

DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES

PROBLEMAS RESUELTOS

Ph.D. Genner Villarreal Castro

PREMIO NACIONAL ANR 2006, 2007, 2008

Lima – Perú

2015

DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES Problemas Resueltos

Primera Edición Agosto 2015

Tiraje: 1000 ejemplares

Diagramación: Víctor Dionicio Torres

Carátula: Edificio O'Higgins Viña del Mar, Valparaíso, Chile

Estilo: Roxana Villarreal Gonzáles

Autor – Editor:

© Ph.D. Genner Villarreal Castro

www.gennervillarrealcastro.blogspot.com

Pablo Picasso 567 Urb. El Bosque

Telf: 202946 / 950907260

Trujillo – Perú

Impresión:

Editora & Imprenta Gráfica Norte S.R.L.

graficanorte@hotmail.com

Oswaldo Hercelles 401 Urb. Los Granados

Telf: 402705 / 969960030

Trujillo – Perú

Agosto, 2015

©Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2015-09060

ISBN: 978-612-00-2001-2

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización del Autor.

El Diseño Sísmico de Edificaciones, es parte de la Ingeniería Sismo-Resistente, que estudia el comportamiento de las edificaciones ante la acción sísmica e investiga los métodos de cálculo, que garantizan su buen comportamiento y seguridad estructural ante los sismos.

Por lo general, el dictado de los cursos de Diseño Sísmico de Edificaciones, se centran en la descripción teórica y en la resolución de un escaso número de problemas, lo cual dificulta el proceso de aprendizaje, más aún, tratándose de un curso eminentemente práctico y con una diversidad de estructuras.

El presente libro nació, después de comprobar las grandes dificultades mostradas por los ingenieros estructurales en la modelación, análisis y diseño sísmico de edificaciones.

Es por ello, que tomé el reto de escribir un libro, que haga más didáctico el proceso de estudio individual, resolviendo en forma seria y con el rigor científico todas las prácticas dirigidas y calificadas aplicadas por el autor en el Diplomado en Ingeniería Estructural, organizado por la Universidad Privada Antenor Orrego, propiciando, de esta manera, una forma más amena de convivencia con el Diseño Sísmico de Edificaciones y conducente a un mejor dominio de la materia.

Este libro es un complemento perfecto a los editados anteriormente por el autor, denominados Interacción Sísmica Suelo-Estructura en Edificaciones con Zapatas Aisladas, Interacción Suelo-Estructura en Edificios Altos, Edificaciones con Disipadores de Energía, ganadores de los Premios Nacionales otorgados por la Asamblea Nacional de Rectores en los años 2006, 2007, 2008 y el libro Ingeniería Sismo-Resistente Prácticas y Exámenes UPC, los cuales gozan de gran popularidad en los estudiantes y docentes de ingeniería civil de muchas Universidades Nacionales y Extranjeras, así como de ingenieros civiles e investigadores de Centros de Investigación en Ingeniería Estructural.

Como base se tomó la experiencia adquirida en el dictado del curso Diseño Sísmico de Edificaciones a nivel de Posgrado en Universidades Nacionales y Extranjeras.

En mi modesta opinión, el presente libro es único en su género, tanto en la forma de resolución de problemas como en su contenido, que no es una repetición de otros textos editados anteriormente.

El presente libro consta de 4 Prácticas Dirigidas y 4 Prácticas Calificadas, todas resueltas, aplicando la propuesta de Norma de Diseño Sismo-Resistente E030.

En las Prácticas Dirigida y Calificada N° 1 se evalúa el tema Criterios Estructurales y Geotécnicos.

En las Prácticas Dirigida y Calificada N° 2 se evalúa el tema Análisis Sísmico Estático.

En las Prácticas Dirigida y Calificada N° 3 se evalúa el tema Análisis Sísmico Dinámico.

En las Prácticas Dirigida y Calificada N° 4 se evalúa el tema Interacción Suelo-Estructura.

El presente texto está dirigido a estudiantes de ingeniería civil y docentes que imparten el curso Diseño Sísmico de Edificaciones; así como a ingenieros civiles, posgraduandos e investigadores en el área de estructuras.

Este libro se lo dedico a mis alumnos de Posgrado de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Universidad de Santo Tomás y Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, de los hermanos países de Bolivia, Colombia y Ecuador respectivamente; quienes con sus consultas me motivaron a escribir el presente libro y sus mensajes de agradecimiento fueron vitales para la culminación del presente texto.

De manera muy especial, dedico el presente libro a mis Padres Gregorio Villarreal Armas y Emma Yolanda Castro Barbarán, por su inmenso amor, cariño, protección y sólida formación humana, pilares

fundamentales para ser un hombre de bien. Mi gratitud y amor eterno para ellos, quienes son mi mayor riqueza y orgullo personal.

Ph.D. Genner Villarreal Castro
genner_vc@rambler.ru

Lima, Agosto de 2015



**DIPLOMADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES
PRACTICA DIRIGIDA Nº 1**

Tema : Criterios Estructurales y Geotécnicos
Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro

I PARTE: Responda las siguientes preguntas (cada pregunta bien contestada vale +0,75 puntos y mal contestada -0,25 puntos), marcando con X o círculo la respuesta correcta

1. ¿Qué es una Estructura?
 - a) Pórtico
 - b) Carga viva y carga muerta
 - c) Armazón o cascarón estructural
 - d) Muros estructurales
 - e) N.A.
2. ¿Cómo se calcula la carga muerta?
 - a) Peso específico x volumen
 - b) Peso específico x área
 - c) Peso específico x longitud
 - d) Densidad x volumen
 - e) N.A.
3. ¿Cuál es la carga viva en viviendas?
 - a) 400kgf/m^2
 - b) 100kgf/m^2
 - c) 300kgf/m^2
 - d) 200kgf/m^2
 - e) N.A.
4. Indique el ratio de capacidad portante para suelo blando
 - a) Menor a $1,2\text{kgf/cm}^2$
 - b) Entre $1,2\text{kgf/cm}^2$ y 3kgf/cm^2
 - c) Entre 3kgf/cm^2 y 4kgf/cm^2
 - d) Mayor a 4kgf/cm^2
 - e) N.A.
5. ¿Cómo se modela el coeficiente de balasto?
 - a) Carga puntual
 - b) Carga linealmente distribuida
 - c) Carga distribuida en la base de la cimentación
 - d) Resorte distribuido en toda el área de contacto cimentación-suelo
 - e) N.A.

6. Capacidad portante es:
 - a) Carga / Volumen
 - b) Asentamiento
 - c) Resistencia del terreno
 - d) Carga puntual
 - e) N.A.
7. La viga recibe carga de la:
 - a) Losa
 - b) Columna
 - c) Escalera
 - d) Tabiquería
 - e) N.A.
8. Una columna trabaja a:
 - a) Torsión y compresión
 - b) Flexión y compresión
 - c) Solo a flexión
 - d) Solo a compresión
 - e) N.A.
9. Para realizar un proyecto estructural se necesita:
 - a) Planos de arquitectura
 - b) Estudios topográficos
 - c) Estudios de mecánica de suelos
 - d) Todas las anteriores
 - e) N.A.
10. En edificaciones, el control por carga lateral se realiza para determinar:
 - a) Resistencia del terreno
 - b) Asentamiento
 - c) Desplazamiento lateral
 - d) Agrietamientos
 - e) N.A.
11. Los tipos de losas son:
 - a) Aligeradas
 - b) Macizas
 - c) Nervadas
 - d) Todas las anteriores
 - e) N.A.
12. Para el sobrecimiento de un cimiento corrido, se usa una proporción C:H (cemento:hormigón) y% de piedra mediana (PM)
 - a) 1:8+25%PM
 - b) 1:10+25%PM
 - c) 1:8+30%PM
 - d) 1:10+30%PM
 - e) N.A.

13. El solado de una zapata aislada tiene cms de espesor y su proporción C:A (cemento:arena) es:
- a) 10cms y 1:15
 - b) 5cms y 1:10
 - c) 10cms y 1:10
 - d) 5cms y 1:15
 - e) N.A.
14. La evaluación de densidad de muros según la Norma E070 es obligatoria para:
- a) La dirección X del edificio
 - b) Las direcciones X e Y del edificio
 - c) La dirección Y del edificio
 - d) Las direcciones X, Y, Z del edificio
 - e) N.A.
15. Si una losa aligerada es de 20cms de espesor, entonces el ladrillo de techo a utilizar es de:
- a) 13cms
 - b) 14cms
 - c) 15cms
 - d) 16cms
 - e) N.A.
16. Para Lima, el espesor de un muro portante de albañilería confinada de 2,4m de altura debe ser de:
- a) 13cms o 23cms
 - b) 9cms o 13cms
 - c) 15cms o 25cms
 - d) 15cms
 - e) N.A.
17. Los estribos absorben:
- a) Fuerza cortante
 - b) Fuerza axial
 - c) Momento flector
 - d) Momento torsor
 - e) Todas
18. El tiempo mínimo de vida útil de edificaciones es de:
- a) 10 años
 - b) 20 años
 - c) 30 años
 - d) 40 años
 - e) 50 años
19. Las edificaciones con muros de ductilidad limitada están formadas por:
- a) Columnas, vigas, losas, muros y cimientto
 - b) Pórticos, placas, losas y cimientto
 - c) Muros, losas y cimientto
 - d) Pórticos, losas y cimientto
 - e) N.A.

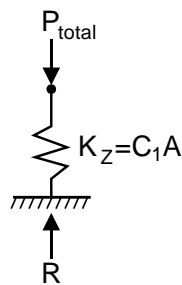
20. El recubrimiento en zapatas es de:

- a) 3cms
- b) 4cms
- c) 5cms
- d) 6cms
- e) 7cms

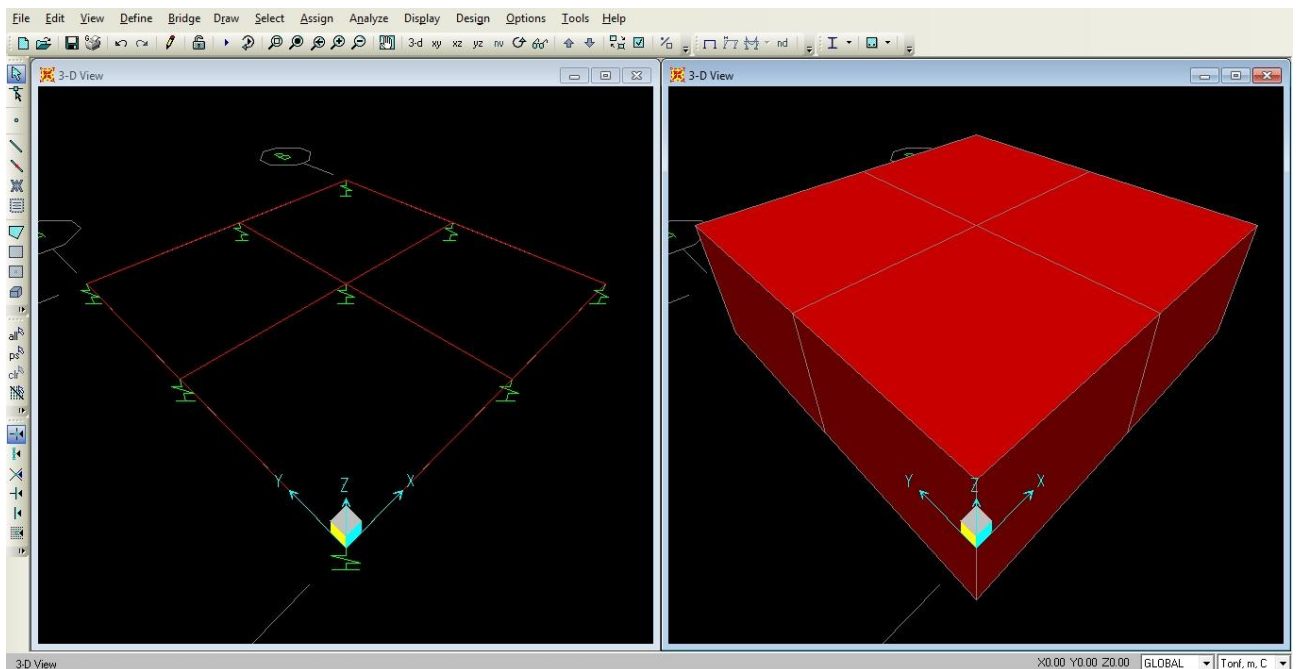
II PARTE: Con ayuda del programa SAP2000, resuelva el siguiente problema:

21. Para un edificio aporticado de concreto armado con $f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$, se tiene una zapata aislada centrada de dimensiones $1,4\text{m} \times 1,4\text{m} \times 0,5\text{m}$ que soporta una carga vertical de $38,808\text{T}$ y apoyada sobre un suelo con coeficiente de balasto de 7 kgf/cm^3 . Se pide:

- i) Determinar el asentamiento tolerable y la reacción en la base, modelando la interacción suelo-zapata en forma análoga al esquema mostrado (1.5 puntos)



- ii) Determinar el asentamiento tolerable máximo y mínimo, modelando la zapata con elementos SHELL y discretizándolo en 4 partes iguales, con resortes distribuidos en los nudos de discretización de la zapata, en forma análoga al esquema mostrado (2 puntos)



- iii) Determinar el asentamiento tolerable máximo y mínimo, modelando la zapata con elementos SHELL y discretizándolo en 4 partes iguales, con resortes distribuidos en toda la superficie de contacto suelo-zapata (1.5 puntos)

Trujillo, agosto de 2015

SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA DIRIGIDA Nº 1

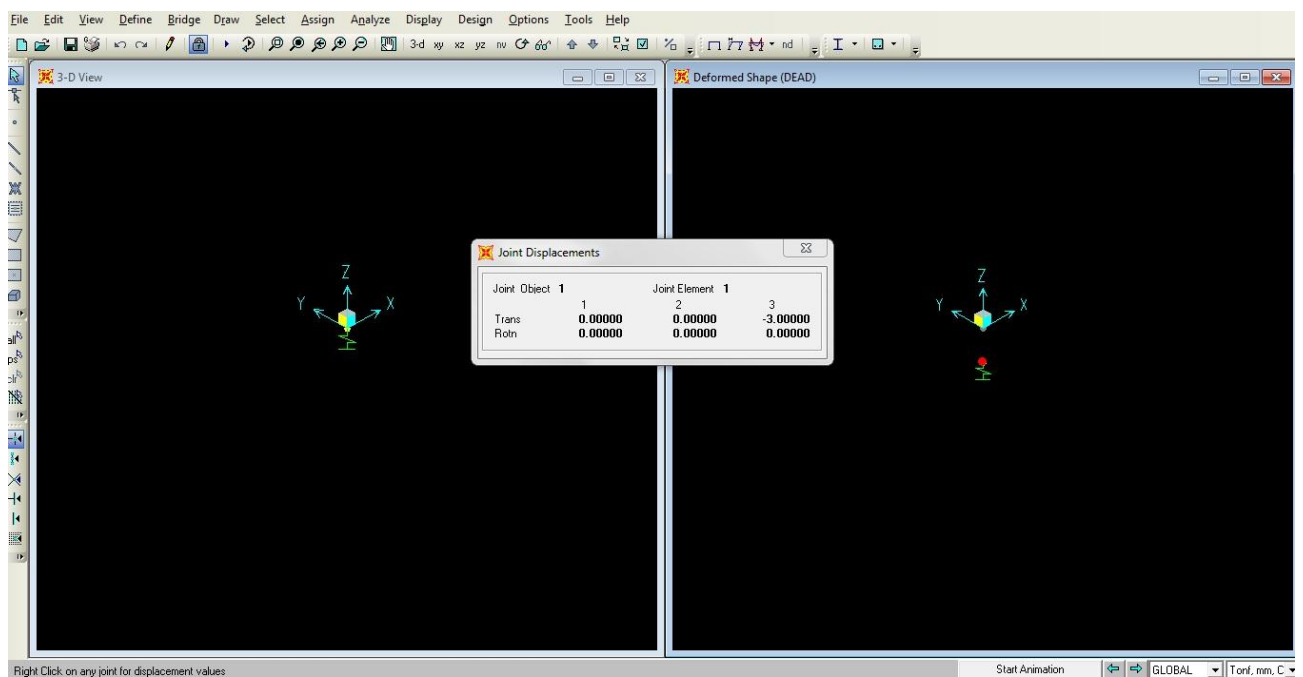
I PARTE:

1. C
2. A
3. D
4. A
5. D
6. C
7. A
8. B
9. D
10. C
11. D
12. A
13. C
14. B
15. C
16. A
17. A
18. E
19. C
20. E

II PARTE:

21. i) Determinamos la carga total:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{puntual}} + P_{\text{zapata}} = 38,808 + 2,4.1,4.1,4.0,5 = 41,16\text{T}$$

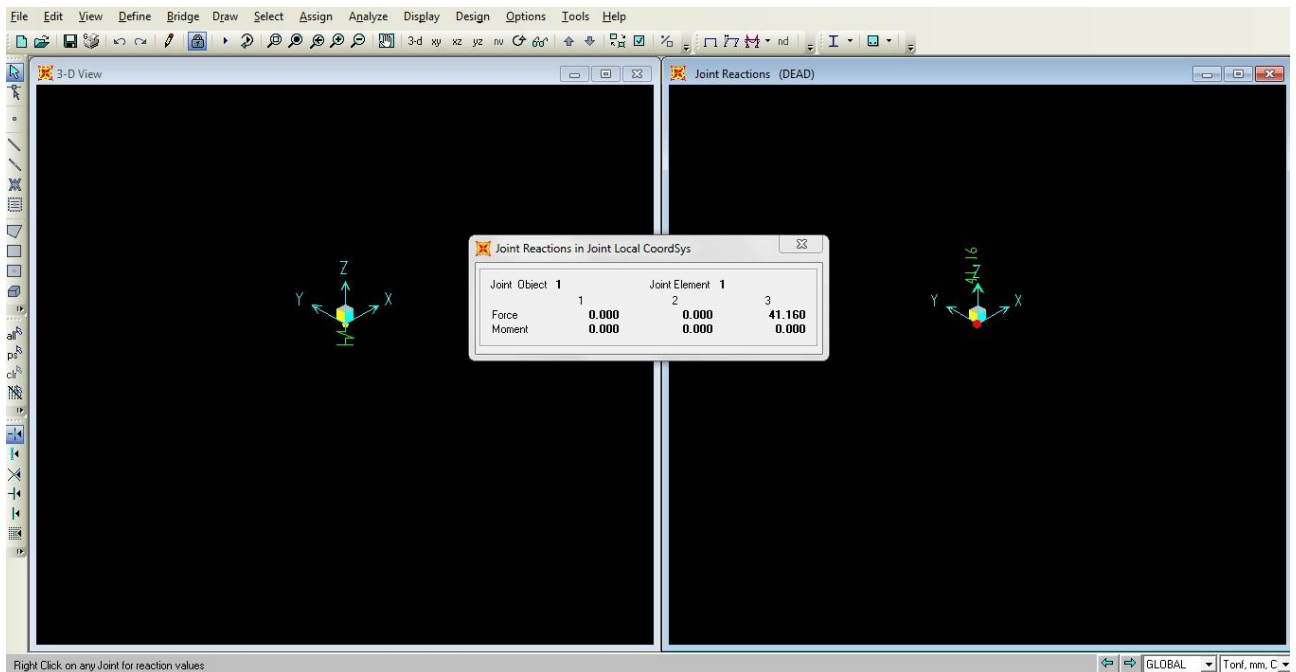


Calculamos la rigidez del resorte:

$$K_z = C_1 A = 7000.1,4.1,4 = 13720\text{T/m}$$

Modelamos en el SAP2000, considerando como grado de libertad, únicamente el desplazamiento en Z y obtenemos el asentamiento tolerable de 3mm, tal como se muestra en la figura de la página anterior.

Ahora, determinamos la reacción en la base (del resorte), la cual es 41,16T tal como se muestra en la figura.



Comprobamos la relación existente entre reacción, rigidez del resorte y asentamiento

$$R = K_z s_t \Rightarrow 41,16 = 13720 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$$

De esta manera, se ha comprobado la veracidad de los resultados obtenidos

ii) Determinamos los resortes puntuales en cada nudo:

Esquinas $K_1 = 7000 \cdot 0,35 \cdot 0,35 = 857,5 \text{ T/m}$

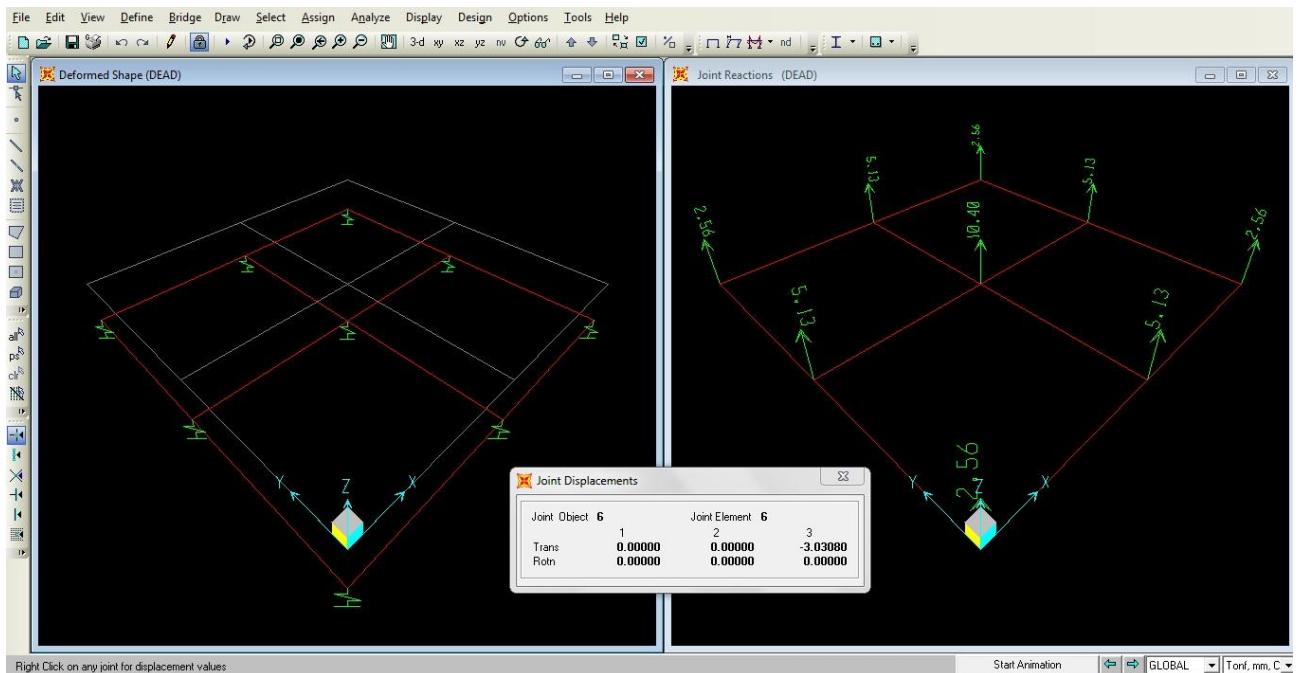
Excéntricos $K_2 = 7000 \cdot 0,7 \cdot 0,35 = 1715 \text{ T/m}$

Central $K_3 = 7000 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 3430 \text{ T/m}$

Modelamos la zapata con elementos SHELL, discretizándolo en 4 partes iguales, asignando su peso propio con peso específico de $2,4 \text{ T/m}^3$, la carga puntual de 38,808T aplicada en el centro de la zapata y los resortes equivalentes por áreas tributarias.

