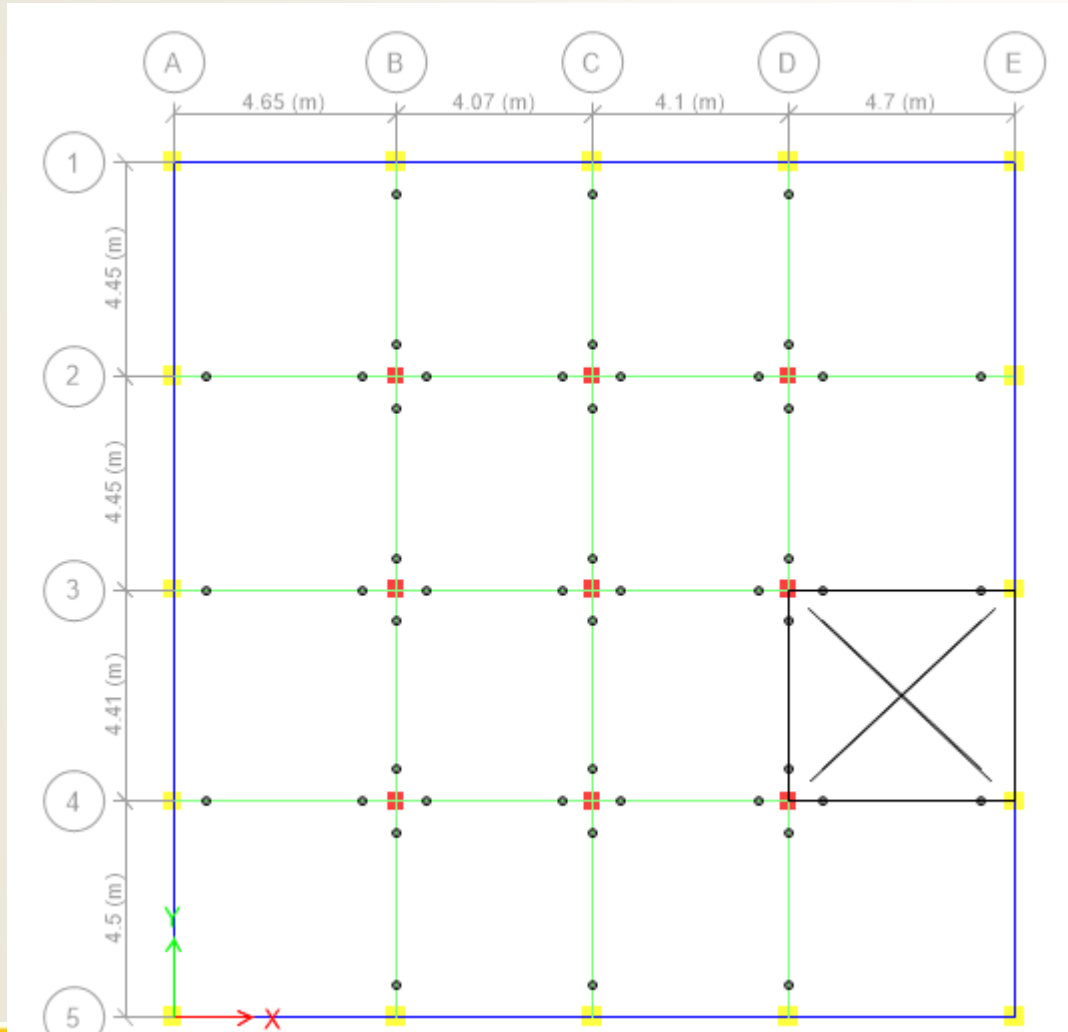
Condiciones del diseño



$R=8$

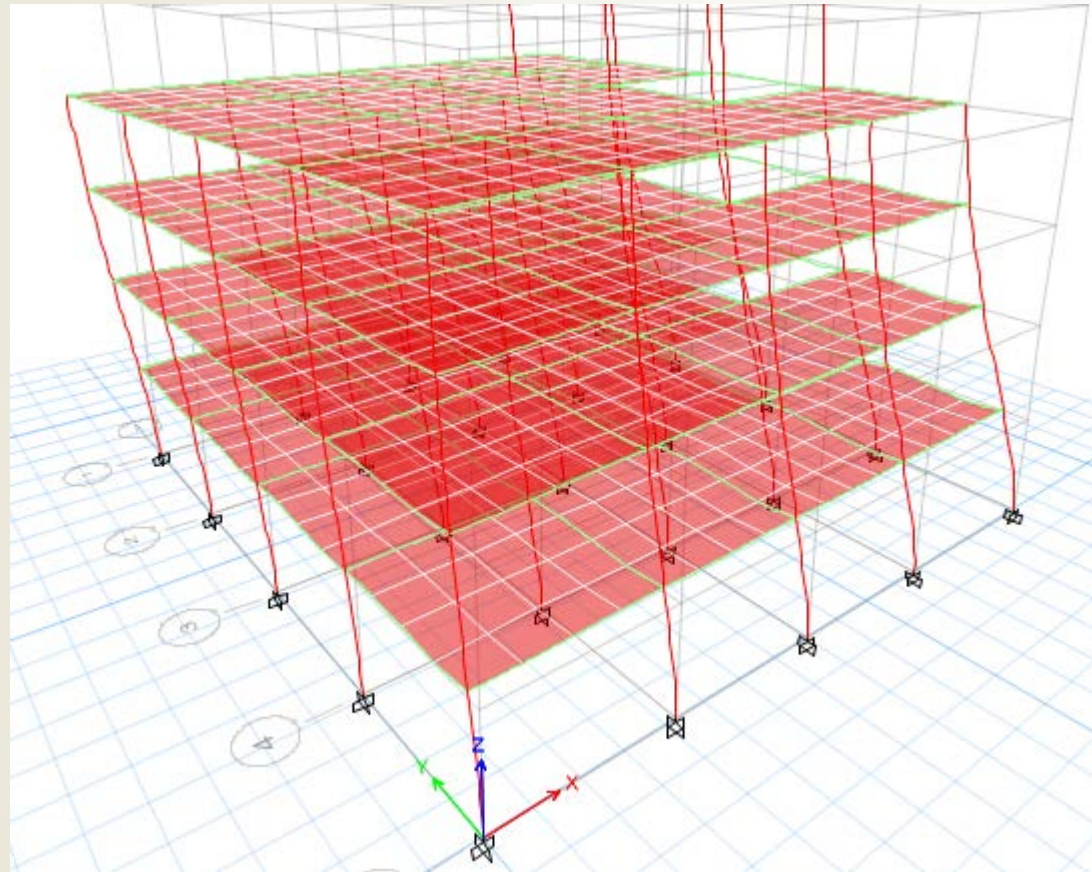
Sistema De Gravedad
(losa plana con vigas
embebidas).

Condiciones del diseño



Sistema De Gravedad:
articulaciones en vigas y
base de columnas.
Losas modeladas con
membrana