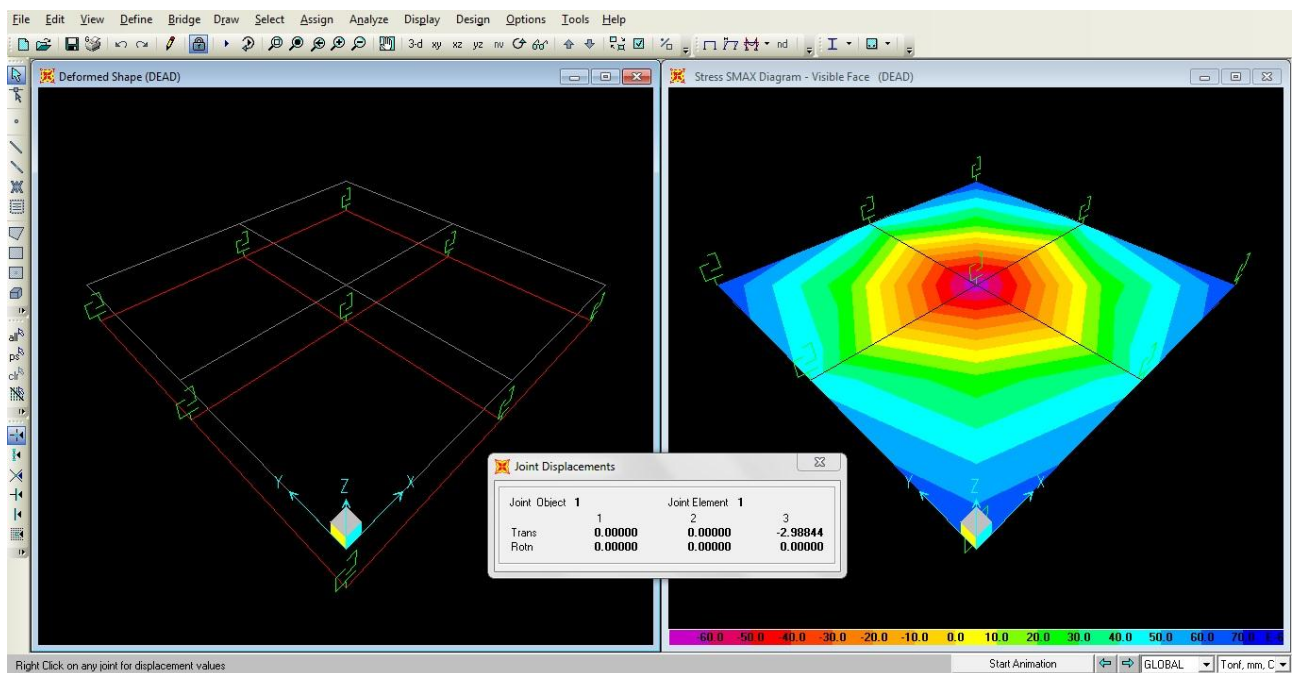
Como grado de libertad, consideramos únicamente el desplazamiento en Z, obteniendo los asentamientos tolerables máximo de 3,031mm (centro de la zapata) y mínimo de 2,988mm (esquina de la zapata)

En la primera figura de la siguiente página, se muestra el asentamiento tolerable máximo y las reacciones de los resortes en todos los nudos, cuya suma es $P_{\text{total}} = 41,16 \text{ T}$



iii) Modelamos en forma análoga al caso anterior, solo con la diferencia que no existen resortes puntuales, sino distribuidos en toda la superficie de contacto suelo-zapata, obteniéndose como asentamientos tolerables máximo de 3,031mm (centro de la zapata) y mínimo de 2,988mm (esquina de la zapata)

En la siguiente figura, se muestra el asentamiento tolerable máximo y el esfuerzo máximo



De los resultados obtenidos, podemos indicar que las 3 modelaciones nos llevan a resultados prácticamente iguales, quedando a criterio del lector aplicar la mejor metodología en los cálculos estructurales.



**DIPLOMADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES
PRACTICA CALIFICADA Nº 1**

Tema : Criterios Estructurales y Geotécnicos
Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro

I PARTE: Responda las siguientes preguntas (cada pregunta bien contestada vale +0,75 puntos y mal contestada -0,25 puntos), marcando con X o círculo la respuesta correcta

1. ¿Qué es un elemento estructural?
 - a) Estructura aporticada
 - b) Albañilería confinada
 - c) Armazón o cascarón estructural
 - d) Estructura aislada diseñada por resistencia y rigidez
 - e) N.A.
2. ¿Qué es carga viva?
 - a) Carga permanente
 - b) Carga temporal y depende de su uso
 - c) Carga súbita
 - d) Carga cíclica
 - e) N.A.
3. ¿Cuánto pesa una viga de concreto armado de 30cm x 50cm y 5m de longitud?
 - a) 1800kgf
 - b) 1600kgf
 - c) 1400kgf
 - d) 2000kgf
 - e) N.A.
4. Indique el ratio del coeficiente de balasto para suelo intermedio
 - a) Menor a 3kgf/cm^3
 - b) Entre 3kgf/cm^3 y 6kgf/cm^3
 - c) Entre 3kgf/cm^2 y 6kgf/cm^2
 - d) Mayor a 6kgf/cm^3
 - e) N.A.
5. ¿Cómo se modela la capacidad portante?
 - a) Carga puntual
 - b) Carga linealmente distribuida
 - c) Carga distribuida en la base de la cimentación
 - d) Resorte distribuido en toda el área de contacto cimentación-suelo
 - e) N.A.

6. El asentamiento tolerable se produce como consecuencia de:
- a) Vida útil del edificio
 - b) Proceso constructivo
 - c) Mal diseño
 - d) Mala construcción
 - e) N.A.
7. La columna recibe carga de la:
- a) Losa
 - b) Muro
 - c) Escalera
 - d) Viga
 - e) N.A.
8. Los muros de ductilidad limitada son:
- a) Muros portantes
 - b) Muros de corte
 - c) Muros portantes y de corte
 - d) Muros no estructurales
 - e) N.A.
9. Para realizar el diseño sísmico de un edificio se aplica la Norma:
- a) E020
 - b) E030
 - c) E050
 - d) E060
 - e) N.A.
10. En edificaciones, el control por carga vertical se realiza para verificar:
- a) Resistencia del terreno y asentamiento
 - b) Asentamiento y desplazamiento lateral
 - c) Desplazamiento lateral y agrietamientos
 - d) Resistencia del terreno y desplazamiento lateral
 - e) N.A.
11. Los tipos de sistemas estructurales son:
- a) Albañilería
 - b) Concreto armado
 - c) Acero
 - d) Madera
 - e) Todas las anteriores
12. Para el cimiento de un cimiento corrido, se usa una proporción C:H (cemento:hormigón) y% de piedra grande (PG)
- a) 1:8+25%PG
 - b) 1:10+25%PG
 - c) 1:8+30%PG
 - d) 1:10+30%PG
 - e) N.A.

13. Para muros de ductilidad limitada, la junta de fragua se coloca cada de longitud del muro
- a) 3m
 - b) 4m
 - c) 5m
 - d) 6m
 - e) N.A.
14. Según la Norma E030, el control de distorsión de entrepisos es obligatorio para:
- a) Hospitales
 - b) Colegios
 - c) Edificaciones en zonas rurales
 - d) Todas las edificaciones
 - e) N.A.
15. Si una losa aligerada es de 20cms de espesor, entonces la longitud de las viguetas es de:
- a) 4m
 - b) 5m
 - c) 6m
 - d) 7m
 - e) N.A.
16. Para Iquitos, el espesor de un muro portante de albañilería confinada de 2,4m de altura debe ser de:
- a) 9cms
 - b) 13cms
 - c) 23cms
 - d) 25cms
 - e) N.A.
17. En vigas, los estribos menos espaciados se colocan en:
- a) Los extremos
 - b) En el centro
 - c) No necesitan estribos
 - d) En toda la viga en forma uniforme
 - e) N.A.
18. El concreto usado en muros de ductilidad limitada es de:
- a) 140kgf/cm^2
 - b) 175kgf/cm^2
 - c) 210kgf/cm^2
 - d) 250kgf/cm^2
 - e) N.A.
19. Según la Norma E030, las edificaciones con muros de ductilidad limitada pueden tener como máximo:
- a) 3 pisos
 - b) 4 pisos
 - c) 5 pisos
 - d) 6 pisos
 - e) 7 pisos

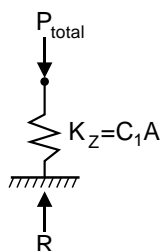
20. El recubrimiento en columnas es de:

- a) 3cms
- b) 4cms
- c) 5cms
- d) 6cms
- e) 7cms

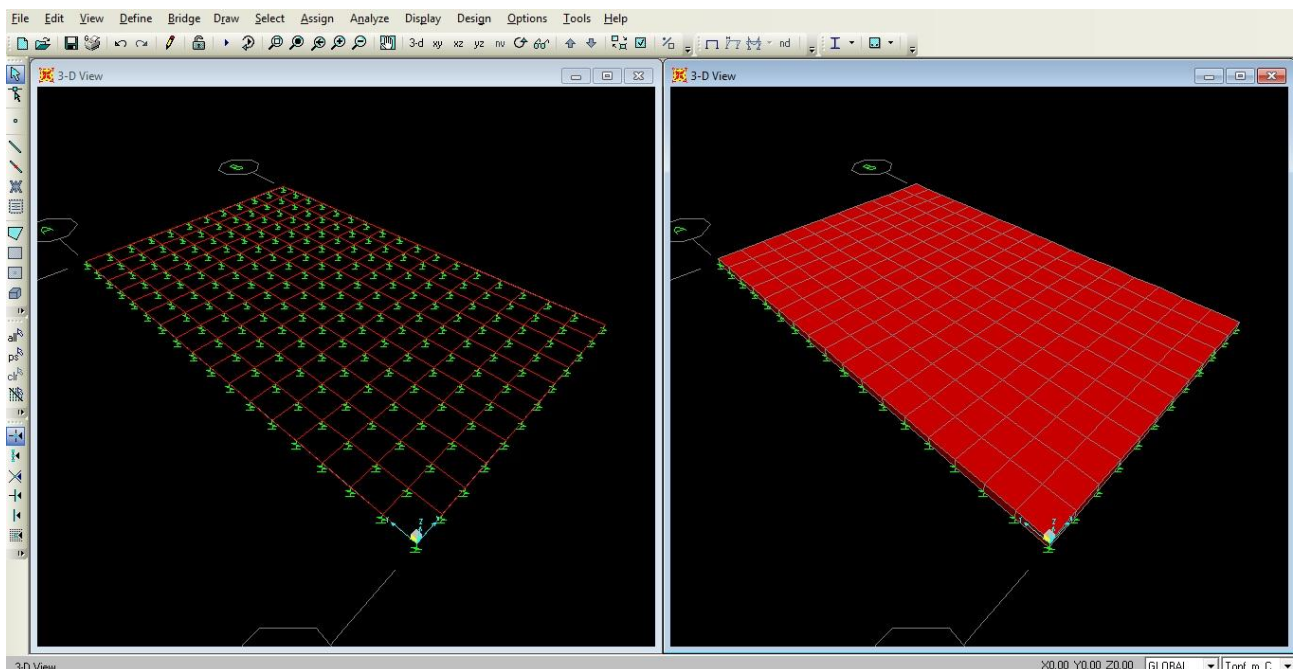
II PARTE: Con ayuda del programa SAP2000, resuelva el siguiente problema:

21. Para un edificio de concreto armado con $f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$, se tiene una platea de cimentación con dimensiones $11\text{m} \times 17\text{m} \times 0,3\text{m}$ que soporta una carga vertical total de $770,028\text{T}$ y apoyada sobre un suelo con coeficiente de balasto de 1 kgf/cm^3 . Se pide:

- i) Determinar el asentamiento tolerable y la reacción en la base, modelando la interacción suelo-platea en forma análoga al esquema mostrado (1.5 puntos)



- ii) Determinar el asentamiento tolerable, modelando la platea con elementos SHELL y discretizándolo en cuadrículas de $1\text{m} \times 1\text{m}$, con resortes distribuidos en los nudos de discretización de la platea, en forma análoga al esquema mostrado y con la carga $770,028\text{T}$ distribuida en forma uniforme por toda la platea (2 puntos)



- iii) Determinar el asentamiento tolerable, modelando la platea con elementos SHELL y discretizándolo en cuadrículas de $1\text{m} \times 1\text{m}$, con resortes distribuidos en toda la superficie de contacto suelo-platea y con la carga $770,028\text{T}$ distribuida en forma uniforme por toda la platea (1.5 puntos)

Trujillo, agosto de 2015

SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA CALIFICADA Nº 1

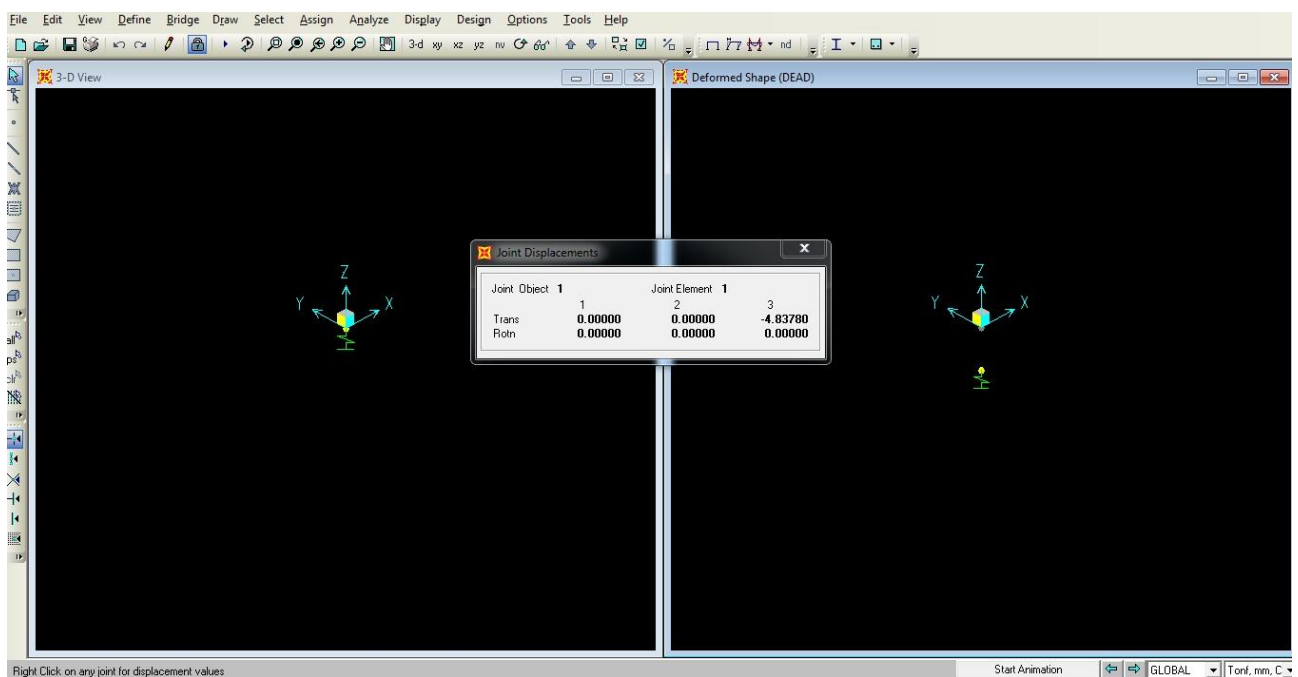
I PARTE:

1. D
2. B
3. A
4. B
5. C
6. B
7. D
8. C
9. B
10. A
11. E
12. D
13. B
14. D
15. B
16. B
17. A
18. C
19. E
20. B

II PARTE:

21. i) Determinamos la carga total:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{puntual}} + P_{\text{platea}} = 770,028 + 2,4 \cdot 11,17 \cdot 0,3 = 904,668 \text{ T}$$

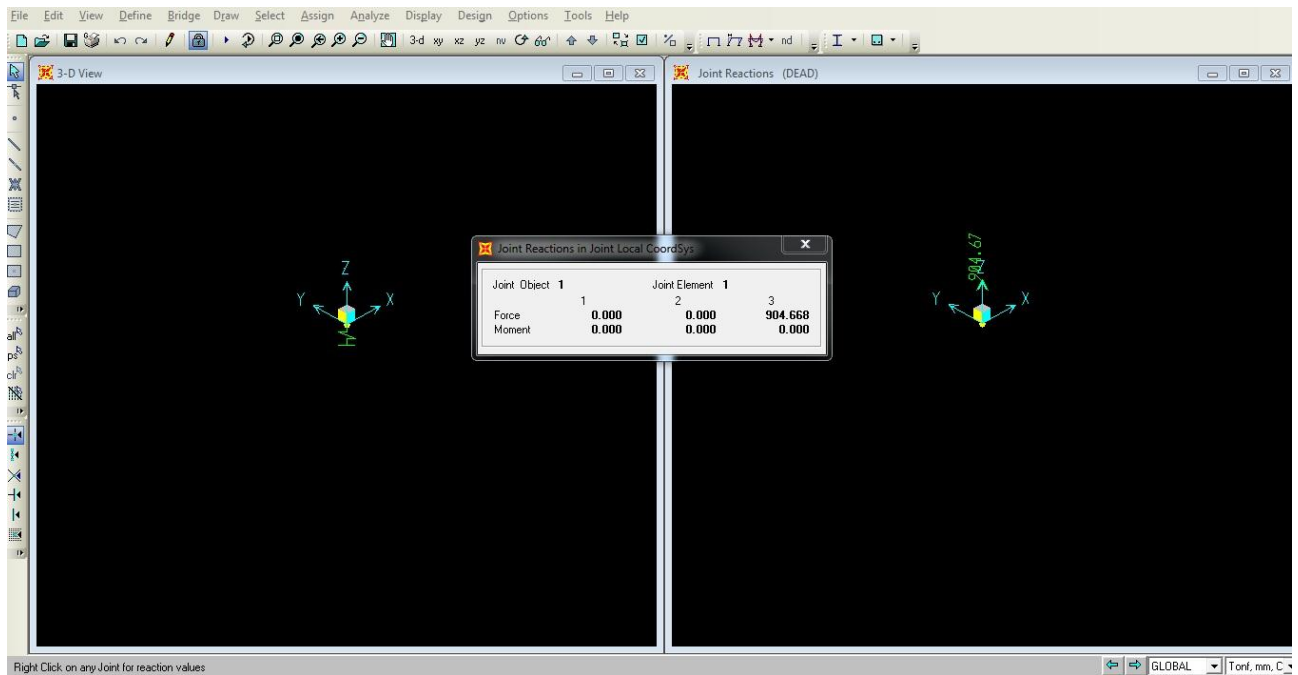


Calculamos la rigidez del resorte:

$$K_z = C_1 A = 1000 \cdot 11,17 = 187000 \text{ T/m}$$

Modelamos en el SAP2000, considerando como grado de libertad, únicamente el desplazamiento en Z y obtenemos el asentamiento tolerable de 4,8378mm, tal como se muestra en la figura de la página anterior.

Ahora, determinamos la reacción en la base (del resorte), la cual es 904,668T tal como se muestra en la figura.



Comprobamos la relación existente entre reacción, rigidez del resorte y asentamiento

$$R = K_z s_t \Rightarrow 904,668 = 187000 \cdot 4,8378 \cdot 10^{-3}$$

De esta manera, se ha comprobado la veracidad de los resultados obtenidos

ii) Determinamos los resortes puntuales en cada nudo:

Esquinas $K_1 = 1000 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 250T/m$

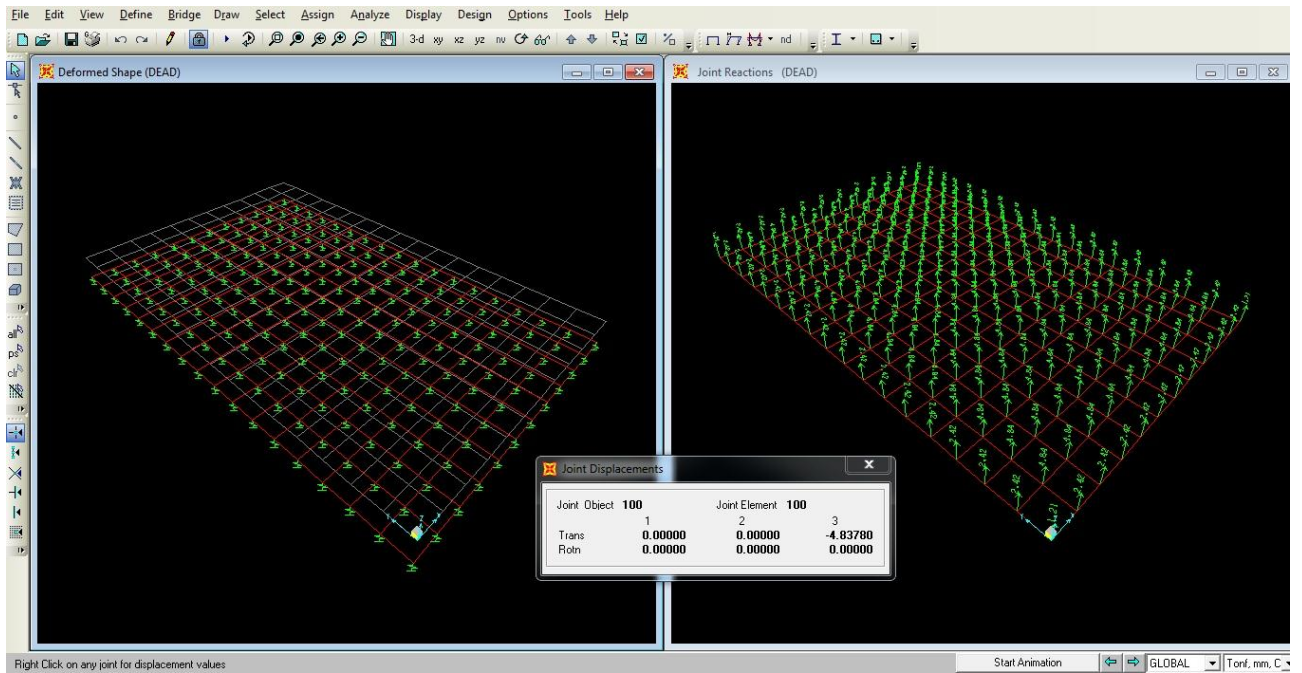
Excéntricos $K_2 = 1000 \cdot 1 \cdot 0,5 = 500T/m$

Central $K_3 = 1000 \cdot 1 \cdot 1 = 1000T/m$

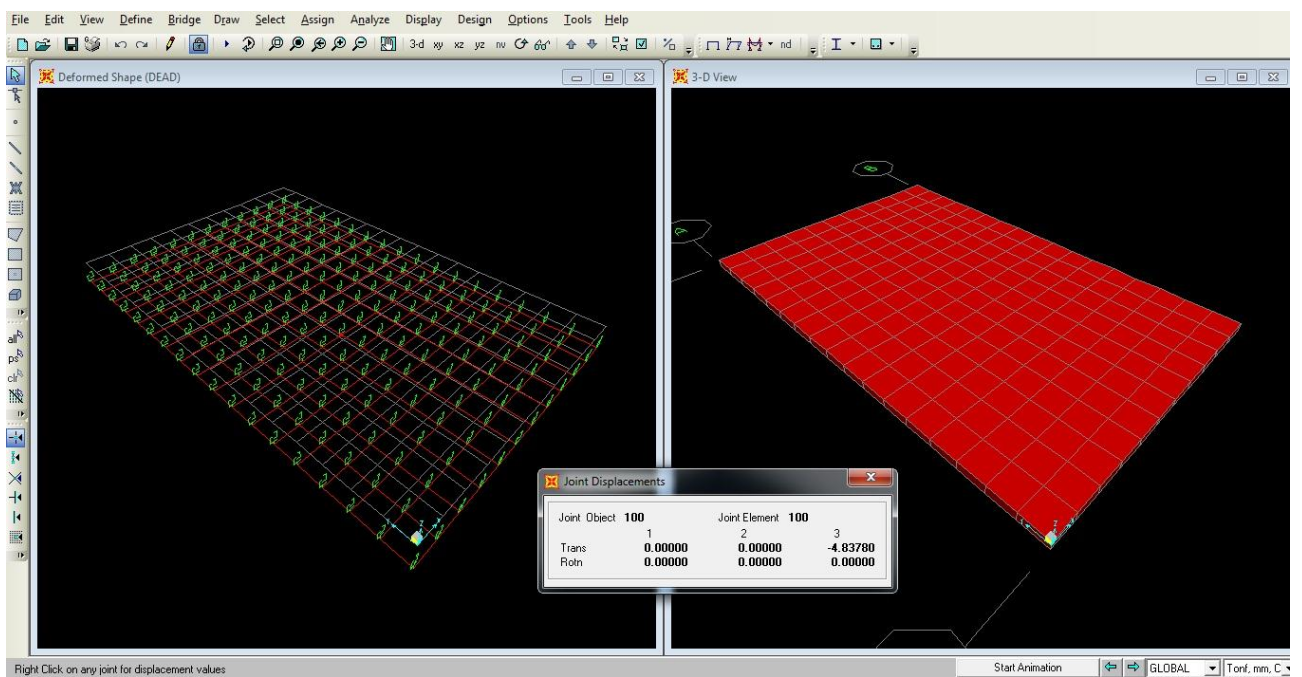
Modelamos la platea con elementos SHELL, discretizándolo en 187 partes iguales, asignando su peso propio con peso específico de $2,4T/m^3$ y la carga puntual de 770,028T la distribuimos en forma uniforme sobre la platea, es decir, con una carga de $4,1178T/m^2$

Como grado de libertad, consideramos únicamente el desplazamiento en Z, obteniendo un asentamiento tolerable uniforme de 4,8378mm.

En la primera figura de la siguiente página, se muestra el asentamiento tolerable y las reacciones de los resortes en todos los nudos.



iii) Modelamos en forma análoga al caso anterior, con la diferencia que no existen resortes puntuales, sino distribuidos en toda la superficie de contacto suelo-platea, obteniéndose como asentamiento tolerable uniforme de 4,8378mm tal como se muestra en la siguiente figura



De los resultados obtenidos, podemos indicar que las 3 modelaciones nos llevan a resultados iguales, quedando a criterio del lector aplicar la mejor metodología en los cálculos estructurales.



**DIPLOMADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES
PRACTICA DIRIGIDA Nº 2**

Tema : Análisis Sísmico Estático
Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes:

1. Explique y esquematice la irregularidad en altura de rigidez o piso blando (1.5 puntos)
2. Explique y esquematice la irregularidad en planta de sistemas no paralelos (1.5 puntos)
3. Indique cómo se clasifican los suelos y bajo qué parámetros se miden (1.5 puntos)
4. Determine el valor del factor de amplificación sísmica para un edificio con período 1,2s y ubicado en suelo blando (1 punto)
5. Determine el valor del coeficiente de reducción de la fuerza sísmica para un edificio de sistema dual de concreto armado, que tiene las irregularidades en altura de masa y discontinuidad de los sistemas resistentes, así como las irregularidades en planta torsional y de esquina entrante (1 punto)
6. Indicar la correspondencia, escribiendo en el recuadro libre de la tabla 2, la característica o valor que lo relaciona con la tabla 1, justificando sus respuestas: (2.5 puntos)

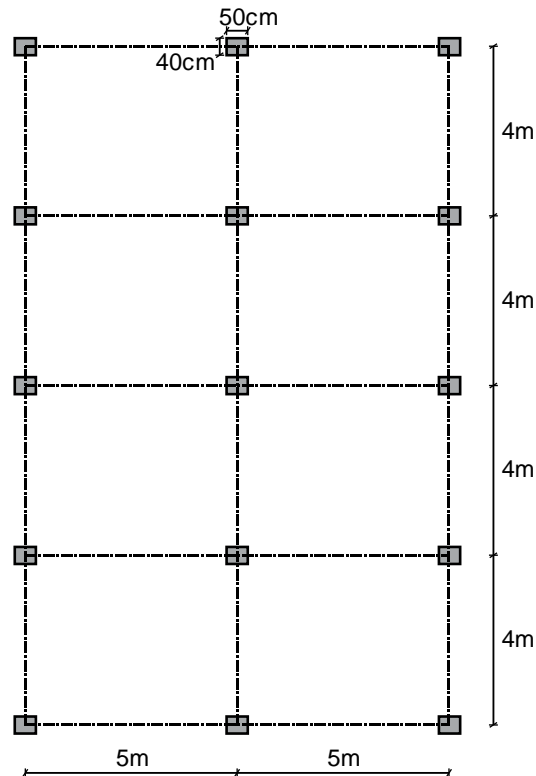
Tabla 1		Tabla 2	
i	Edificio regular	$T_p = 0,6s$	
ii	Suelo roca o muy rígido	$\Delta_{real} = 0,85R(\Delta_{elástico})$	
iii	Suelo intermedio	$T_p = 0,4s$	
iv	Suelo blando	$\Delta_{real} = 0,75R(\Delta_{elástico})$	
v	Edificio irregular	$T_p = 1,0s$	

II PARTE:

7. Se tiene una edificación de 3 pisos y destinada para aulas de colegio, proyectada en la ciudad de Trujillo, con sistema estructural aporticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico estático, considerando el suelo muy rígido por la Norma E030 y:

Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c = 2100T/m^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2173706T/m^2$
Coeficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losa de techo aligerada de espesor	$e = 20cm$ (pisos 1 y 2) $e = 17cm$ (piso 3)

Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 143,925T
	Piso 2 = 136,725T
	Piso 3 = 116,913T
Zapatas aisladas de dimensiones	1,3m x 1,2m x 0,4m
Profundidad de desplante (contacto con zapata)	1m



Se pide:

- Determinar el período fundamental (0.5 puntos)
- Calcular el factor de amplificación sísmica C (0.5 puntos)
- Determinar la fuerza cortante en la base (1 punto)
- Calcular las fuerzas sísmicas por la altura del edificio (1 punto)
- Determinar la excentricidad accidental (0.5 puntos)
- Modelar con el SAP2000 y comprobar el período fundamental por la fórmula alterna (3 puntos)
- Efectuar el control de distorsiones de entrepisos para Sismo X+ y Sismo Y+ e indicar si es necesario reforzar la estructura (2.5 puntos)
- Determinar las fuerzas internas máximas, indicando donde ocurre (2 puntos)

Fuerza interna	Empotrado (Sismo X+)	Empotrado (Sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$		
$V_{\text{máx}}$		
$M_{\text{máx}}$		

Trujillo, agosto de 2015

SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA DIRIGIDA Nº 2

I PARTE:

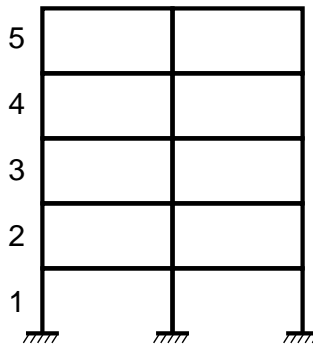
1. La irregularidad en altura de rigidez o piso blando se produce cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión o deriva de entrepiso es mayor que 1,4 veces el correspondiente valor en el entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,25 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes.

La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.

Por ejemplo, se tiene una edificación de 5 pisos, identificando cada piso como un número, tal como se muestra en la figura. Si β =distorsión de entrepiso, entonces el primer piso será considerado como

blando si se cumple que $\beta_1 > 1,4\beta_2$ o $\beta_1 > 1,25\left(\frac{\beta_2 + \beta_3 + \beta_4}{3}\right)$

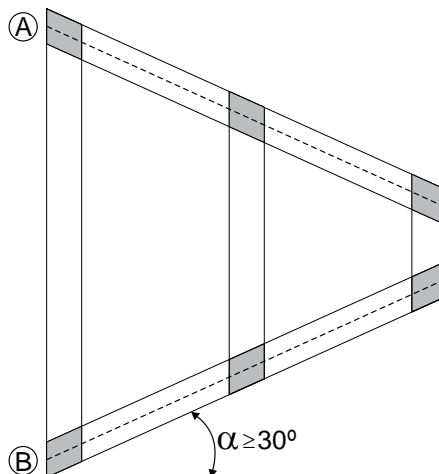
Esta irregularidad se castiga con el factor $I_a = 0,75$



2. La irregularidad en planta de sistemas no paralelos se produce cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° , ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10% de la fuerza cortante del piso.

Por ejemplo, se tiene una edificación con ejes no paralelos A y B, tal como se muestra en la figura y con un ángulo de inclinación $\alpha \geq 30^\circ$. Si V es la cortante, para que sea considerado como sistema de eje no paralelo, adicional se debe de cumplir que $V_A \geq 0,10V_{\text{piso}}$ o $V_B \geq 0,10V_{\text{piso}}$

Esta irregularidad se castiga con el factor $I_p = 0,90$



3. De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, los suelos se clasifican en función de la velocidad promedio de las ondas de corte V_s , promedio ponderado del ensayo estándar de penetración N_{60} y promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada \bar{s}_u , tal como se muestra en la tabla 3

Tabla 3

Perfil	V_s	N_{60}	\bar{s}_u
S_0	>1500m/s	-	-
S_1	500m/s a 1500m/s	>50	>100kPa
S_2	180m/s a 500m/s	15 a 50	50kPa a 100kPa
S_3	<180m/s	<15	25kPa a 50kPa

Los perfiles de suelos son los mostrados en la tabla 4

Tabla 4

Perfil	Suelo
S_0	Roca dura
S_1	Roca o muy rígido
S_2	Intermedio
S_3	Blando
S_4	Condiciones excepcionales

La clasificación del perfil S_4 , es basada en el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) y se aplica para construcciones temporales.

4. Como el suelo es blando, se tendrá que $T_p = 1,0s$ y $T_L = 1,6s$

De esta manera, se cumplirá que el período del edificio ($T=1,2s$) se encuentra entre T_p y T_L , debiendo el factor de amplificación sísmica determinarse mediante la ecuación.

$$C = 2,5 \left(\frac{T_p}{T} \right) = 2,5 \left(\frac{1,0}{1,2} \right) = 2,083$$

5. Como existen dos irregularidades en altura, debemos de elegir el menor valor, que corresponde al caso de discontinuidad en los sistemas resistentes con un factor de irregularidad $I_a = 0,80$

En forma análoga procedemos con las dos irregularidades en planta, eligiendo el menor valor, que corresponde al caso de irregularidad torsional con un factor de irregularidad $I_p = 0,75$

De esta manera, el coeficiente de reducción de la fuerza sísmica será:

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p = 7,0 \cdot 0,80 \cdot 0,75 = 4,2$$

Siendo:

$R_0 = 7$ Coeficiente básico de reducción para el sistema dual de concreto armado.

6. i) Para un edificio regular, se usa la relación $\Delta_{\text{real}} = 0,75R(\Delta_{\text{elástico}})$ para convertir el desplazamiento elástico en real.
- ii) Para el suelo roca o muy rígido, el período que define la plataforma del espectro es $T_p = 0,4s$
- iii) Para el suelo intermedio, el período que define la plataforma del espectro es $T_p = 0,6s$
- iv) Para el suelo blando, el período que define la plataforma del espectro es $T_p = 1,0s$
- v) Para un edificio irregular, se usa la relación $\Delta_{\text{real}} = 0,85R(\Delta_{\text{elástico}})$ para convertir el desplazamiento elástico en real.

De acuerdo a lo anteriormente explicado, las respuestas correctas de la tabla 2 son

Tabla 1		Tabla 2	
i	Edificio regular	$T_p = 0,6s$	iii
ii	Suelo roca o muy rígido	$\Delta_{\text{real}} = 0,85R(\Delta_{\text{elástico}})$	v
iii	Suelo intermedio	$T_p = 0,4s$	ii
iv	Suelo blando	$\Delta_{\text{real}} = 0,75R(\Delta_{\text{elástico}})$	i
v	Edificio irregular	$T_p = 1,0s$	iv

II PARTE:

7. i) Período fundamental:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{3.4}{35} = 0,343s$$

- ii) Como el suelo es muy rígido, se tendrá que $T_p = 0,4s$ y $T_L = 2,5s$

De esta manera, se cumplirá que el período del edificio ($T=0,343s$) es menor que el período del suelo T_p , siendo el factor de amplificación sísmica $C = 2,5$

- iii) Fuerza cortante en la base:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = \frac{0,45 \cdot 1,5 \cdot 2,5 \cdot 1,0}{8} \cdot 397,563 = 83,86T$$

Siendo:

$Z=0,45$ (Trujillo)

$U=1,5$ (Colegio)

$C=2,5$

$S=1,0$ (Suelo S_1 y Zona Z_4)

$P=143,925+136,725+116,913=397,563T$

$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p = 8 \cdot 1 \cdot 1 = 8$

Dónde:

$R_0 = 8$ Coeficiente básico de reducción para el sistema aporticado de concreto armado.

$I_a = 1$ Regular en altura

$I_p = 1$ Regular en planta

Comprobamos:

$$\frac{C}{R} = \frac{2,5}{8} = 0,313 > 0,125 \quad \text{OK}$$

- iv) Como el período del edificio $T=0,343s$ es menor que $0,5s$ entonces el exponente $k = 1,0$

Ahora, determinamos el factor α_i

$$\alpha_1 = \frac{143,925.4}{143,925.4 + 136,725.8 + 116,913.12} = \frac{575,7}{3072,456} = 0,187$$

$$\alpha_2 = \frac{136,725.8}{143,925.4 + 136,725.8 + 116,913.12} = \frac{1093,8}{3072,456} = 0,356$$

$$\alpha_3 = \frac{116,913.12}{143,925.4 + 136,725.8 + 116,913.12} = \frac{1402,956}{3072,456} = 0,457$$

De esta manera, la fuerza sísmica será:

$$F_1 = 0,187.83,86 = 15,682T$$

$$F_2 = 0,356.83,86 = 29,854T$$

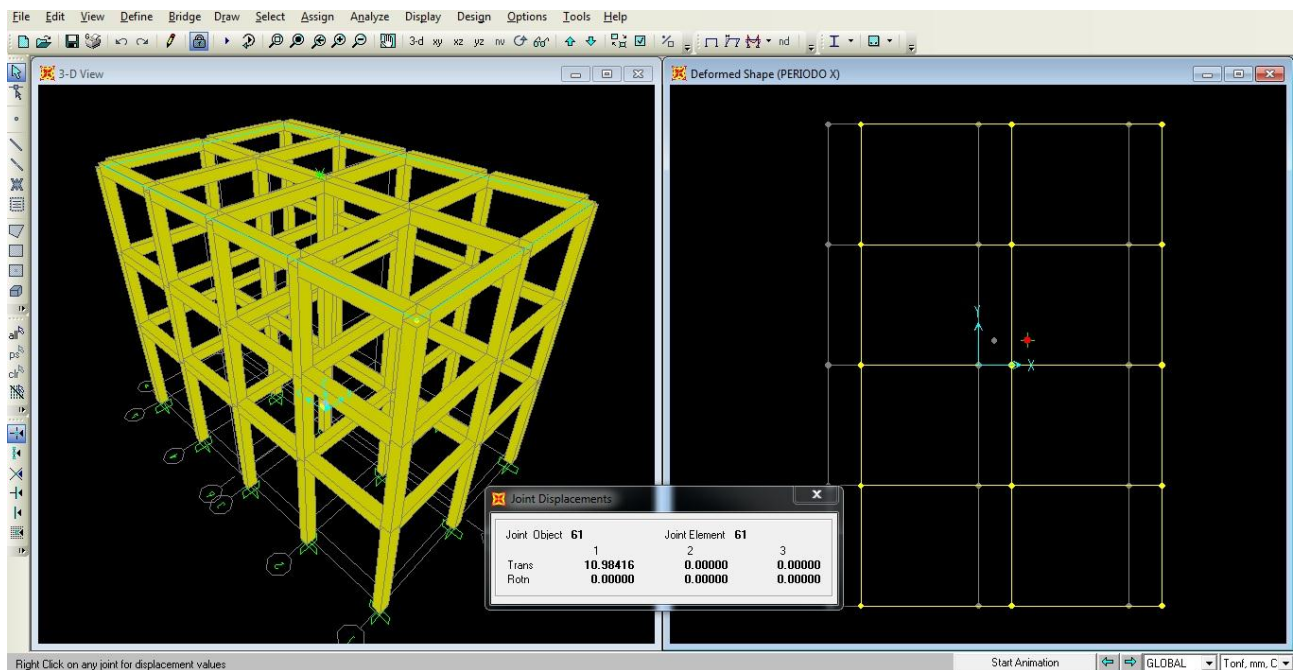
$$F_3 = 0,457.83,86 = 38,324T$$

- v) Excentricidad accidental:

$$e_x = 0,05.10,5 = 0,525m$$

$$e_y = 0,05.16,4 = 0,82m$$

- vi) En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y la obtención del desplazamiento elástico horizontal máximo en X (en el centro de masa), considerando su traslación pura, es decir, como único grado de libertad el desplazamiento en X



En forma análoga se procederá con el desplazamiento elástico horizontal en Y (en el centro de masa), considerando su traslación pura, es decir, como único grado de libertad el desplazamiento en Y

En la tabla 5, se muestran los desplazamientos elásticos en los centros de masas de cada piso para las direcciones X e Y

Tabla 5

Piso	Desplazamiento en X	Desplazamiento en Y
3	10,98mm	16,95mm
2	9,41mm	14,53mm
1	6,62mm	10,23mm

Ahora, aplicamos la fórmula alterna para el cálculo de los períodos en X e Y

$$T_X = 0,85 \left[2\pi \sqrt{\frac{P_1 D_{1X}^2 + P_2 D_{2X}^2 + P_3 D_{3X}^2}{g(F_{1X} D_{1X} + F_{2X} D_{2X} + F_{3X} D_{3X})}} \right]$$

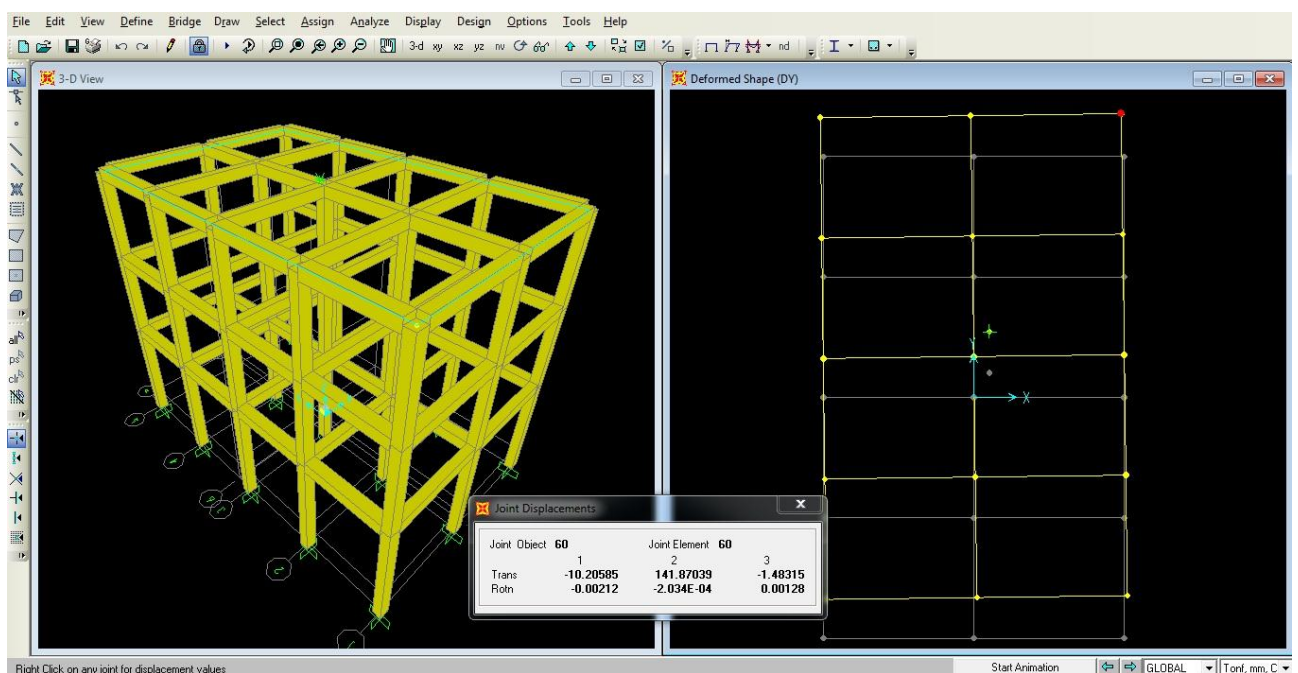
$$T_X = 0,85 \left[2\pi \sqrt{\frac{143,925.0,00662^2 + 136,725.0,00941^2 + 116,913.0,01098^2}{9,81.(15,682.0,00662 + 29,854.0,00941 + 38,324.0,01098)}} \right] = 0,343s$$

$$T_Y = 0,85 \left[2\pi \sqrt{\frac{P_1 D_{1Y}^2 + P_2 D_{2Y}^2 + P_3 D_{3Y}^2}{g(F_{1Y} D_{1Y} + F_{2Y} D_{2Y} + F_{3Y} D_{3Y})}} \right]$$

$$T_Y = 0,85 \left[2\pi \sqrt{\frac{143,925.0,01023^2 + 136,725.0,01453^2 + 116,913.0,01695^2}{9,81.(15,682.0,01023 + 29,854.0,01453 + 38,324.0,01695)}} \right] = 0,426s$$

De esta manera, podemos apreciar que el período en X coincide y el período en Y no coincide, siendo la variación del 24,2%

- vii) En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y el desplazamiento real máximo para la dirección Y, correspondiente al nudo extremo superior derecho (nudo color rojo) del piso 3



Como la edificación es regular en ambas direcciones, para calcular el desplazamiento real, debemos de amplificar el desplazamiento elástico por el factor $0,75R$ siendo, en este caso, $0,75 \cdot 8 = 6$ para ambas direcciones.

En las tablas 6 a la 13, se muestran los desplazamientos en X e Y, así como las distorsiones de cada nudo extremo de las losas de entrepisos.

Para una mejor visualización, en la siguiente figura se muestran los nudos A, B, C y D, correspondiente a cada nudo extremo de la losa de entrepiso.

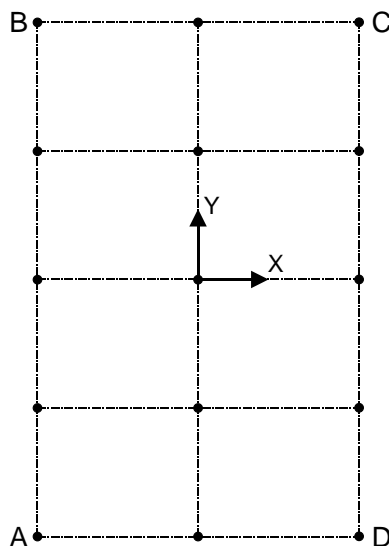


Tabla 6: Sismo X+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	106,34mm	0,005
2	85,21mm	0,009
1	49,53mm	0,010

Tabla 7: Sismo X+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	138,22mm	0,007
2	111,25mm	0,011
1	65,30mm	0,013

Tabla 8: Sismo X+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	138,22mm	0,007
2	111,25mm	0,011
1	65,30mm	0,013

Tabla 9: Sismo X+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	106,34mm	0,005
2	85,21mm	0,009
1	49,53mm	0,010

Tabla 10: Sismo Y+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	129,11mm	0,005
2	107,41mm	0,010
1	69,16mm	0,014

Tabla 11: Sismo Y+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	129,11mm	0,005
2	107,41mm	0,010
1	69,16mm	0,014

Tabla 12: Sismo Y+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	141,87mm	0,006
2	117,83mm	0,011
1	75,47mm	0,015

Tabla 13: Sismo Y+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	141,87mm	0,006
2	117,83mm	0,011
1	75,47mm	0,015

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, la distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones de los extremos del entrepiso, mostrándose en las tablas 14 y 15 las distorsiones de entrepiso.