Resultados



Períodos de Vibración

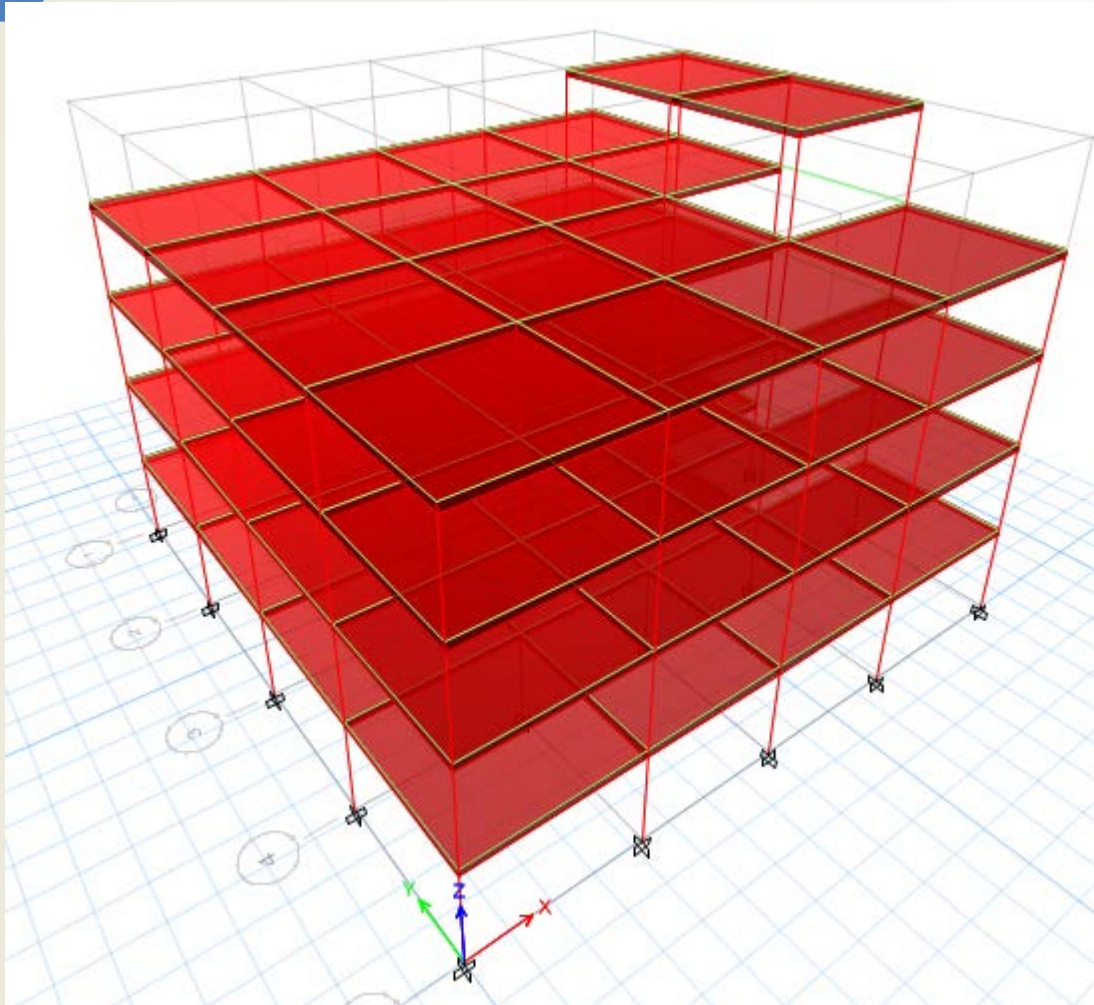
- $T_y=0.790$ seg
- $T_x=0.783$ seg
- $T_\theta=0.514$ seg

Cortante Basal

$V=150$ Tnf (Estático)

$V=120$ Tnf (Modal
Espectral)