Tabla 14: Distorsión de entrepiso en X

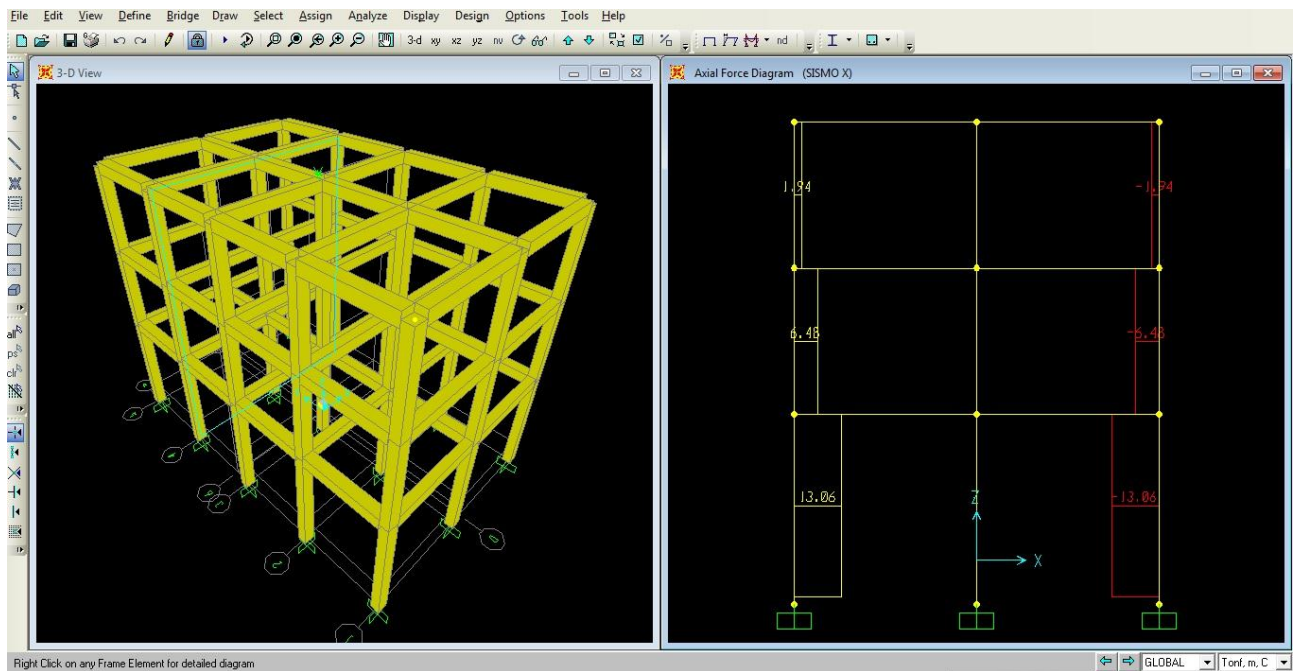
Piso	Distorsión del extremo A	Distorsión del extremo B	Distorsión del extremo C	Distorsión del extremo D	Distorsión de entrepiso	Cumple
3	0,005	0,007	0,007	0,005	0,006	SI
2	0,009	0,011	0,011	0,009	0,010	NO
1	0,010	0,013	0,013	0,010	0,012	NO

Tabla 15: Distorsión de entrepiso en Y

Piso	Distorsión del extremo A	Distorsión del extremo B	Distorsión del extremo C	Distorsión del extremo D	Distorsión de entrepiso	Cumple
3	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	SI
2	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	NO
1	0,014	0,014	0,015	0,015	0,015	NO

De los resultados obtenidos, se desprende que no cumple en ambas direcciones, siendo necesario reforzar la estructura en ambos sentidos.

viii) En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y la fuerza axial máxima para Sismo X+



Las fuerzas internas máximas, se muestran en la tabla 16

Tabla 16

Fuerza interna	Empotrado (Sismo X+)	Empotrado (Sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$	13,06T	14,81T
$V_{\text{máx}}$	7,39T	6,22T
$M_{\text{máx}}$	20,02T.m	16,11T.m

Para ambas direcciones del sismo, las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso.

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, las fuerzas de diseño (V y M) para la dirección Y serán 1,25 veces su valor, debido a que en esa dirección todos los pórticos superan el 30% de la fuerza cortante horizontal.

Se recuerda, que para el diseño, se requiere previamente cumplir con las distorsiones de entrepisos en ambas direcciones.



**DIPLOMADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES
PRACTICA CALIFICADA Nº 2**

Tema : Análisis Sísmico Estático
Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes:

1. Explique y esquematice la irregularidad en altura de masa o peso (1.5 puntos)
2. Explique y esquematice la irregularidad en planta de esquina entrante (1.5 puntos)
3. Indique los valores de los períodos T_p y T_L para los distintos perfiles de suelo (1.5 puntos)
4. Determine el valor del factor de amplificación sísmica para un edificio con período 0,4s y ubicado en suelo intermedio (0.5 puntos)
5. Determine el valor del coeficiente de reducción de la fuerza sísmica para un edificio con muros estructurales de concreto armado, que tiene las irregularidades en altura de rigidez o piso blando y geométrica vertical, así como las irregularidades en planta de discontinuidad del diafragma y sistemas no paralelos (1 punto)
6. Indicar la correspondencia, escribiendo en el recuadro libre de la tabla 2, la característica o valor que lo relaciona con la tabla 1, justificando sus respuestas (2.5 puntos)

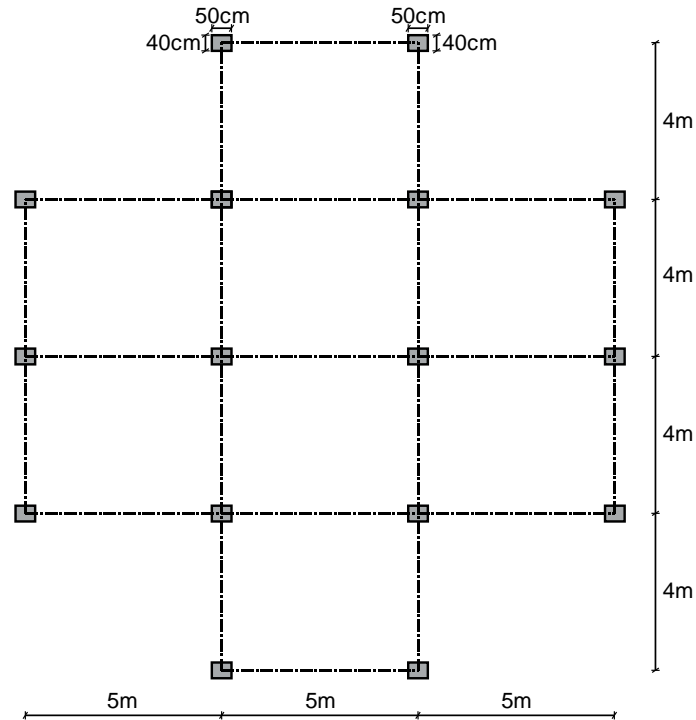
Tabla 1		Tabla 2	
i	Sistema aporticado	$0,2V_{\text{edificio}} < V_{\text{muros}} < 0,8V_{\text{edificio}}$	
ii	Suelo roca dura	$500\text{m/s} < V_s \leq 1500\text{m/s}$	
iii	Sistema dual	$V_{\text{muros}} \geq 0,8V_{\text{edificio}}$	
iv	Suelo roca o muy rígido	$V_s > 1500\text{m/s}$	
v	Sistema de muros estructurales	$V_{\text{columnas}} \geq 0,8V_{\text{edificio}}$	

II PARTE:

7. Se tiene una edificación de 4 pisos y destinada para centro comercial, proyectada en la ciudad de Lima, con sistema estructural aporticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico estático, considerando el suelo muy rígido por la Norma E030 y:

Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c = 2100\text{T/m}^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2173706\text{T/m}^2$
Coeficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losa de techo maciza de espesor	$e = 15\text{cm}$ (pisos 1, 2 y 3) $e = 12\text{cm}$ (piso 4)

Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 178,286T
	Piso 2 = 170,606T
	Piso 3 = 170,606T
	Piso 4 = 122,080T
Zapatas aisladas de dimensiones	1,5m x 1,4m x 0,5m
Profundidad de desplante (contacto con zapata)	1m



Se pide:

- Determinar el período fundamental (0.5 puntos)
- Calcular el factor de amplificación sísmica C (0.5 puntos)
- Determinar la fuerza cortante en la base (1 punto)
- Calcular las fuerzas sísmicas por la altura del edificio (1 punto)
- Determinar la excentricidad accidental (0.5 puntos)
- Modelar con el SAP2000 y comprobar el período fundamental por la fórmula alterna (3 puntos)
- Efectuar el control de distorsiones de entrepisos para Sismo X+ y Sismo Y+ e indicar si es necesario reforzar la estructura (3 puntos)
- Determinar las fuerzas internas máximas, indicando donde ocurre (2 puntos)

Fuerza interna	Empotrado (Sismo X+)	Empotrado (Sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$		
$V_{\text{máx}}$		
$M_{\text{máx}}$		

Trujillo, agosto de 2015

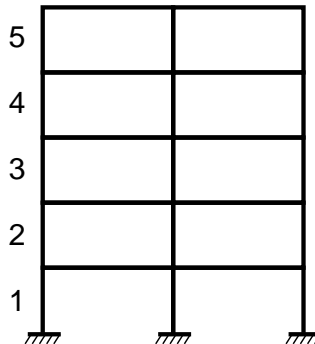
SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA CALIFICADA Nº 2

I PARTE:

1. La irregularidad en altura de masa o peso se produce cuando, el peso sísmico de un piso es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Esto no aplica para techos (último piso) cuyo peso será menor al del piso inmediato inferior.

Por ejemplo, se tiene una edificación de 5 pisos, identificando cada piso como un número, tal como se muestra en la figura. Si P = peso sísmico, entonces el edificio será irregular por masa o peso si se cumple que $P_3 > 1,5P_2$ o $P_3 > 1,5P_4$

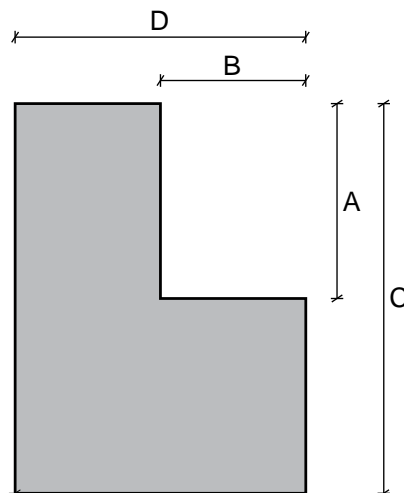
Esta irregularidad se castiga con el factor $I_a = 0,90$



2. La irregularidad en planta de esquina entrante se produce cuando tiene esquinas cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que el 20% de la correspondiente dimensión total en planta.

Por ejemplo, se tiene una edificación, tal como se muestra en la figura, la cual será irregular por esquina entrante en X e Y si se cumple que $B > 0,2D$ y $A > 0,2C$, respectivamente.

Esta irregularidad se castiga con el factor $I_p = 0,90$



3. De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, los valores de los períodos T_p y T_L para los distintos perfiles de suelos se muestran en la tabla 3

Siendo:

T_p - Período que define la plataforma del espectro

T_L - Período que define el inicio de la zona del espectro con desplazamiento constante

Tabla 3

Período	Perfil de Suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
T_p (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Los perfiles de suelos son los mostrados en la tabla 4

Tabla 4

Perfil	Suelo
S_0	Roca dura
S_1	Roca o muy rígido
S_2	Intermedio
S_3	Blando

4. Como el suelo es intermedio, se tendrá que $T_p = 0,6s$ y $T_L = 2,0s$

De esta manera, se cumplirá que el período del edificio ($T=0,4s$) es menor que T_p , debiendo ser el factor de amplificación sísmica $C=2,5$

5. Como existen dos irregularidades en altura, debemos de elegir el menor valor, que corresponde al caso de rigidez o piso blando con un factor de irregularidad $I_a = 0,75$

En forma análoga procedemos con las dos irregularidades en planta, eligiendo el menor valor, que corresponde al caso de irregularidad por discontinuidad del diafragma con un factor de irregularidad $I_p = 0,85$

De esta manera, el coeficiente de reducción de la fuerza sísmica será:

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p = 6,0 \cdot 0,75 \cdot 0,85 = 3,825$$

Siendo:

$R_0 = 6$ Coeficiente básico de reducción para el sistema con muros estructurales de concreto armado.

6. i) Para un edificio aporticado, la cortante de las columnas debe ser como mínimo el 80% del cortante del edificio, es decir $V_{columnas} \geq 0,8V_{edificio}$
- ii) Al perfil de suelo roca dura, le corresponde una velocidad promedio de las ondas de corte $V_s > 1500m/s$
- iii) Para un edificio con sistema dual, la cortante de los muros varía entre el 20% y el 80% del cortante del edificio, es decir $0,2V_{edificio} < V_{muros} < 0,8V_{edificio}$
- iv) Al perfil de suelo roca o muy rígido, le corresponde una velocidad promedio de las ondas de corte $500m/s < V_s \leq 1500m/s$
- v) Para un edificio con muros estructurales, la cortante de los muros debe ser como mínimo el 80% del cortante del edificio, es decir $V_{muros} \geq 0,8V_{edificio}$

De acuerdo a lo anteriormente explicado, las respuestas correctas de la tabla 2 son

Tabla 1		Tabla 2	
i	Sistema aporticado	$0,2V_{\text{edificio}} < V_{\text{muros}} < 0,8V_{\text{edificio}}$	iii
ii	Suelo roca dura	$500\text{m/s} < V_s \leq 1500\text{m/s}$	iv
iii	Sistema dual	$V_{\text{muros}} \geq 0,8V_{\text{edificio}}$	v
iv	Suelo roca o muy rígido	$V_s > 1500\text{m/s}$	ii
v	Sistema de muros estructurales	$V_{\text{columnas}} \geq 0,8V_{\text{edificio}}$	i

II PARTE:

7. i) Período fundamental:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{4,4}{35} = 0,457\text{s}$$

ii) Como el suelo es muy rígido, se tendrá que $T_p = 0,4\text{s}$ y $T_L = 2,5\text{s}$

De esta manera, se cumplirá que el período del edificio ($T=0,457\text{s}$) se encuentra entre los períodos del suelo T_p y T_L , debiendo el factor de amplificación sísmica determinarse mediante la ecuación:

$$C = 2,5 \left(\frac{T_p}{T} \right) = 2,5 \left(\frac{0,4}{0,457} \right) = 2,188$$

iii) Fuerza cortante en la base:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = \frac{0,45 \cdot 1,3 \cdot 2,188 \cdot 1,0}{7,2} \cdot 641,578 = 114,06\text{T}$$

Siendo:

$Z=0,45$ (Lima)

$U=1,3$ (Centro comercial)

$C=2,188$

$S=1,0$ (Suelo S_1 y Zona Z_4)

$P=178,286+170,606+170,606+122,080=641,578\text{T}$

$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p = 8 \cdot 1 \cdot 0,9 = 7,2$

Dónde:

$R_0 = 8$ Coeficiente básico de reducción para el sistema aporticado de concreto armado.

$I_a = 1$ Regular en altura

$I_p = 0,9$ Irregular en planta por esquina entrante

Comprobamos:

$$\frac{C}{R} = \frac{2,188}{7,2} = 0,304 > 0,125 \quad \text{OK}$$

iv) Como el período del edificio $T=0,457\text{s}$ es menor que $0,5\text{s}$ entonces el exponente $k = 1,0$

Ahora, determinamos el factor α_i

$$\alpha_1 = \frac{178,286.4}{178,286.4 + 170,606.8 + 170,606.12 + 122,080.16} = \frac{713,144}{6078,544} = 0,117$$

$$\alpha_2 = \frac{170,606.8}{178,286.4 + 170,606.8 + 170,606.12 + 122,080.16} = \frac{1364,848}{6078,544} = 0,225$$

$$\alpha_3 = \frac{170,606.12}{178,286.4 + 170,606.8 + 170,606.12 + 122,080.16} = \frac{2047,272}{6078,544} = 0,337$$

$$\alpha_4 = \frac{122,080.16}{178,286.4 + 170,606.8 + 170,606.12 + 122,080.16} = \frac{1953,28}{6078,544} = 0,321$$

De esta manera, la fuerza sísmica será:

$$F_1 = 0,117.114,06 = 13,345T$$

$$F_2 = 0,225.114,06 = 25,664T$$

$$F_3 = 0,337.114,06 = 38,438T$$

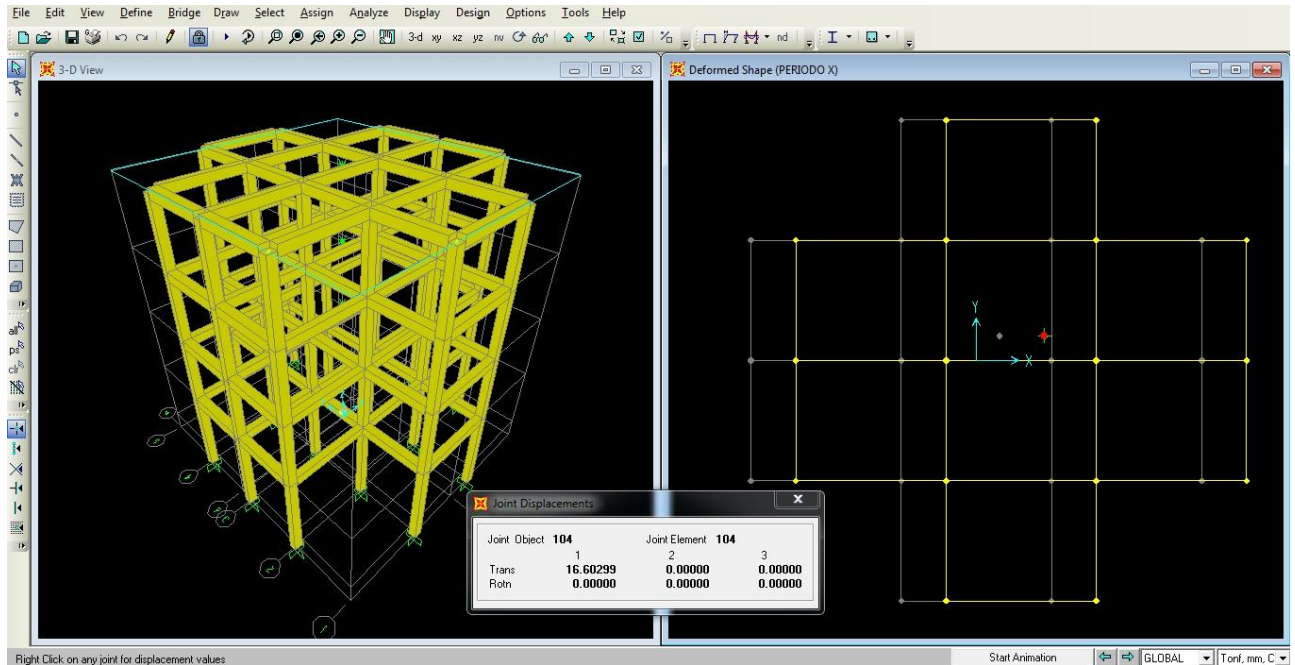
$$F_4 = 0,321.114,06 = 36,613T$$

v) Excentricidad accidental:

$$e_x = 0,05.15,5 = 0,775m$$

$$e_y = 0,05.16,4 = 0,82m$$

vi) En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y la obtención del desplazamiento elástico horizontal máximo en X (en el centro de masa), considerando su traslación pura, es decir, como único grado de libertad el desplazamiento en X



En forma análoga se procederá con el desplazamiento elástico horizontal en Y (en el centro de masa), considerando su traslación pura, es decir, como único grado de libertad el desplazamiento en Y

En la tabla 5, se muestran los desplazamientos elásticos en los centros de masas de cada piso para las direcciones X e Y

Tabla 5

Piso	Desplazamiento en X	Desplazamiento en Y
4	16,60mm	25,61mm
3	15,19mm	23,45mm
2	12,31mm	19,01mm
1	8,43mm	13,05mm

Ahora, aplicamos la fórmula alterna para el cálculo de los períodos en X e Y

$$T_X = 0,85 \left[2\pi \sqrt{\frac{P_1 D_{1X}^2 + P_2 D_{2X}^2 + P_3 D_{3X}^2 + P_4 D_{4X}^2}{g(F_{1X} D_{1X} + F_{2X} D_{2X} + F_{3X} D_{3X} + F_{4X} D_{4X})}} \right]$$

$$T_X = 0,85 \left[2\pi \sqrt{\frac{178,286.0,00843^2 + 170,606.0,01231^2 + 170,606.0,01519^2 + 122,080.0,01660^2}{9,81.(13,345.0,00843 + 25,664.0,01231 + 38,438.0,01519 + 36,613.0,01660)}} \right]$$

$$T_X = 0,447s$$

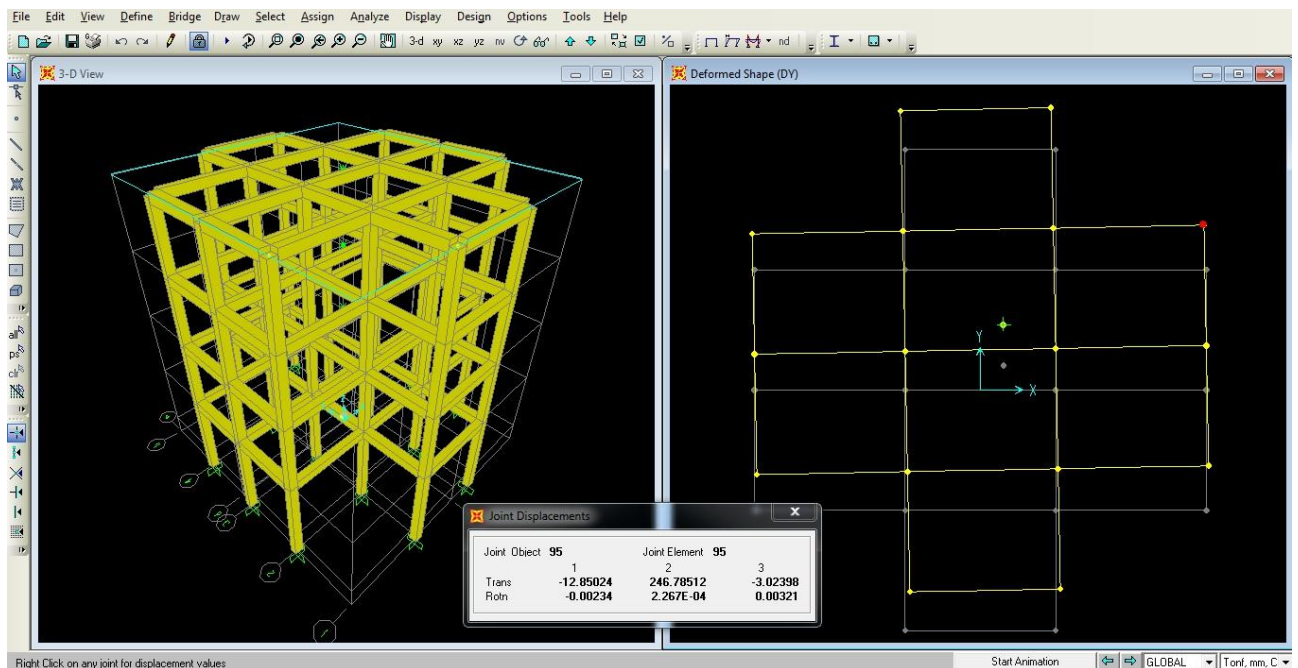
$$T_Y = 0,85 \left[2\pi \sqrt{\frac{P_1 D_{1Y}^2 + P_2 D_{2Y}^2 + P_3 D_{3Y}^2 + P_4 D_{4Y}^2}{g(F_{1Y} D_{1Y} + F_{2Y} D_{2Y} + F_{3Y} D_{3Y} + F_{4Y} D_{4Y})}} \right]$$

$$T_Y = 0,85 \left[2\pi \sqrt{\frac{178,286.0,01305^2 + 170,606.0,01901^2 + 170,606.0,02345^2 + 122,080.0,02561^2}{9,81.(13,345.0,01305 + 25,664.0,01901 + 38,438.0,02345 + 36,613.0,02561)}} \right]$$

$$T_Y = 0,556s$$

De esta manera, podemos apreciar que los períodos en X e Y no coinciden, siendo la variación máxima de 21,66%

- vii) En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y el desplazamiento real máximo para la dirección Y, correspondiente al nudo extremo horizontal superior derecho (nudo color rojo) del piso 4



Como la edificación es irregular en ambas direcciones, para calcular el desplazamiento real, debemos de amplificar el desplazamiento elástico por el factor $0,85R$ siendo, en este caso, $0,85 \cdot 7,2 = 6,12$ para ambas direcciones

En las tablas 6 a la 29, se muestran los desplazamientos en X e Y, así como las distorsiones de cada nudo extremo de las losas de entrepisos.

Para una mejor visualización, en la siguiente figura se muestran los nudos A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K y L, correspondiente a cada nudo extremo de la losa de entrepiso.

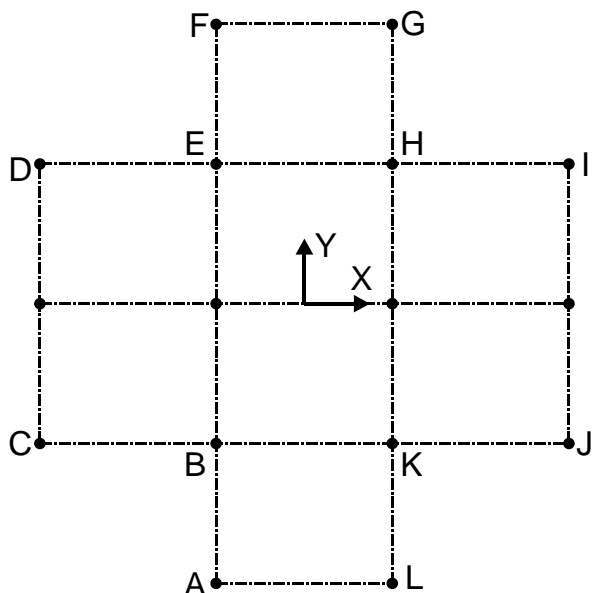


Tabla 6: Sismo X+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	171,31mm	0,005
3	150,79mm	0,009
2	113,59mm	0,012
1	63,92mm	0,013

Tabla 7: Sismo X+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	184,91mm	0,006
3	162,91mm	0,010
2	122,90mm	0,013
1	69,38mm	0,014

Tabla 8: Sismo X+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	184,91mm	0,006
3	162,91mm	0,010
2	122,90mm	0,013
1	69,38mm	0,014

Tabla 9: Sismo X+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	212,10mm	0,006
3	187,15mm	0,011
2	141,50mm	0,015
1	80,30mm	0,016

Tabla 10: Sismo X+ para el nudo E

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	212,10mm	0,006
3	187,15mm	0,011
2	141,50mm	0,015
1	80,30mm	0,016

Tabla 11: Sismo X+ para el nudo F

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	225,70mm	0,007
3	199,27mm	0,012
2	150,81mm	0,016
1	85,76mm	0,017

Tabla 12: Sismo X+ para el nudo G

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	225,70mm	0,007
3	199,27mm	0,012
2	150,81mm	0,016
1	85,76mm	0,017

Tabla 13: Sismo X+ para el nudo H

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	212,10mm	0,006
3	187,15mm	0,011
2	141,50mm	0,015
1	80,30mm	0,016

Tabla 14: Sismo X+ para el nudo I

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	212,10mm	0,006
3	187,15mm	0,011
2	141,50mm	0,015
1	80,30mm	0,016

Tabla 15: Sismo X+ para el nudo J

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	184,91mm	0,006
3	162,91mm	0,010
2	122,90mm	0,013
1	69,38mm	0,014

Tabla 16: Sismo X+ para el nudo K

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	184,91mm	0,006
3	162,91mm	0,010
2	122,90mm	0,013
1	69,38mm	0,014

Tabla 17: Sismo X+ para el nudo L

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	171,31mm	0,005
3	150,79mm	0,009
2	113,59mm	0,012
1	63,92mm	0,013

Tabla 18: Sismo Y+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	214,66mm	0,006
3	192,20mm	0,011
2	149,84mm	0,014
1	92,74mm	0,019

Tabla 19: Sismo Y+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	214,66mm	0,006
3	192,20mm	0,011
2	149,84mm	0,014
1	92,74mm	0,019

Tabla 20: Sismo Y+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	198,60mm	0,005
3	177,88mm	0,010
2	138,85mm	0,013
1	86,29mm	0,017

Tabla 21: Sismo Y+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	198,60mm	0,005
3	177,88mm	0,010
2	138,85mm	0,013
1	86,29mm	0,017

Tabla 22: Sismo Y+ para el nudo E

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	214,66mm	0,006
3	192,20mm	0,011
2	149,84mm	0,014
1	92,74mm	0,019

Tabla 23: Sismo Y+ para el nudo F

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	214,66mm	0,006
3	192,20mm	0,011
2	149,84mm	0,014
1	92,74mm	0,019

Tabla 24: Sismo Y+ para el nudo G

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	230,72mm	0,006
3	206,51mm	0,011
2	160,83mm	0,015
1	99,19mm	0,020

Tabla 25: Sismo Y+ para el nudo H

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	230,72mm	0,006
3	206,51mm	0,011
2	160,83mm	0,015
1	99,19mm	0,020

Tabla 26: Sismo Y+ para el nudo I

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	246,79mm	0,006
3	220,83mm	0,012
2	171,82mm	0,017
1	105,64mm	0,021

Tabla 27: Sismo Y+ para el nudo J

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	246,79mm	0,006
3	220,83mm	0,012
2	171,82mm	0,017
1	105,64mm	0,021

Tabla 28: Sismo Y+ para el nudo K

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	230,72mm	0,006
3	206,51mm	0,011
2	160,83mm	0,015
1	99,19mm	0,020

Tabla 29: Sismo Y+ para el nudo L

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	230,72mm	0,006
3	206,51mm	0,011
2	160,83mm	0,015
1	99,19mm	0,020

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, la distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones de los extremos del entrepiso, mostrándose en las tablas 30 y 31 las distorsiones de entrepiso.

Tabla 30: Distorsión de entrepiso en X

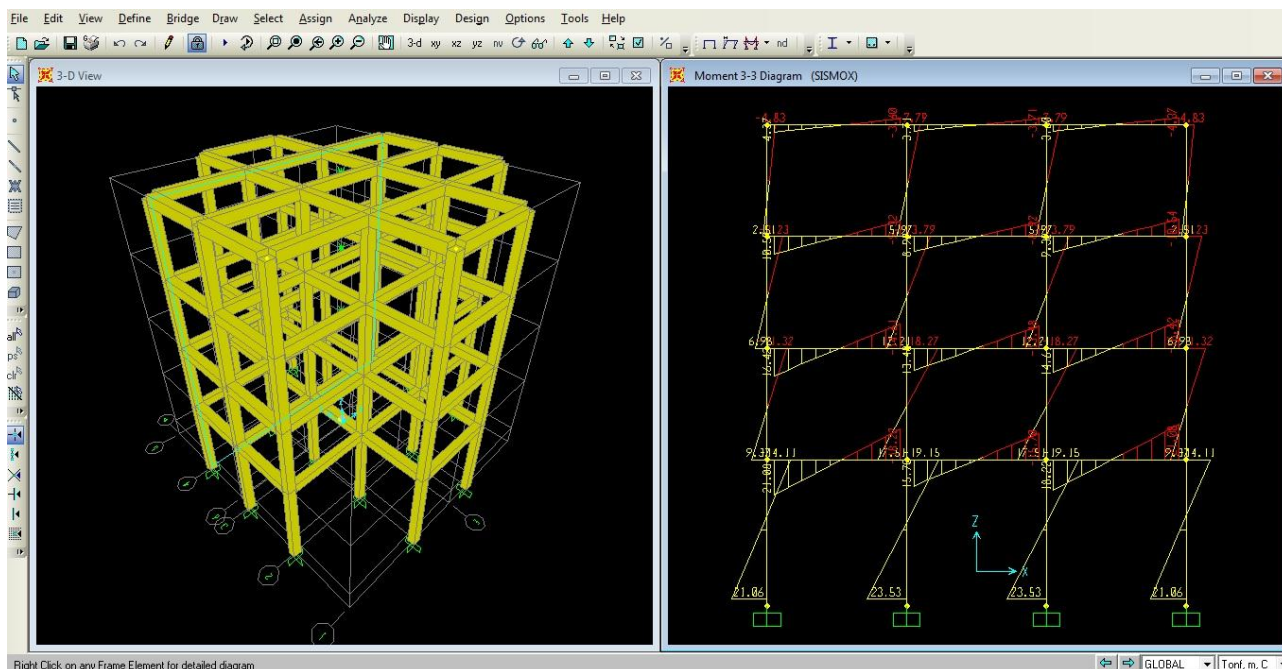
Piso	Distorsión de los extremos A, L	Distorsión de los extremos B, C, J, K	Distorsión de los extremos D, E, H, I	Distorsión de los extremos F, G	Distorsión de entrepiso	Cumple
4	0,005	0,006	0,006	0,007	0,006	SI
3	0,009	0,010	0,011	0,012	0,011	NO
2	0,012	0,013	0,015	0,016	0,014	NO
1	0,013	0,014	0,016	0,017	0,015	NO

Tabla 31: Distorsión de entrepiso en Y

Piso	Distorsión de los extremos A, B, E, F	Distorsión de los extremos C, D	Distorsión de los extremos G, H, K, L	Distorsión de los extremos I, J	Distorsión de entrepiso	Cumple
4	0,006	0,005	0,006	0,006	0,006	SI
3	0,011	0,010	0,011	0,012	0,011	NO
2	0,014	0,013	0,015	0,017	0,015	NO
1	0,019	0,017	0,020	0,021	0,019	NO

De los resultados obtenidos, se desprende que no cumple en ambas direcciones, siendo necesario reforzar la estructura en ambos sentidos.

viii) En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y el momento flector máximo para Sismo X+



Las fuerzas internas máximas, se muestran en la tabla 32

Tabla 32

Fuerza interna	Empotrado (Sismo X+)	Empotrado (Sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$	22,20T	26,61T
$V_{\text{máx}}$	8,95T	8,94T
$M_{\text{máx}}$	23,53T.m	22,24T.m

Para ambas direcciones del sismo, la fuerza axial máxima surge en las columnas del primer piso, la fuerza cortante máxima en las columnas del segundo piso y el momento flector máximo en las columnas del primer piso.

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, las fuerzas de diseño (V y M) para los pórticos centrales (más largos) en la dirección Y serán 1,25 veces su valor, debido a que en esa dirección superan el 30% de la fuerza cortante horizontal.

Se recuerda, que para el diseño, se requiere previamente cumplir con las distorsiones de entrepisos en ambas direcciones.



**DIPLOMADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES
PRACTICA DIRIGIDA Nº 3**

Tema : Análisis Sísmico Dinámico
Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes:

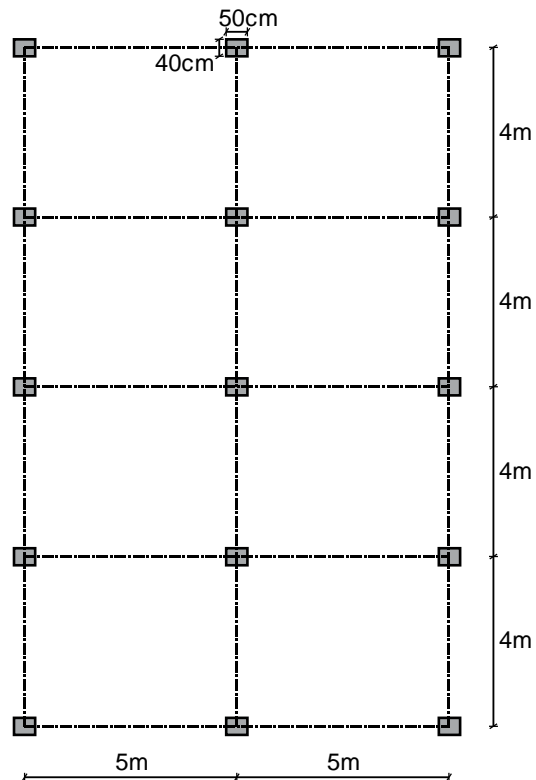
1. Determine el factor de amplificación sísmica C para los suelos roca dura, roca o muy rígido, intermedio y blando (6 puntos)
2. Indicar la correspondencia, escribiendo en el recuadro libre de la tabla 2, la característica o valor que lo relaciona con la tabla 1, justificando sus respuestas (2.5 puntos)

Tabla 1		Tabla 2	
i	Análisis sísmico dinámico	Formas de vibración libre	
ii	Período del modo 1	$\geq 90\%$ de la masa total	
iii	Análisis modal	Espectro de diseño	
iv	Número mínimo de modos de vibración	$0,1(N_{\text{pisos}})$	
v	Análisis espectral	Análisis modal + Análisis espectral	

II PARTE:

3. Se tiene una edificación de 3 pisos y destinada para aulas de colegio, proyectada en la ciudad de Trujillo, con sistema estructural aporticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico dinámico espectral, considerando el suelo muy rígido por la Norma E030 y:

Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c = 2100T/m^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2173706T/m^2$
Coefficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losa de techo aligerada de espesor	$e = 20cm$ (pisos 1 y 2) $e = 17cm$ (piso 3)
Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 143,925T Piso 2 = 136,725T Piso 3 = 116,913T
Zapatas aisladas de dimensiones	1,3m x 1,2m x 0,4m
Profundidad de desplante (contacto con zapata)	1m



Se pide:

- i) Determinar las masas a nivel de entrespisos (1.5 puntos)
- ii) Calcular el factor de escala (1 punto)
- iii) Determinar la excentricidad accidental (0.5 puntos)
- iv) Modelar con el SAP2000 y determinar los 9 primeros períodos de vibración (3 puntos)
- v) Efectuar el control de distorsiones de entrespisos para Sismo X+ y Sismo Y+ e indicar si es necesario reforzar la estructura (3 puntos)
- vi) Determinar las fuerzas internas máximas, indicando donde ocurre (2.5 puntos)

Fuerza interna	Empotrado (Sismo X+)	Empotrado (Sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$		
$V_{\text{máx}}$		
$M_{\text{máx}}$		

Trujillo, agosto de 2015

SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA DIRIGIDA Nº 3

I PARTE:

- De acuerdo al artículo 2.5 de la Norma E030, el factor de amplificación sísmica para los suelos roca dura, roca o muy rígido, intermedio y blando, correspondientes a los perfiles S_0 , S_1 , S_2 y S_3 , se determinarán por las relaciones mostradas en las tablas 3 y 4

Tabla 3

SUELO ROCA DURA		SUELO ROCA O MUY RÍGIDO	
Intervalo	Relación	Intervalo	Relación
$T \leq 0,3$	$C = 2,5$	$T \leq 0,4$	$C = 2,5$
$0,3 < T \leq 3$	$C = 2,5 \left(\frac{0,3}{T} \right) = \frac{0,75}{T}$	$0,4 < T \leq 2,5$	$C = 2,5 \left(\frac{0,4}{T} \right) = \frac{1}{T}$
$T > 3$	$C = 2,5 \left(\frac{0,3 \cdot 3}{T^2} \right) = \frac{2,25}{T^2}$	$T > 2,5$	$C = 2,5 \left(\frac{0,4 \cdot 2,5}{T^2} \right) = \frac{2,5}{T^2}$

Tabla 4

SUELO INTERMEDIO		SUELO BLANDO	
Intervalo	Relación	Intervalo	Relación
$T \leq 0,6$	$C = 2,5$	$T \leq 1$	$C = 2,5$
$0,6 < T \leq 2$	$C = 2,5 \left(\frac{0,6}{T} \right) = \frac{1,5}{T}$	$1 < T \leq 1,6$	$C = 2,5 \left(\frac{1}{T} \right) = \frac{2,5}{T}$
$T > 2$	$C = 2,5 \left(\frac{0,6 \cdot 2}{T^2} \right) = \frac{3}{T^2}$	$T > 1,6$	$C = 2,5 \left(\frac{1 \cdot 0,1,6}{T^2} \right) = \frac{4}{T^2}$

De esta manera, los factores de amplificación sísmica, para los suelos roca dura, roca o muy rígido, intermedio y blando, son los mostrados en las tablas 5 al 8

Tabla 5

SUELO ROCA DURA							
T	C	T	C	T	C	T	C
0,0	2,50	1,0	0,75	1,8	0,42	3,5	0,18
0,3	2,50	1,1	0,68	1,9	0,39	4,0	0,14
0,4	1,88	1,2	0,63	2,0	0,38	4,5	0,11
0,5	1,50	1,3	0,58	2,2	0,34	5,0	0,09
0,6	1,25	1,4	0,54	2,4	0,31	5,5	0,07
0,7	1,07	1,5	0,50	2,6	0,29	6,0	0,06
0,8	0,94	1,6	0,47	2,8	0,27	7,0	0,05
0,9	0,83	1,7	0,44	3,0	0,25	8,0	0,04

Tabla 6

SUELO ROCA O MUY RÍGIDO							
T	C	T	C	T	C	T	C
0,0	2,50	1,3	0,77	2,3	0,43	4,5	0,12
0,4	2,50	1,4	0,71	2,4	0,42	5,0	0,10
0,5	2,00	1,5	0,67	2,5	0,40	5,5	0,08
0,6	1,67	1,6	0,63	2,6	0,37	6,0	0,07
0,7	1,43	1,7	0,59	2,7	0,34	6,5	0,06
0,8	1,25	1,8	0,56	2,8	0,32	7,0	0,05
0,9	1,11	1,9	0,53	2,9	0,30	8,0	0,04
1,0	1,00	2,0	0,50	3,0	0,28	-	-
1,1	0,91	2,1	0,48	3,5	0,20	-	-
1,2	0,83	2,2	0,45	4,0	0,16	-	-

Tabla 7

SUELO INTERMEDIO							
T	C	T	C	T	C	T	C
0,0	2,50	1,4	1,07	2,3	0,57	4,0	0,19
0,6	2,50	1,5	1,00	2,4	0,52	4,5	0,15
0,7	2,14	1,6	0,94	2,5	0,48	5,0	0,12
0,8	1,88	1,7	0,88	2,6	0,44	5,5	0,10
0,9	1,67	1,8	0,83	2,7	0,41	6,0	0,08
1,0	1,50	1,9	0,79	2,8	0,38	6,5	0,07
1,1	1,36	2,0	0,75	2,9	0,36	7,0	0,06
1,2	1,25	2,1	0,68	3,0	0,33	8,0	0,05
1,3	1,15	2,2	0,62	3,5	0,24	-	-

Tabla 8

SUELO BLANDO							
T	C	T	C	T	C	T	C
0,0	2,50	1,8	1,23	2,7	0,55	4,0	0,25
1,0	2,50	1,9	1,11	2,8	0,51	4,5	0,20
1,1	2,27	2,0	1,00	2,9	0,48	5,0	0,16
1,2	2,08	2,1	0,91	3,0	0,44	5,5	0,13
1,3	1,92	2,2	0,83	3,1	0,42	6,0	0,11
1,4	1,79	2,3	0,76	3,2	0,39	6,5	0,09
1,5	1,67	2,4	0,69	3,3	0,37	7,0	0,08
1,6	1,56	2,5	0,64	3,4	0,35	7,5	0,07
1,7	1,38	2,6	0,59	3,5	0,33	8,0	0,06

2. i) El análisis sísmico dinámico es la suma de los análisis modal y espectral, porque en el análisis sísmico dinámico se necesitan determinar los períodos de vibración, el número mínimo de modos de vibración, los desplazamientos laterales y las fuerzas de diseño por sismo, los cuales se obtienen por el análisis modal, los períodos de vibración y el número mínimo de modos de vibración; y por el análisis espectral, los desplazamientos laterales y las fuerzas de diseño por sismo.
- ii) El período del modo 1, se obtiene en forma aproximada por la relación $T_1 = 0,1(N_{\text{pisos}})$ en segundos.
- iii) En el análisis modal se estudian las formas de vibración libre de la estructura, es decir, aquellas vibraciones generadas como consecuencia de la interacción entre la masa y la rigidez de la estructura.
- iv) De acuerdo al artículo 4.6.1 de la Norma E030, en cada dirección de análisis se considerarán aquellos modos de vibración, cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.
- v) El análisis espectral trabaja con un espectro de diseño o plataforma espectral.

De acuerdo a lo anteriormente explicado, las respuestas correctas de la tabla 2 son:

Tabla 1		Tabla 2	
i	Análisis sísmico dinámico	Formas de vibración libre	iii
ii	Período del modo 1	$\geq 90\%$ de la masa total	iv
iii	Análisis modal	Espectro de diseño	v
iv	Número mínimo de modos de vibración	$0,1(N_{\text{pisos}})$	ii
v	Análisis espectral	Análisis modal + Análisis espectral	i

II PARTE:

3. i) MASAS A NIVEL DE ENTREPISOS

Piso 3:

$$M_{t(3)} = \frac{116,913}{9,81} = 11,918 T.s^2 / m$$

$$M_{r(3)} = \frac{11,918(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 376,619 T.s^2 .m$$

Piso 2:

$$M_{t(2)} = \frac{136,725}{9,81} = 13,937 T.s^2 / m$$

$$M_{r(2)} = \frac{13,937(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 440,421 T.s^2 .m$$

Piso 1:

$$M_{t(1)} = \frac{143,925}{9,81} = 14,671 T.s^2 / m$$

$$M_{r(1)} = \frac{14,671(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 463,616 T.s^2 .m$$

ii) FACTOR DE ESCALA

$$F.E. = \frac{ZUSg}{R} = \frac{0,45 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 9,81}{8} = 0,82772$$

Siendo:

Z=0,45 (Trujillo)

U=1,5 (Colegio)

S=1,0 (Suelo S_1 y Zona Z_4)

$g=9,81\text{m/s}^2$

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p = 8 \cdot 1 \cdot 1 = 8$$

Dónde:

$R_0 = 8$ Coeficiente básico de reducción para el sistema aporticado de concreto armado.