Efectos de Losas Planas en el Diseño



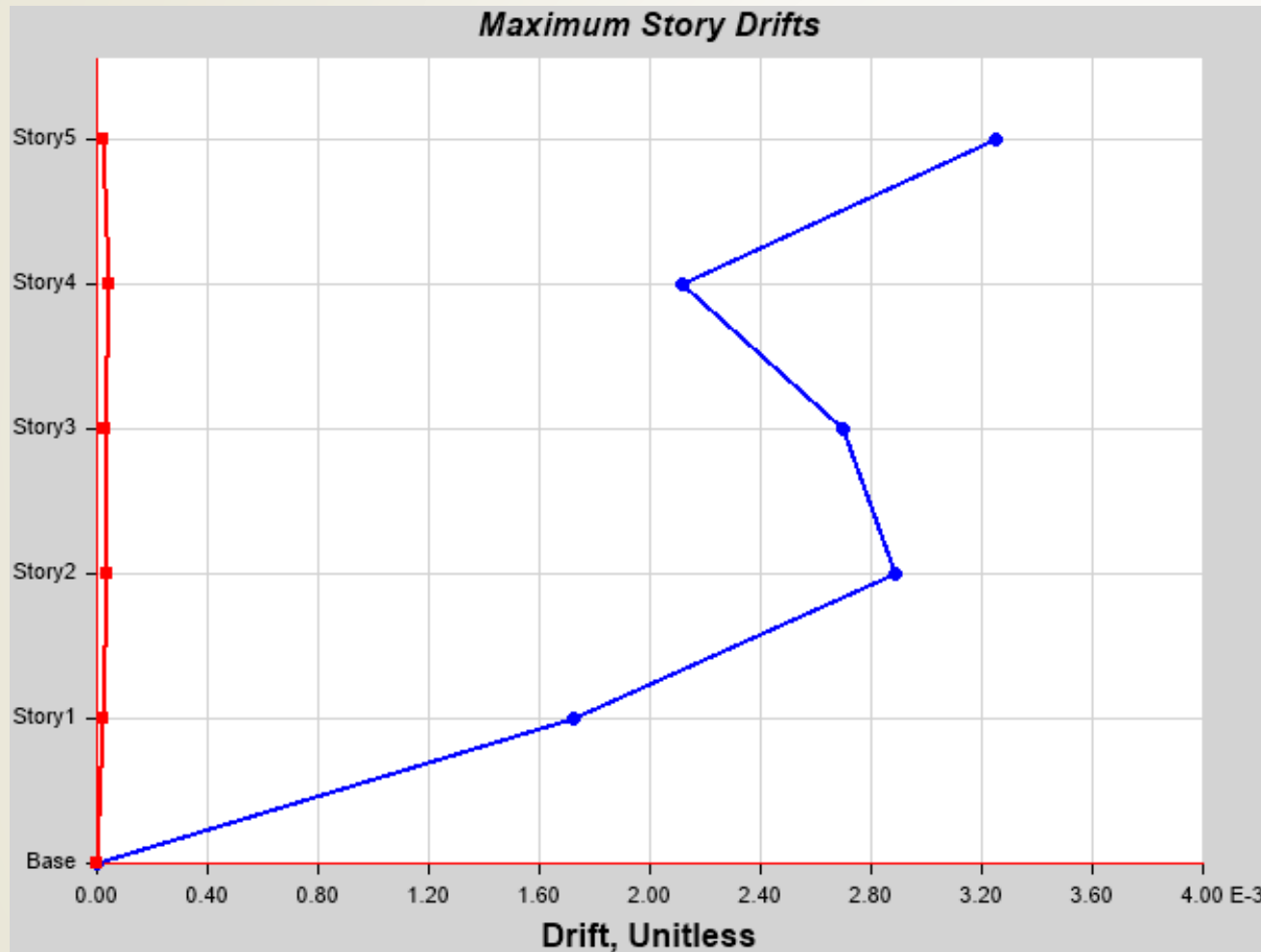
- Losa plana con vigas banda.

Sistema Sismo-Resistente

- Columnas 50x50
- Vigas 30x55

$R=8$

Resultados



Derivas Elásticas Max

- $\Delta x = 0.00325$

- $\Delta y = 0.00295$

Derivas Inelásticas

($\Delta_E \times 0.75R$)

- $\Delta x = 1.95\%$

- $\Delta y = 1.77\%$

Conclusiones

- Se demuestra una vez más que las derivas son contraladas por la losa y no por las vigas en el caso de utilizar losas planas.
- Las losas aportan mucho en la rigidez lateral al controlar derivas. Sin embargo no forman parte del sistema lateral y no deben ser incluidas.

Conclusiones

- Las losas no tienen capacidad de disipar energía o no tienen un detallamiento para realizarlo por lo que no se debe contar con su rigidez en el diseño.
- Es importante entender los conceptos al utilizar el factor de resistencia sísmica para no realizar diseños que en realidad no cumplan las normas.

Conclusiones

- Se recomienda eliminar las losas planas con vigas embebidas de la NEC. En caso de ser utilizadas deben ser combinadas con otro sistema sismo-resistente.

Congreso de Ingeniería Sísmica, Estructural y Geotécnica

¿Preguntas?

... reflexión sin acción es desperdicio