$I_a = 1$ Regular en altura

$I_p = 1$ Regular en planta

iii) EXCENRICIDAD ACCIDENTAL:

$$e_x = 0,05 \cdot 10,5 = 0,525\text{m}$$

$$e_y = 0,05 \cdot 16,4 = 0,82\text{m}$$

iv) PERIODOS DE VIBRACIÓN

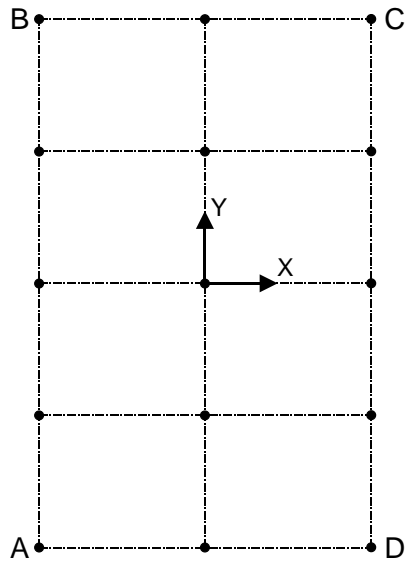
Tabla 9

MODO	PERIODO (s)
1	0,57085
2	0,53680
3	0,41296
4	0,18294
5	0,16831
6	0,13095
7	0,11045
8	0,09524
9	0,07601

- v) Como la edificación es regular en ambas direcciones, para calcular el desplazamiento real, debemos de amplificar el desplazamiento elástico por el factor $0,75R$ siendo en este caso $0,75 \cdot 8 = 6$ para ambas direcciones

En las tablas 10 a la 17, se muestran los desplazamientos en X e Y, así como las distorsiones de cada nudo extremo de las losas de entrepisos.

Para una mejor visualización, en la siguiente figura se muestran los nudos A, B, C y D, correspondiente a cada nudo extremo de la losa de entrepiso.



En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y el desplazamiento real máximo para la dirección Y, correspondiente al nudo extremo superior derecho (nudo color rojo) del piso 3

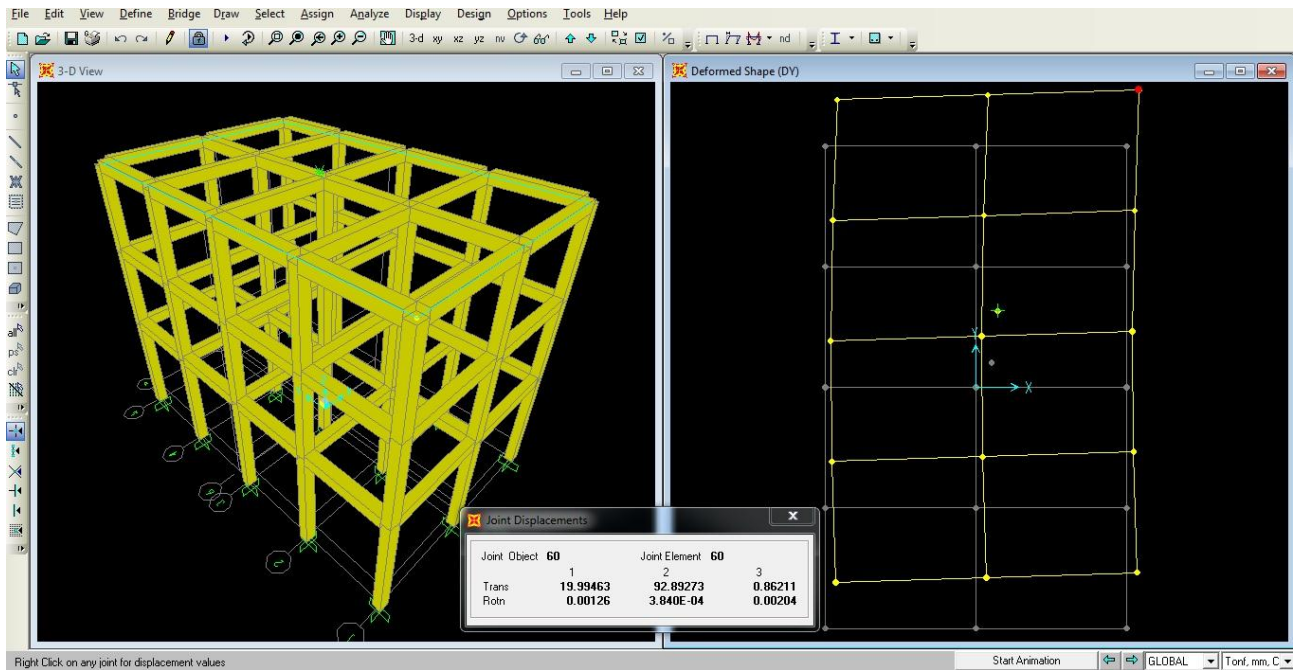


Tabla 10: Sismo X+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	60,24mm	0,003
2	49,09mm	0,005
1	29,10mm	0,006

Tabla 11: Sismo X+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	100,94mm	0,005
2	82,91mm	0,008
1	49,99mm	0,010

Tabla 12: Sismo X+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	100,94mm	0,005
2	82,91mm	0,008
1	49,99mm	0,010

Tabla 13: Sismo X+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	60,24mm	0,003
2	49,09mm	0,005
1	29,10mm	0,006

Tabla 14: Sismo Y+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	76,85mm	0,003
2	65,51mm	0,005
1	43,56mm	0,009

Tabla 15: Sismo Y+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	76,85mm	0,003
2	65,51mm	0,005
1	43,56mm	0,009

Tabla 16: Sismo Y+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	92,89mm	0,003
2	78,90mm	0,007
1	51,89mm	0,010

Tabla 17: Sismo Y+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	92,89mm	0,003
2	78,90mm	0,007
1	51,89mm	0,010

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, la distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones de los extremos del entrepiso, mostrándose en las tablas 18 y 19 las distorsiones de entrepiso.

Tabla 18: Distorsión de entrepiso en X

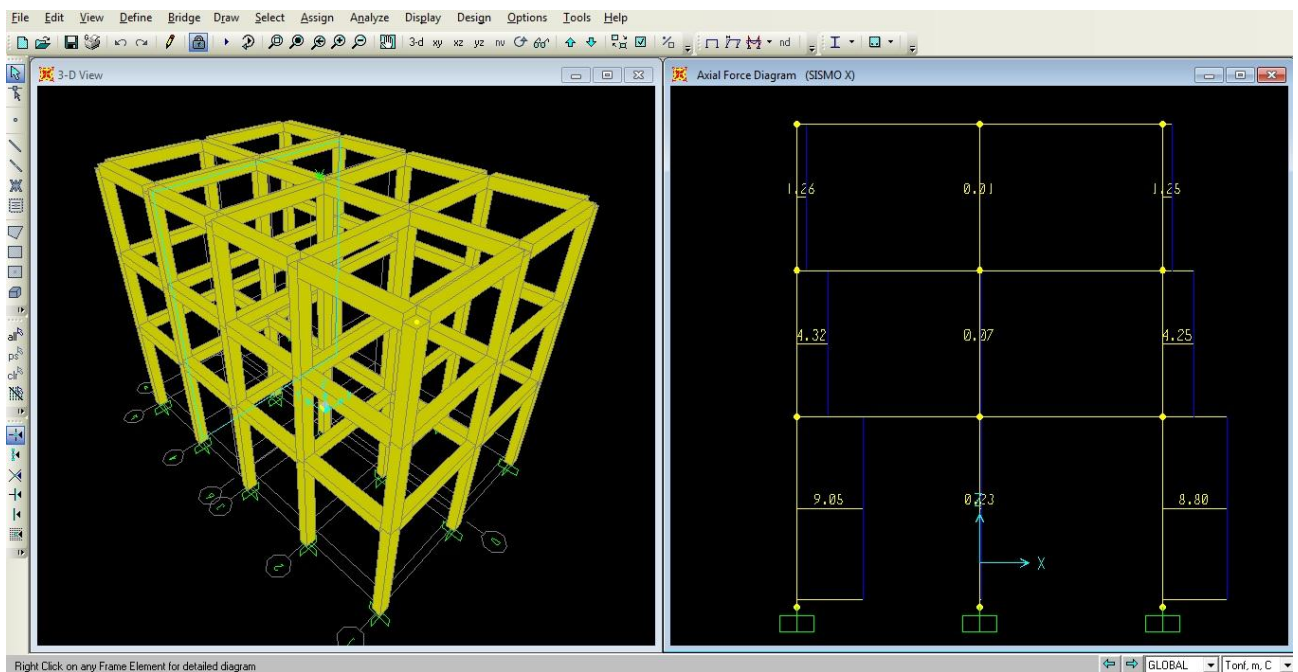
Piso	Distorsión del extremo A	Distorsión del extremo B	Distorsión del extremo C	Distorsión del extremo D	Distorsión de entrepiso	Cumple
3	0,003	0,005	0,005	0,003	0,004	SI
2	0,005	0,008	0,008	0,005	0,007	SI
1	0,006	0,010	0,010	0,006	0,008	NO

Tabla 19: Distorsión de entrepiso en Y

Piso	Distorsión del extremo A	Distorsión del extremo B	Distorsión del extremo C	Distorsión del extremo D	Distorsión de entrepiso	Cumple
3	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	SI
2	0,005	0,005	0,007	0,007	0,006	SI
1	0,009	0,009	0,010	0,010	0,010	NO

De los resultados obtenidos, se desprende que no cumple en ambas direcciones, siendo necesario reforzar la estructura en ambos sentidos.

- vi) En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y la fuerza axial máxima para Sismo X+



Las fuerzas internas máximas, se muestran en la tabla 20

Tabla 20

Fuerza interna	Empotrado (Sismo X+)	Empotrado (Sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$	9,05T	9,33T
$V_{\text{máx}}$	5,71T	4,29T
$M_{\text{máx}}$	15,41T.m	11,10T.m

Para ambas direcciones del sismo, las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso.

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, las fuerzas de diseño (V y M) para la dirección Y serán 1,25 veces su valor, debido a que en esa dirección todos los pórticos superan el 30% de la fuerza cortante horizontal.

Se recuerda, que para el diseño, se requiere previamente cumplir con las distorsiones de entrepisos en ambas direcciones.

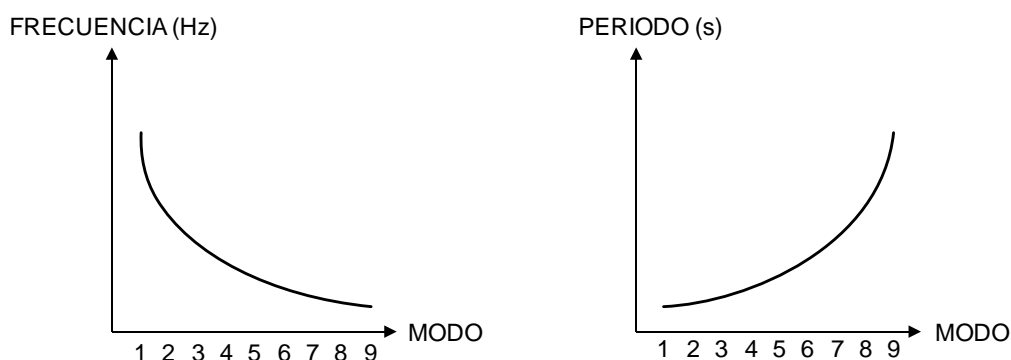


**DIPLOMADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES
PRACTICA CALIFICADA Nº 3**

Tema : Análisis Sísmico Dinámico
Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes, justificando sus respuestas:

1. ¿Serán correctos los gráficos mostrados en la figura? (1 punto)



2. ¿Cómo se calculan las masas de traslación y rotación para los casos de losas regulares e irregulares? Indicar su unidad de medida (2 puntos)
3. ¿Qué relación debe de cumplirse normativamente entre cortante estático y cortante dinámico? ¿Qué pasa si no se cumple? (1.5 puntos)
4. Indicar la correspondencia, escribiendo en el recuadro libre de la tabla 2, la característica o definición que lo relaciona con la tabla 1, justificando sus respuestas (2.5 puntos)

Tabla 1		Tabla 2	
i	Período de vibración	$2\pi/T$	
ii	SRSS	3 modos de vibración libre por piso	
iii	Oficinas de proyectos	Combinación cuadrática completa	
iv	CQC	Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados	
v	Frecuencia	Tiempo necesario para realizar un ciclo de movimiento	

II PARTE:

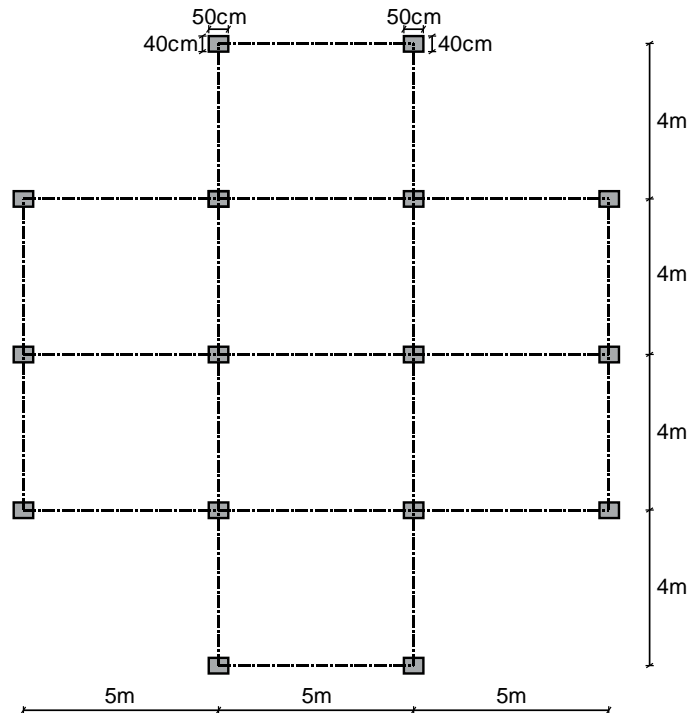
5. Se tiene una edificación de 4 pisos y destinada para centro comercial, proyectada en la ciudad de Lima, con sistema estructural aporticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico dinámico espectral, considerando el suelo muy rígido por la Norma E030 y:

Resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 2100T/m^2$

Módulo de elasticidad del concreto $E_c = 2173706T/m^2$

Coefficiente de Poisson del concreto $\mu_c = 0,2$

Losa de techo maciza de espesor	$e = 15\text{cm}$ (pisos 1, 2 y 3) $e = 12\text{cm}$ (piso 4)
Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 178,286T Piso 2 = 170,606T Piso 3 = 170,606T Piso 4 = 122,080T
Zapatas aisladas de dimensiones	1,5m x 1,4m x 0,5m
Profundidad de desplante (contacto con zapata)	1m



Se pide:

- Determinar las masas a nivel de entrepisos (2.5 puntos)
- Calcular el factor de escala (1 punto)
- Determinar la excentricidad accidental (0.5 puntos)
- Modelar con el SAP2000 y determinar los 12 primeros períodos de vibración (3 puntos)
- Efectuar el control de distorsiones de entrepisos para Sismo X+ y Sismo Y+ e indicar si es necesario reforzar la estructura (3 puntos)
- Determinar las fuerzas internas máximas, indicando donde ocurre (3 puntos)

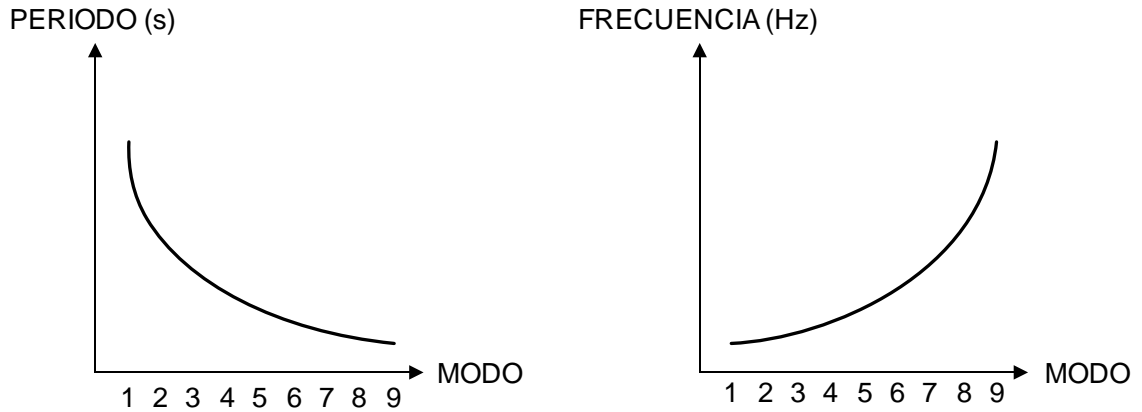
Fuerza interna	Empotrado (Sismo X+)	Empotrado (Sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$		
$V_{\text{máx}}$		
$M_{\text{máx}}$		

Trujillo, agosto de 2015

SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA CALIFICADA Nº 3

I PARTE:

1. Son incorrectos los gráficos mostrados en el enunciado de la pregunta, porque los períodos de vibración libre de la estructura, disminuyen conforme se incrementa el modo de vibración y la frecuencia es inversa, es decir, sube conforme se incrementa el modo de vibración, debiendo ser los gráficos correctos, los mostrados en la siguiente figura.

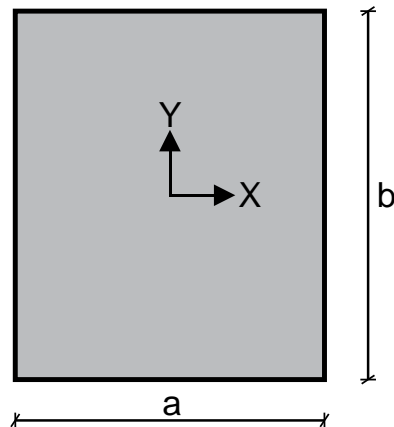


2. Las masas traslacionales y rotacional se calculan de la siguiente manera:

LOSA REGULAR:

$$M_t = M_x = M_y = \frac{P_{\text{piso}}^{\text{sismo}}}{g} \quad (\text{T.s}^2/\text{m})$$

$$M_r = M_{RZ} = \frac{M_t (a^2 + b^2)}{12} \quad (\text{T.s}^2.\text{m})$$



Siendo:

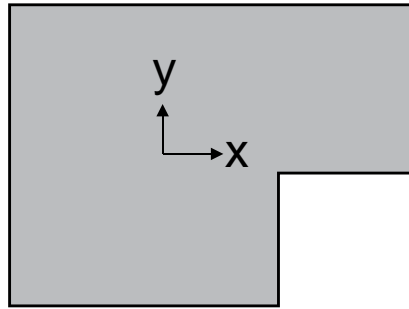
$P_{\text{piso}}^{\text{sismo}}$ - peso sísmico por piso

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

LOSA IRREGULAR:

$$M_t = M_x = M_y = \frac{P_{\text{piso}}^{\text{sismo}}}{g} \quad (\text{T.s}^2/\text{m})$$

$$M_r = M_{RZ} = \frac{M_t (I_x + I_y)}{A} \quad (\text{T.s}^2.\text{m})$$



I_X, I_Y - momentos de inercia respecto a los ejes centroidales X e Y

A - área de la losa

3. De acuerdo al artículo 4.6.4, la relación que debe cumplirse entre cortante estático y cortante dinámico para edificaciones regulares e irregulares son:

EDIFICIO REGULAR	$V_{\text{dinámico}} \geq 0,8V_{\text{estático}}$
EDIFICIO IRREGULAR	$V_{\text{dinámico}} \geq 0,9V_{\text{estático}}$

En caso no se cumpla, se deberá amplificar hasta alcanzar dichos valores, pero solo es válido para la obtención de las fuerzas de diseño por sismo, mas no para el control de distorsiones de entrepisos.

De esta manera, los factores de amplificación serán:

EDIFICIO REGULAR	$F_{\text{amplificación}} = \frac{0,8V_{\text{estático}}}{V_{\text{dinámico}}}$
EDIFICIO IRREGULAR	$F_{\text{amplificación}} = \frac{0,9V_{\text{estático}}}{V_{\text{dinámico}}}$

Siendo:

$F_{\text{amplificación}}$ - factor de amplificación

$V_{\text{estático}}$ - cortante estático

$V_{\text{dinámico}}$ - cortante dinámico

4. i) Se entiende por período de vibración, al tiempo necesario en realizar un ciclo de movimiento de la estructura.
- ii) SRSS es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados, dirección combinacional usada en las Normas de Diseño Sismo-Resistente.
- iii) Las oficinas de proyectos consideran 3 modos de vibración libre por piso.
- iv) CQC es la combinación cuadrática completa, forma combinacional usada en las Normas de Diseño Sismo-Resistente.
- v) La frecuencia de vibración libre de la estructura se calcula por la fórmula $\omega = 2\pi/T$, siendo T el período de vibración de la edificación.

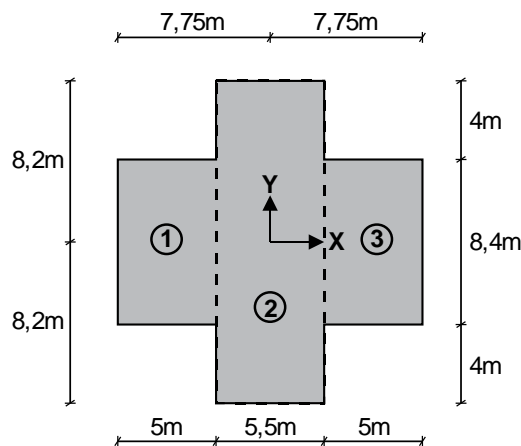
De acuerdo a lo anteriormente explicado, las respuestas correctas de la tabla 2 son:

Tabla 1		Tabla 2	
i	Período de vibración	$2\pi/T$	v
ii	SRSS	3 modos de vibración libre por piso	iii
iii	Oficinas de proyectos	Combinación cuadrática completa	iv
iv	CQC	Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados	ii
v	Frecuencia	Tiempo necesario para realizar un ciclo de movimiento	i

II PARTE:

5. i) MASAS A NIVEL DE ENTREPISOS

Como el edificio es irregular y de acuerdo a la modelación estructural, la losa se comportará como diafragma rígido y rotará alrededor del eje Z, entonces, para facilidad de cálculo, dividimos la losa en 3 figuras regulares, tal como se muestra en la figura y determinamos los momentos de inercia en X e Y



$$I_x = \frac{5,5 \cdot 16,4^3}{12} + 2 \cdot \left(\frac{5,8 \cdot 4^3}{12} \right) = 2515,603 \text{ m}^4$$

$$I_y = \frac{16,4 \cdot 5,5^3}{12} + 2 \cdot \left(\frac{8,4 \cdot 5^3}{12} + 8,4 \cdot 5,5 \cdot 2,5^2 \right) = 2717,629 \text{ m}^4$$

Ahora, calculamos el área de la losa

$$A = 5,5 \cdot 16,4 + 2 \cdot 5 \cdot 8,4 = 174,2 \text{ m}^2$$

Luego, determinamos las masas traslacionales y rotacionales para todos los pisos.

Piso 4:

$$M_{t(4)} = \frac{122,080}{9,81} = 12,444 \text{ T.s}^2 / \text{m}$$

$$M_{r(4)} = \frac{12,444(2515,603 + 2717,629)}{174,2} = 373,837 \text{ T.s}^2 \cdot \text{m}$$

Piso 3:

$$M_{t(3)} = \frac{170,606}{9,81} = 17,391 \text{ T.s}^2 / \text{m}$$

$$M_{r(3)} = \frac{17,391(2515,603 + 2717,629)}{174,2} = 522,452 \text{ T.s}^2 \cdot \text{m}$$

Piso 2:

$$M_{t(2)} = \frac{170,606}{9,81} = 17,391 T.s^2 / m$$

$$M_{r(2)} = \frac{17,391(2515,603 + 2717,629)}{174,2} = 522,452 T.s^2 .m$$

Piso 1:

$$M_{t(1)} = \frac{178,286}{9,81} = 18,174 T.s^2 / m$$

$$M_{r(1)} = \frac{18,174(2515,603 + 2717,629)}{174,2} = 545,974 T.s^2 .m$$

ii) FACTOR DE ESCALA

$$F.E. = \frac{ZUSg}{R} = \frac{0,45.1,3.1,0.9,81}{7,2} = 0,79706$$

Siendo:

Z=0,45 (Lima)

U=1,3 (Centro comercial)

S=1,0 (Suelo S_1 y Zona Z_4)

g=9,81m/s²

$$R = R_0 . I_a . I_p = 8.1.0,9 = 7,2$$

Dónde:

$R_0 = 8$ Coeficiente básico de reducción para el sistema aporticado de concreto armado.

$I_a = 1$ Regular en altura

$I_p = 0,9$ Irregular en planta por esquina entrante

iii) EXCENRICIDAD ACCIDENTAL:

$$e_x = 0,05.15,5 = 0,775m$$

$$e_y = 0,05.16,4 = 0,82m$$

iv) PERIODOS DE VIBRACIÓN

Tabla 3

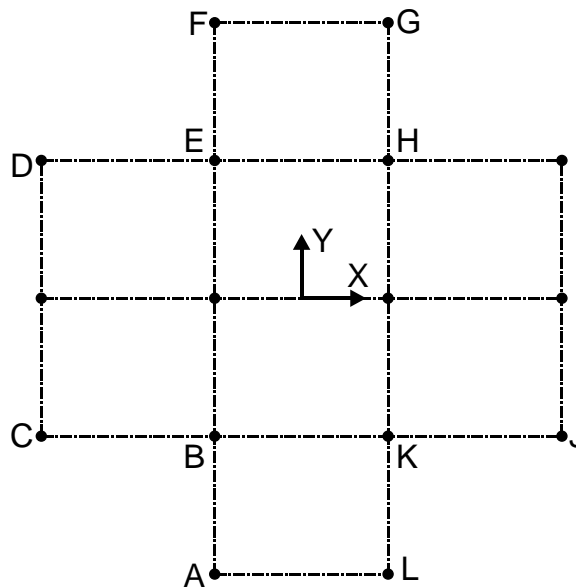
MODO	PERIODO (s)
1	0,77329
2	0,71909
3	0,55013
4	0,25116
5	0,23005
6	0,17744
7	0,14793
8	0,13075
9	0,11161

10	0,10282
11	0,09378
12	0,07512

- v) Como la edificación es irregular en ambas direcciones, para calcular el desplazamiento real, debemos de amplificar el desplazamiento elástico por el factor $0,85R$ siendo, en este caso, $0,85 \cdot 7,2 = 6,12$ para ambas direcciones

En las tablas 4 a la 27, se muestran los desplazamientos en X e Y, así como las distorsiones de cada nudo extremo de las losas de entrepisos.

Para una mejor visualización, en la siguiente figura se muestran los nudos A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K y L, correspondiente a cada nudo extremo de la losa de entrepiso.



En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y el desplazamiento real máximo para la dirección Y, correspondiente al nudo extremo horizontal superior (nudo color rojo) del piso 4

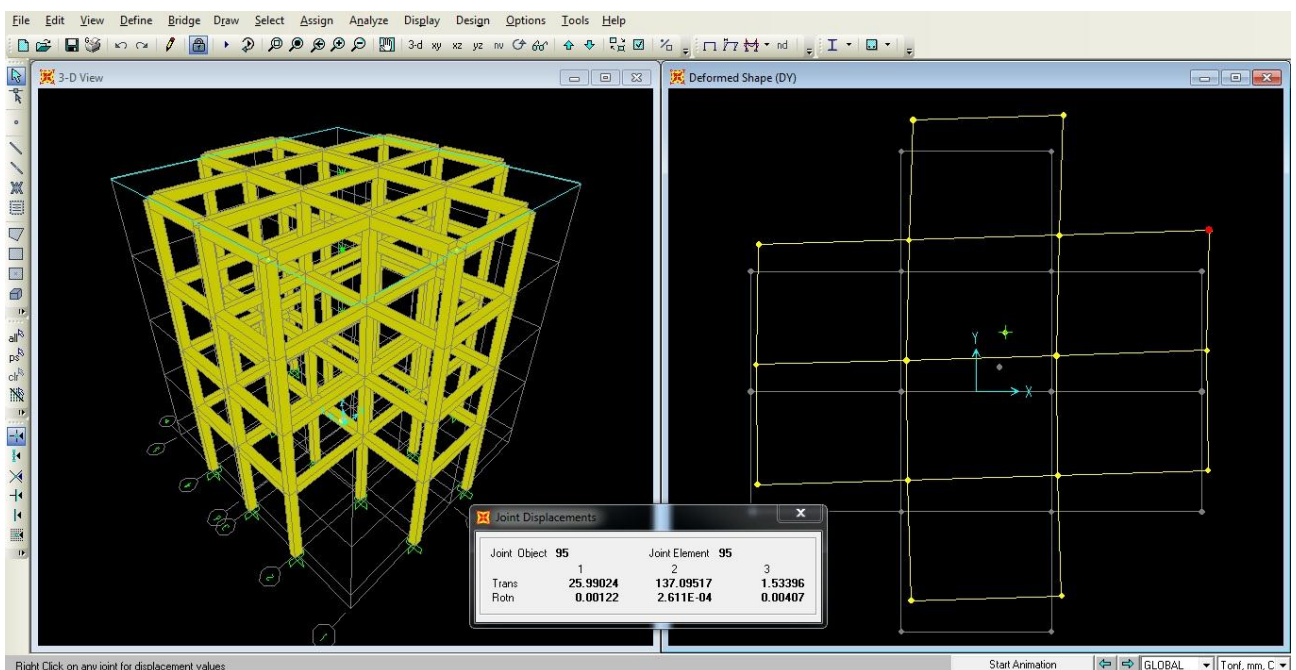


Tabla 4: Sismo X+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	81,08mm	0,002
3	72,21mm	0,004
2	55,41mm	0,006
1	31,79mm	0,006

Tabla 5: Sismo X+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	91,05mm	0,002
3	81,14mm	0,005
2	62,33mm	0,007
1	35,86mm	0,007

Tabla 6: Sismo X+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	91,05mm	0,002
3	81,14mm	0,005
2	62,33mm	0,007
1	35,86mm	0,007

Tabla 7: Sismo X+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	118,55mm	0,003
3	105,94mm	0,006
2	81,74mm	0,009
1	47,49mm	0,009

Tabla 8: Sismo X+ para el nudo E

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	118,55mm	0,003
3	105,94mm	0,006
2	81,74mm	0,009
1	47,49mm	0,009

Tabla 9: Sismo X+ para el nudo F

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	134,56mm	0,004
3	120,39mm	0,007
2	93,07mm	0,010
1	54,32mm	0,011

Tabla 10: Sismo X+ para el nudo G

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	134,56mm	0,004
3	120,39mm	0,007
2	93,07mm	0,010
1	54,32mm	0,011

Tabla 11: Sismo X+ para el nudo H

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	118,55mm	0,003
3	105,94mm	0,006
2	81,74mm	0,009
1	47,49mm	0,009

Tabla 12: Sismo X+ para el nudo I

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	118,55mm	0,003
3	105,94mm	0,006
2	81,74mm	0,009
1	47,49mm	0,009

Tabla 13: Sismo X+ para el nudo J

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	91,05mm	0,002
3	81,14mm	0,005
2	62,33mm	0,007
1	35,86mm	0,007

Tabla 14: Sismo X+ para el nudo K

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	91,05mm	0,002
3	81,14mm	0,005
2	62,33mm	0,007
1	35,86mm	0,007

Tabla 15: Sismo X+ para el nudo L

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	81,08mm	0,002
3	72,21mm	0,004
2	55,41mm	0,006
1	31,79mm	0,006

Tabla 16: Sismo Y+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	104,10mm	0,002
3	94,59mm	0,005
2	75,53mm	0,007
1	48,05mm	0,010

Tabla 17: Sismo Y+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	104,10mm	0,002
3	94,59mm	0,005
2	75,53mm	0,007
1	48,05mm	0,010

Tabla 18: Sismo Y+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	89,99mm	0,002
3	81,83mm	0,004
2	65,49mm	0,006
1	41,96mm	0,008

Tabla 19: Sismo Y+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	89,99mm	0,002
3	81,83mm	0,004
2	65,49mm	0,006
1	41,96mm	0,008

Tabla 20: Sismo Y+ para el nudo E

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	104,10mm	0,002
3	94,59mm	0,005
2	75,53mm	0,007
1	48,05mm	0,010

Tabla 21: Sismo Y+ para el nudo F

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	104,10mm	0,002
3	94,59mm	0,005
2	75,53mm	0,007
1	48,05mm	0,010

Tabla 22: Sismo Y+ para el nudo G

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	120,01mm	0,003
3	108,96mm	0,006
2	86,80mm	0,008
1	54,83mm	0,011

Tabla 23: Sismo Y+ para el nudo H

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	120,01mm	0,003
3	108,96mm	0,006
2	86,80mm	0,008
1	54,83mm	0,011

Tabla 24: Sismo Y+ para el nudo I

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	137,10mm	0,003
3	124,39mm	0,006
2	98,90mm	0,009
1	62,07mm	0,012

Tabla 25: Sismo Y+ para el nudo J

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	137,10mm	0,003
3	124,39mm	0,006
2	98,90mm	0,009
1	62,07mm	0,012

Tabla 26: Sismo Y+ para el nudo K

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	120,01mm	0,003
3	108,96mm	0,006
2	86,80mm	0,008
1	54,83mm	0,011

Tabla 27: Sismo Y+ para el nudo L

Piso	Desplazamiento	Distorsión
4	120,01mm	0,003
3	108,96mm	0,006
2	86,80mm	0,008
1	54,83mm	0,011

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, la distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones de los extremos del entrepiso, mostrándose en las tablas 28 y 29 las distorsiones de entrepiso.

Tabla 28: Distorsión de entrepiso en X

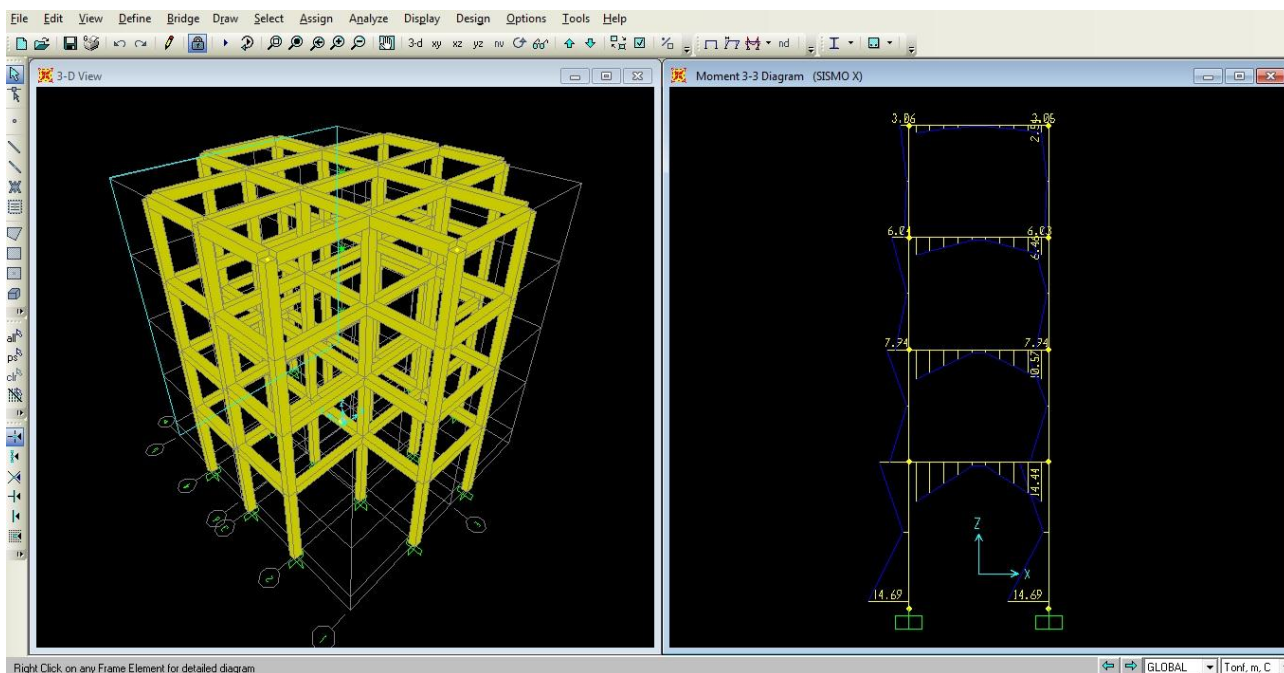
Piso	Distorsión de los extremos A, L	Distorsión de los extremos B, C, J, K	Distorsión de los extremos D, E, H, I	Distorsión de los extremos F, G	Distorsión de entrepiso	Cumple
4	0,002	0,002	0,003	0,004	0,003	SI
3	0,004	0,005	0,006	0,007	0,006	SI
2	0,006	0,007	0,009	0,010	0,008	NO
1	0,006	0,007	0,009	0,011	0,008	NO

Tabla 29: Distorsión de entrepiso en Y

Piso	Distorsión de los extremos A, B, E, F	Distorsión de los extremos C, D	Distorsión de los extremos G, H, K, L	Distorsión de los extremos I, J	Distorsión de entrepiso	Cumple
4	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	SI
3	0,005	0,004	0,006	0,006	0,005	SI
2	0,007	0,006	0,008	0,009	0,008	NO
1	0,010	0,008	0,011	0,012	0,010	NO

De los resultados obtenidos, se desprende que no cumple en ambas direcciones, siendo necesario reforzar la estructura en ambos sentidos.

vi) En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y el momento flector para Sismo X+



Las fuerzas internas máximas, se muestran en la tabla 30

Tabla 30

Fuerza interna	Empotrado (Sismo X+)	Empotrado (Sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$	13,87T	14,43T
$V_{\text{máx}}$	5,09T	5,08T
$M_{\text{máx}}$	14,69T.m	13,10T.m

Para ambas direcciones del sismo, las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso.

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, las fuerzas de diseño (V y M) para los pórticos centrales (más largos) en la dirección Y serán 1,25 veces su valor, debido a que en esa dirección superan el 30% de la fuerza cortante horizontal.

Se recuerda, que para el diseño, se requiere previamente cumplir con las distorsiones de entrepisos en ambas direcciones.



**DIPLOMADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES
PRACTICA DIRIGIDA Nº 4**

Tema : Interacción Suelo-Estructura
Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes, justificando sus respuestas:

1. ¿Indicar cómo se calculan las masas de la zapata aislada y cuáles son sus unidades de medida? (1 punto)
2. ¿Por qué se considera a la cimentación como infinitamente rígida para el diseño sísmico de edificaciones por interacción suelo-estructura y cuáles son sus características? (0.5 puntos)
3. ¿Será correcto afirmar que en la interacción suelo-estructura, los desplazamientos laterales son menores que sin interacción suelo-estructura? ¿Por qué? (0.5 puntos)
4. Indicar la correspondencia, escribiendo en el recuadro libre de la tabla 2, la característica o definición que lo relaciona con la tabla 1, justificando sus respuestas (2.5 puntos)

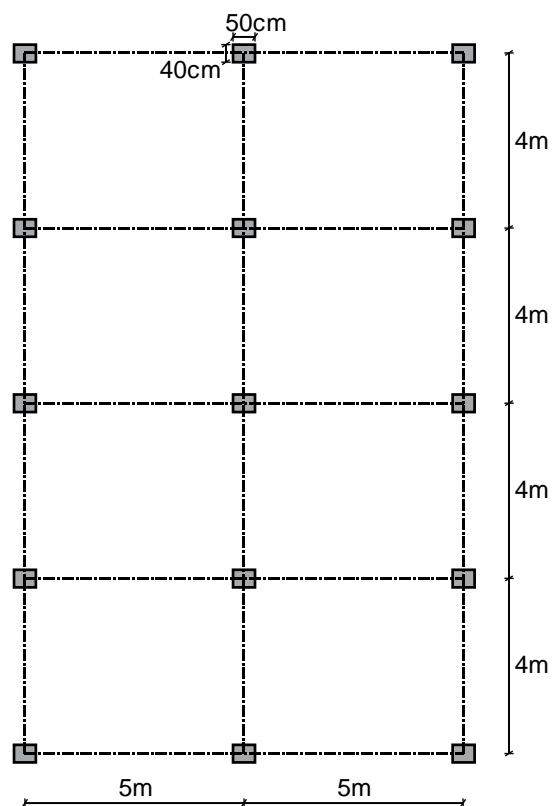
Tabla 1		Tabla 2	
i	M_x, M_y, M_z	Masa rotacional	
ii	Interacción suelo-estructura	No describe el trabajo espacial, ni considera la interacción suelo-estructura	
iii	Alabeo en losas	Dos nudos en la diagonal se levantan y los otros dos nudos en la otra diagonal descienden	
iv	Modelo de péndulo invertido	Genera una redistribución de esfuerzos	
v	$M_{\phi x'}, M_{\phi y'}, M_{\phi z'}$	Masa traslacional	

II PARTE:

5. Se tiene una edificación de 3 pisos y destinada para aulas de colegio, proyectada en la ciudad de Trujillo, con sistema estructural aporticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico dinámico espectral, considerando la interacción suelo-estructura

Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c = 2100 \text{ T/m}^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2173706 \text{ T/m}^2$
Coeficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losas de techo aligerada de espesor	$e = 20 \text{ cm}$ (pisos 1 y 2)
	$e = 17 \text{ cm}$ (piso 3)
Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm

Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 143,925T
	Piso 2 = 136,725T
	Piso 3 = 116,913T
Zapatas aisladas de dimensiones	1,3m x 1,2m x 0,4m
Profundidad de desplante (contacto con zapata)	1m
Perfil del suelo	S ₁
Coeficiente experimental para $\rho_0 = 0,2\text{kg/cm}^2$	$C_o = 2,6\text{kg/cm}^3$
Coeficiente de Poisson del suelo	$\mu_s = 0,35$
Coeficiente empírico del suelo	$b_0 = 1,5\text{m}^{-1}$
Módulo de elasticidad del suelo	$E_s = 70\text{MPa}$



Se pide:

- Determinar las masas a nivel de entrepisos (1 punto)
- Calcular el factor de escala y la excentricidad accidental (0.5 puntos)
- Determinar las masas de las zapatas (1 punto)
- Calcular los coeficientes de rigidez para el modelo dinámico Barkan D.D., considerando una distribución uniforme de esfuerzos (todas las zapatas son iguales y centradas) (1.5 puntos)
- Modelar con el SAP2000 y determinar los 9 primeros períodos de vibración, comprobando el problema de alabeo en losas (Modelo Barkan D.D.) (2 puntos)
- Efectuar el control de distorsiones de entrepisos para Sismo X+ y Sismo Y+ e indicar si es necesario reforzar la estructura (Modelo Barkan D.D.) (1.5 puntos)
- Determinar las fuerzas internas máximas, indicando donde ocurre (Modelo Barkan D.D.) (1.5 puntos)

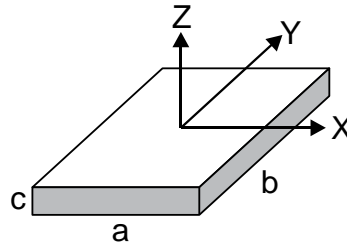
- viii) Calcular los coeficientes de rigidez para el modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, considerando que todas las zapatas son iguales y centradas (1.5 puntos)
- ix) Modelar con el SAP2000 y determinar los 9 primeros períodos de vibración, comprobando el problema de alabeo en losas (Modelo Norma Rusa) (2 puntos)
- x) Efectuar el control de distorsiones de entresijos para Sismo X+ y Sismo Y+ e indicar si es necesario reforzar la estructura (Modelo Norma Rusa) (1.5 puntos)
- xi) Determinar las fuerzas internas máximas, indicando donde ocurre (Modelo Norma Rusa) (1.5 puntos)

Trujillo, agosto de 2015

SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA DIRIGIDA Nº 4

I PARTE:

1. Esquematizamos una zapata aislada con dimensiones a, b, c y con ejes centroidales X, Y, Z, tal como se muestra en la figura.



Ahora, calculamos las masas traslacionales respecto a los ejes centroidales X, Y, Z y las masas rotacionales respecto a los ejes de contacto suelo-zapata, indicados como X', Y', Z'

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{zapata}}{g} = \frac{\gamma \cdot a \cdot b \cdot c}{g} \quad (T \cdot s^2/m)$$

$$M_{\phi_{x'}} = M_t d^2 + I_{mx} = M_t \left(\frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t (b^2 + c^2)}{12} \quad (T \cdot s^2 \cdot m)$$

$$M_{\phi_{y'}} = M_t d^2 + I_{my} = M_t \left(\frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t (a^2 + c^2)}{12} \quad (T \cdot s^2 \cdot m)$$

$$M_{\psi_{z'}} = I_{mz} = \frac{M_t (a^2 + b^2)}{12} \quad (T \cdot s^2 \cdot m)$$

Siendo:

P_{zapata} - peso de la zapata

γ - peso específico del concreto, como material de la zapata

d - distancia desde el centro de gravedad de la masa de la zapata hasta la superficie de contacto con el suelo de fundación.

I_{mx}, I_{my}, I_{mz} - momentos de inercia de masa respecto a X, Y, Z

2. Se considera a la cimentación como infinitamente rígida, porque durante un sismo, la cimentación se desplaza y rota junto con toda la superestructura, no permitiendo la fractura de la columna a nivel de conexión con la cimentación.

De esta manera, queda desvirtuada la concepción que la base es empotrada.

Las características que se asignan a la cimentación para que se considere como infinitamente rígida son:

Módulo de elasticidad $E_{cimentación} = 9 \cdot 10^8 \text{ T/m}^2$

Coeficiente de Poisson $\mu_{cimentación} = 0,05$

Coeficiente de expansión térmica $\alpha_{cimentación} = 1,17 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

3. FALSO, porque cuando se considera la interacción suelo-estructura, la cimentación se desplaza y rota alrededor de sus ejes, siendo su desplazamiento lateral mayor que el de sin interacción suelo-estructura.

Es por ello, que el control de distorsión de entrepisos es más exigente en la interacción suelo-estructura.

4. i) Las masas M_x, M_y, M_z son conocidas como masas traslacionales y generan el desplazamiento en cada uno de los ejes coordenados.
- ii) La interacción suelo-estructura genera una redistribución de esfuerzos en la superestructura, porque la cimentación absorbe esfuerzos.
- iii) Alabeo en losas se produce cuando dos nudos en la diagonal se levantan y los otros dos nudos en la otra diagonal desciende, fracturándose las esquinas de la losa.
- iv) El modelo de péndulo invertido no describe el trabajo espacial del edificio, ni considera la interacción suelo-estructura, sobredimensionando los elementos estructurales, debido a que los desplazamientos laterales y fuerzas de diseño, son muy altos en comparación con la estructura modelada en 3D.
- v) Las masas $M_{\phi x'}, M_{\phi y'}, M_{\phi z'}$ son conocidas como masas rotacionales y generan el giro alrededor de cada uno de los ejes coordenados.

De acuerdo a lo anteriormente explicado, las respuestas correctas de la tabla 2 son:

Tabla 1		Tabla 2	
i	M_x, M_y, M_z	Masa rotacional	v
ii	Interacción suelo-estructura	No describe el trabajo espacial, ni considera la interacción suelo-estructura	iv
iii	Alabeo en losas	Dos nudos en la diagonal se levantan y los otros dos nudos en la otra diagonal descienden	iii
iv	Modelo de péndulo invertido	Genera una redistribución de esfuerzos	ii
v	$M_{\phi x'}, M_{\phi y'}, M_{\phi z'}$	Masa traslacional	i

II PARTE:

5. i) MASAS A NIVEL DE ENTREPISOS

Piso 3:

$$M_{t(3)} = \frac{116,913}{9,81} = 11,918 T.s^2 / m$$

$$M_{r(3)} = \frac{11,918(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 376,619 T.s^2 .m$$

Piso 2:

$$M_{t(2)} = \frac{136,725}{9,81} = 13,937 T.s^2 / m$$

$$M_{r(2)} = \frac{13,937(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 440,421 T.s^2 .m$$

Piso 1:

$$M_{t(1)} = \frac{143,925}{9,81} = 14,671 T.s^2 / m$$

$$M_{r(l)} = \frac{14,671(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 463,616 T.s^2.m$$

ii) FACTOR DE ESCALA

$$F.E. = \frac{ZUSg}{R} = \frac{0,45.1,5.1,0.9,81}{8} = 0,82772$$

Siendo:

Z=0,45 (Trujillo)

U=1,5 (Colegio)

S=1,0 (Suelo S_1 y Zona Z_4)

$g=9,81 m/s^2$

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p = 8.1.1 = 8$$

Dónde:

$R_0 = 8$ Coeficiente básico de reducción para el sistema aporticado de concreto armado.

$I_a = 1$ Regular en altura

$I_p = 1$ Regular en planta

EXCENRICIDAD ACCIDENTAL:

$$e_x = 0,05.10,5 = 0,525m$$

$$e_y = 0,05.16,4 = 0,82m$$

iii) MASAS EN LAS ZAPATAS:

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{\gamma.a.b.c}{g} = \frac{2,4.1,3.1,2.0,4}{9,81} = 0,152 T.s^2 / m$$

$$M_{\phi x'} = M_t \left(\frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t (b^2 + c^2)}{12} = 0,152.0,2^2 + \frac{0,152(1,2^2 + 0,4^2)}{12} = 0,026 T.s^2.m$$

$$M_{\phi y'} = M_t \left(\frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t (a^2 + c^2)}{12} = 0,152.0,2^2 + \frac{0,152(1,3^2 + 0,4^2)}{12} = 0,029 T.s^2.m$$

$$M_{\psi z'} = \frac{M_t (a^2 + b^2)}{12} = \frac{0,152(1,3^2 + 1,2^2)}{12} = 0,039 T.s^2.m$$

Para el modelo dinámico Barkan D.D. no es necesario calcular la masa rotacional $M_{\psi z'}$, debido a que se debe de restringir la rotación en Z, pero para el modelo dinámico Norma Rusa si es necesario por tener los seis grados de libertad, es decir, no existen restricciones.

Las masas traslacionales y rotacionales deben asignarse en el centroide de cada zapata y, en este caso, son iguales para todas las zapatas.

iv) COEFICIENTES DE RIGIDEZ POR EL MODELO BARKAN D.D.

Para el cálculo de los coeficientes de rigidez, usamos el libro "Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas" del Ph.D. Genner Villarreal Castro, específicamente el capítulo 2.

Calculamos la magnitud de la presión estática del suelo "ρ" para cada zapata:

$$\rho = \frac{116913 + 136725 + 143925 + 15.2400.1,3.1,2.0,4}{15.130.120} = 1,795 \text{ kg/cm}^2$$

Por la fórmula 2.7 del mismo texto, calculamos D_o

$$D_o = \frac{1 - 0,35}{1 - 0,5.0,35} . 2,6 = 2,048 \text{ kg/cm}^3$$

Ahora, calculamos los coeficientes C_x, C_y, C_z, C_{φx}, C_{φy} por la fórmula 2.6 del mismo texto

$$C_x = C_y = 2,048 \left[1 + \frac{2(1,3 + 1,2)}{1.1,3.1,2} \right] \sqrt{\frac{1,795}{0,2}} = 25,800 \text{ kg/cm}^3 = 25800 \text{ T/m}^3$$

$$C_z = 2,6 \left[1 + \frac{2(1,3 + 1,2)}{1.1,3.1,2} \right] \sqrt{\frac{1,795}{0,2}} = 32,754 \text{ kg/cm}^3 = 32754 \text{ T/m}^3$$

$$C_{\phi x} = 2,6 \left[1 + \frac{2(1,3 + 3.1,2)}{1.1,3.1,2} \right] \sqrt{\frac{1,795}{0,2}} = 56,721 \text{ kg/cm}^3 = 56721 \text{ T/m}^3$$

$$C_{\phi y} = 2,6 \left[1 + \frac{2(1,2 + 3.1,3)}{1.1,3.1,2} \right] \sqrt{\frac{1,795}{0,2}} = 58,718 \text{ kg/cm}^3 = 58718 \text{ T/m}^3$$

Por la fórmula 2.4 del mismo texto, determinamos los coeficientes de rigidez K_x, K_y, K_z, K_{φx}, K_{φy}

$$K_x = K_y = 25800.1,3.1,2 = 40248 \text{ T/m}$$

$$K_z = 32754.1,3.1,2 = 51096,24 \text{ T/m}$$

$$K_{\phi x} = 56721. \frac{1,3.1,2^3}{12} = 10618,17 \text{ T.m}$$

$$K_{\phi y} = 58718. \frac{1,2.1,3^3}{12} = 12900,34 \text{ T.m}$$

Los coeficientes de rigidez K_x, K_y, K_z, K_{φx}, K_{φy} deben asignarse en el centroide de cada zapata y en este caso, son iguales para todas las zapatas.

v) PERIODOS DE VIBRACIÓN

Tabla 3

MODO	PERIODO (s)
1	0,63631
2	0,60266
3	0,45950
4	0,19104
5	0,17832
6	0,13744
7	0,11128
8	0,09660
9	0,07693

ALABEO EN LOSAS:

En la siguiente figura, esquematizamos los nudos extremos de la losa como A, B, C, D y en la tabla 4, se muestran los desplazamientos verticales de dichos nudos, correspondientes al piso 3. Los resultados están dados en milímetros.

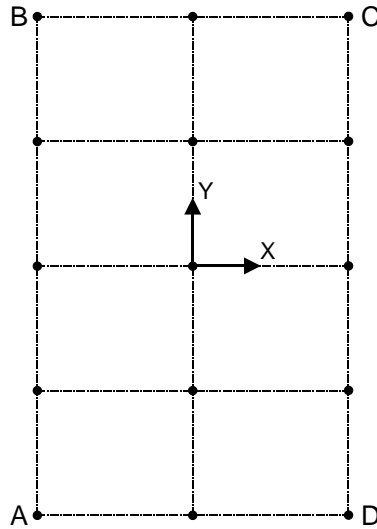
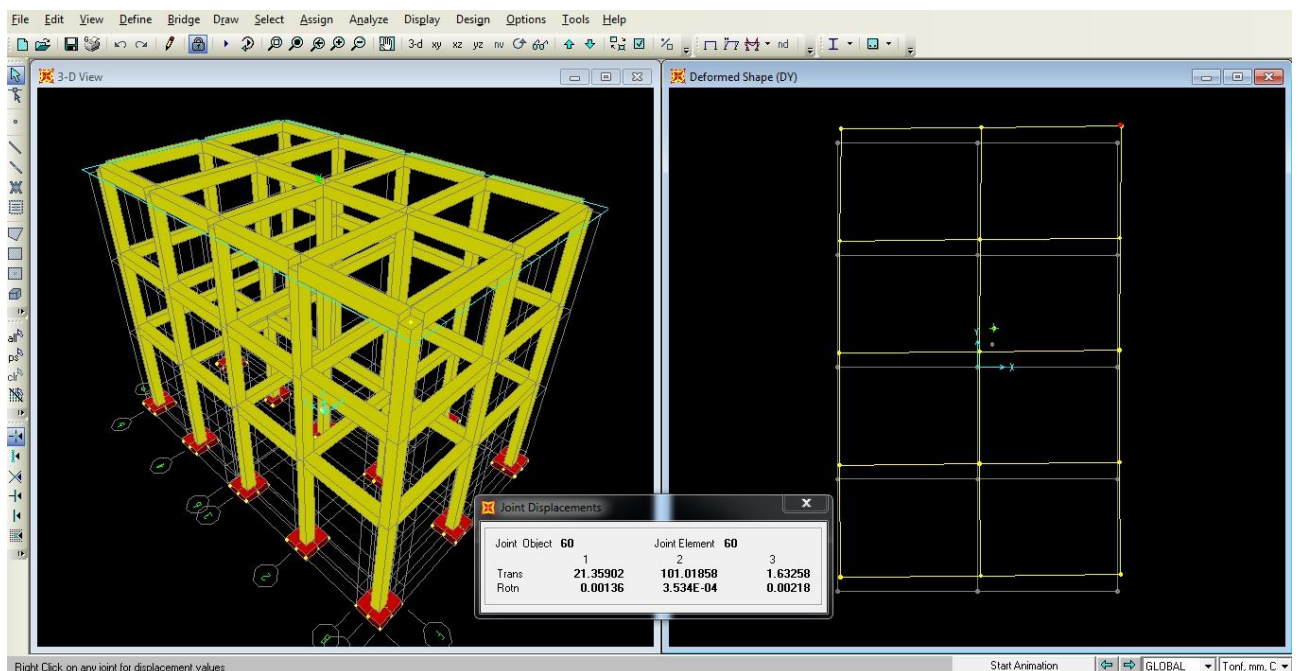


Tabla 4

Nudo	Modo de vibración								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	3,07	3,74	1,97	-12,62	12,78	-7,34	5,26	-4,28	-3,93
B	-4,02	2,92	0,56	15,16	10,60	-1,84	-5,68	-4,76	-0,22
C	-2,69	-4,28	0,77	11,22	-15,07	-3,25	-4,77	5,86	-1,52
D	3,64	-2,39	-3,29	-13,76	-8,31	12,43	5,18	3,19	5,67

De acuerdo a estos resultados, llegamos a la conclusión, que el efecto de alabeo no surge en ningún modo de vibración libre.

- vi) Como la edificación es regular en ambas direcciones, para calcular el desplazamiento real, debemos de amplificar el desplazamiento elástico por el factor $0,75R$ siendo en este caso $0,75 \cdot 8 = 6$ para ambas direcciones.



En la figura de la página anterior, se muestra el edificio modelado en 3D y el desplazamiento real máximo para la dirección Y, correspondiente al nudo extremo superior derecho (nudo color rojo) del piso 3.

En las tablas 5 a la 14, se muestran los desplazamientos en X e Y, así como las distorsiones de cada nudo extremo de las losas de entresijos.

Tabla 5: Sismo X+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	66,57mm	0,003
2	56,09mm	0,005
1	36,99mm	0,007

Tabla 6: Sismo X+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	109,66mm	0,004
2	93,15mm	0,008
1	62,35mm	0,012

Tabla 7: Sismo X+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	109,66mm	0,004
2	93,15mm	0,008
1	62,35mm	0,012

Tabla 8: Sismo X+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	66,57mm	0,003
2	56,09mm	0,005
1	36,99mm	0,007

Tabla 9: Sismo Y+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	83,88mm	0,003
2	73,36mm	0,005
1	52,93mm	0,011

Tabla 10: Sismo Y+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	83,88mm	0,003
2	73,36mm	0,005
1	52,93mm	0,011

Tabla 11: Sismo Y+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	101,02mm	0,003
2	88,15mm	0,006
1	63,10mm	0,013

Tabla 12: Sismo Y+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	101,02mm	0,003
2	88,15mm	0,006
1	63,10mm	0,013

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, la distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones de los extremos del entrepiso, mostrándose en las tablas 13 y 14 las distorsiones de entrepiso.

Tabla 13: Distorsión de entrepiso en X

Piso	Distorsión del extremo A	Distorsión del extremo B	Distorsión del extremo C	Distorsión del extremo D	Distorsión de entrepiso	Cumple
3	0,003	0,004	0,004	0,003	0,004	SI
2	0,005	0,008	0,008	0,005	0,007	SI
1	0,007	0,012	0,012	0,007	0,010	NO

Tabla 14: Distorsión de entrepiso en Y

Piso	Distorsión del extremo A	Distorsión del extremo B	Distorsión del extremo C	Distorsión del extremo D	Distorsión de entrepiso	Cumple
3	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	SI
2	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	SI
1	0,011	0,011	0,013	0,013	0,012	NO

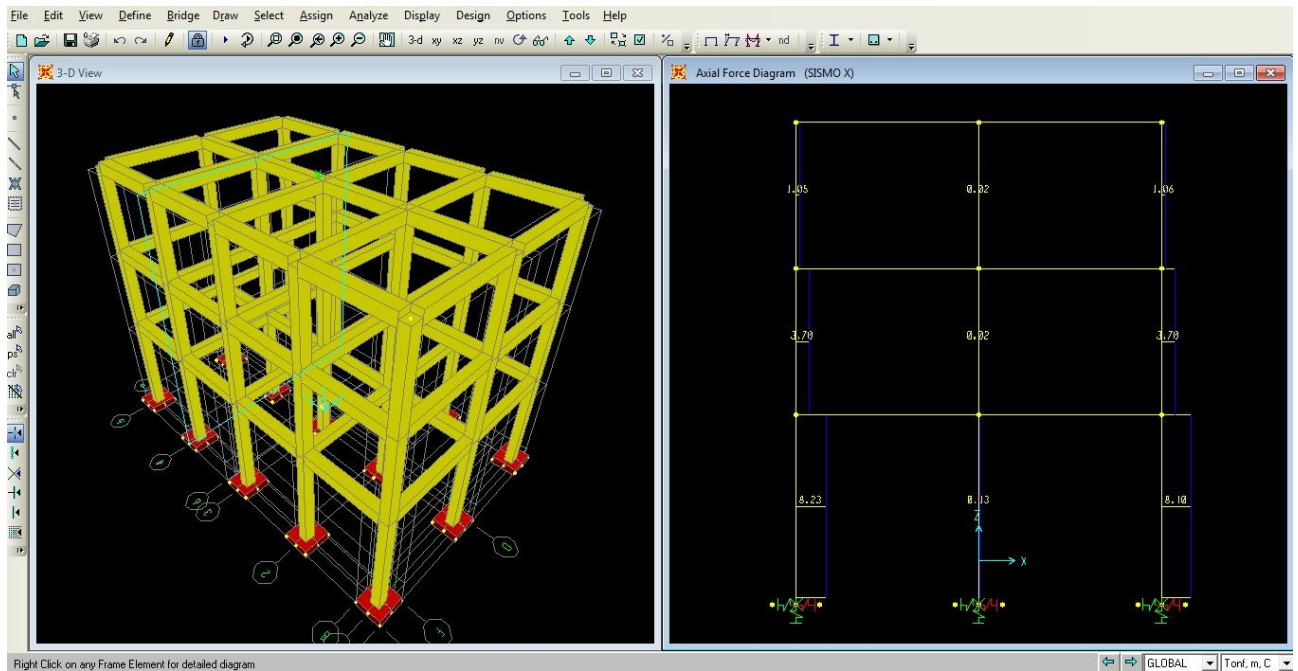
De los resultados obtenidos, se desprende que no cumple en ambas direcciones, siendo necesario reforzar la estructura en ambos sentidos.

vii) Las fuerzas internas máximas, se muestran en la tabla 15

Tabla 15

Fuerza interna	Barkan D.D. (Sismo X+)	Barkan D.D. (Sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$	8,23T	8,33T
$V_{\text{máx}}$	5,05T	3,89T
$M_{\text{máx}}$	13,32T.m	10,43T.m

En la figura de la siguiente página, se muestra el edificio modelado en 3D y la fuerza axial máxima para Sismo X+



Para ambas direcciones del sismo, las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso.

Un comentario especial merece el caso del momento flector, porque en ambas direcciones los valores máximos surgen en la conexión columna-viga, lo que nos hace pensar que para este edificio será necesario efectuar un análisis adicional de posible aparición de rótula plástica en dicha zona, debido a su concentración de esfuerzos.

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, las fuerzas de diseño (V y M) para la dirección Y serán 1,25 veces su valor, debido a que en esa dirección todos los pórticos superan el 30% de la fuerza cortante horizontal.

Se recuerda, que para el diseño, se requiere previamente cumplir con las distorsiones de entrepisos en ambas direcciones.

viii) COEFICIENTES DE RIGIDEZ POR EL MODELO NORMA RUSA

Para el cálculo de los coeficientes de rigidez, usamos el libro “Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas” del Ph.D. Genner Villarreal Castro, específicamente el capítulo 2.

Calculamos el coeficiente de compresión elástica uniforme por la fórmula 2.17 del mencionado libro.

$$C_z = 1,5 \cdot 7000 \left(1 + \sqrt{\frac{10}{1,3 \cdot 1,2}} \right) = 37084,41 \text{ T/m}^3$$

Por la fórmula 2.18 del mismo libro, calculamos los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme, compresión elástica no uniforme y desplazamiento elástico no uniforme.

$$C_x = C_y = 0,7 \cdot 37084,41 = 25959,09 \text{ T/m}^3$$

$$C_{\varphi x} = C_{\varphi y} = 2 \cdot 37084,41 = 74168,82 \text{ T/m}^3$$

$$C_{\psi z} = 37084,41 \text{ T/m}^3$$

A través de la fórmula 2.16, calculamos los coeficientes de rigidez $K_x, K_y, K_z, K_{\varphi x}, K_{\varphi y}, K_{\psi z}$

$$K_x = K_y = 25959,09.1,3.1,2 = 40496,18 \text{ T/m}$$

$$K_z = 37084,41.1,3.1,2 = 57851,68 \text{ T/m}$$

$$K_{\varphi x} = 74168,82. \frac{1,3.1,2^3}{12} = 13884,40 \text{ T.m}$$

$$K_{\varphi y} = 74168,82. \frac{1,2.1,3^3}{12} = 16294,89 \text{ T.m}$$

$$K_{\varphi z} = 37084,41 \left(\frac{1,3.1,2^3}{12} + \frac{1,2.1,3^3}{12} \right) = 15089,64 \text{ T.m}$$

Los coeficientes de rigidez $K_x, K_y, K_z, K_{\varphi x}, K_{\varphi y}, K_{\varphi z}$ deben asignarse en el centroide de cada zapata y en este caso, son iguales para todas las zapatas.

ix) PERIODOS DE VIBRACIÓN

Tabla 16

MODO	PERIODO (s)
1	0,62346
2	0,59131
3	0,45151
4	0,18968
5	0,17685
6	0,13649
7	0,11115
8	0,09643
9	0,07681

ALABEO EN LOSAS:

Mantenemos la misma distribución de los nudos extremos de la losa y en la tabla 17, se muestran los desplazamientos verticales de dichos nudos, correspondientes al piso 3. Los resultados están dados en milímetros.

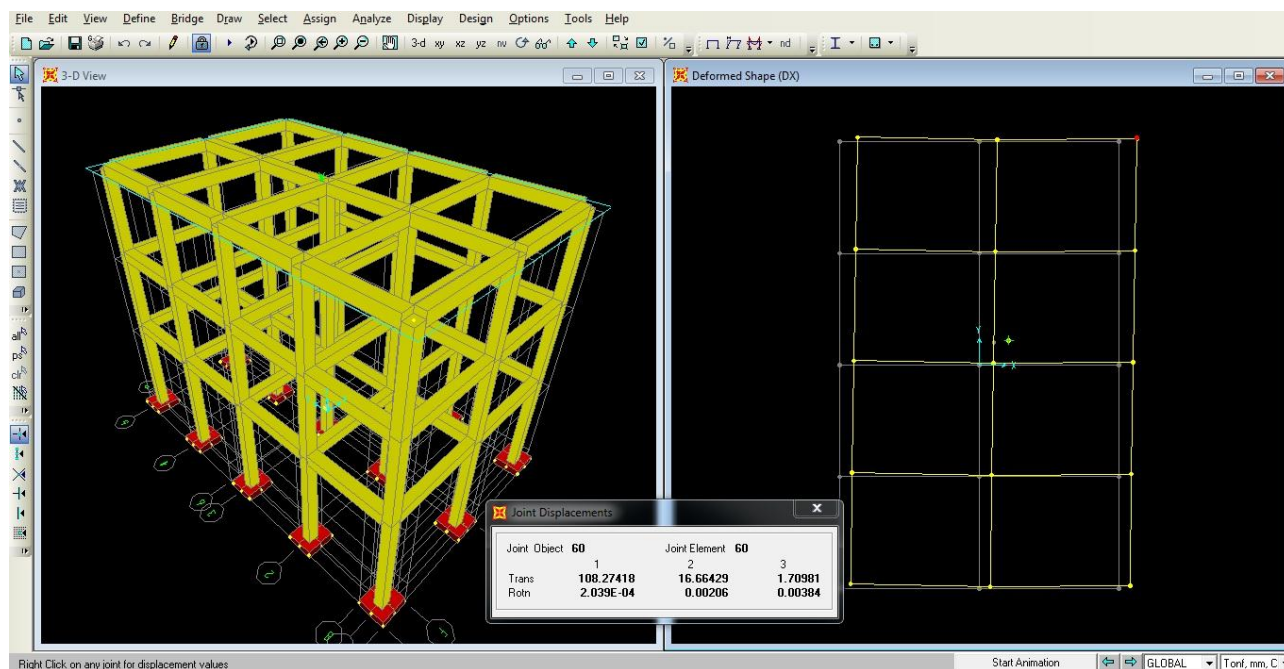
Tabla 17

Nudo	Modo de vibración								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	2,97	-3,65	-1,89	12,01	12,10	6,94	5,15	4,19	-3,81
B	-3,93	-2,80	-0,57	-14,38	10,06	1,80	-5,56	4,65	-0,24
C	-2,60	4,17	-0,73	-10,69	-14,28	3,04	-4,68	-5,71	-1,47
D	3,56	2,28	3,19	13,06	-7,88	-11,78	5,08	-3,12	5,52

De acuerdo a estos resultados, llegamos a la conclusión, que el efecto de alabeo no surge en ningún modo de vibración libre.

- x) Como la edificación es regular en ambas direcciones, para calcular el desplazamiento real, debemos de amplificar el desplazamiento elástico por el factor 0,75R siendo en este caso $0,75.8=6$ para ambas direcciones.

En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y el desplazamiento real máximo para la dirección X, correspondiente al nudo extremo superior derecho (nudo color rojo) del piso 3.



En las tablas 18 a la 25, se muestran los desplazamientos en X e Y, así como las distorsiones de cada nudo extremo de las losas de entrepisos.

Tabla 18: Sismo X+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	65,58mm	0,003
2	54,95mm	0,005
1	35,69mm	0,007

Tabla 19: Sismo X+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	108,27mm	0,004
2	91,48mm	0,008
1	60,31mm	0,012

Tabla 20: Sismo X+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	108,27mm	0,004
2	91,48mm	0,008
1	60,31mm	0,012

Tabla 21: Sismo X+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	65,58mm	0,003
2	54,95mm	0,005
1	35,69mm	0,007

Tabla 22: Sismo Y+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	82,36mm	0,003
2	71,67mm	0,005
1	50,96mm	0,010

Tabla 23: Sismo Y+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	82,36mm	0,003
2	71,67mm	0,005
1	50,96mm	0,010

Tabla 24: Sismo Y+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	99,34mm	0,003
2	86,25mm	0,006
1	60,84mm	0,012

Tabla 25: Sismo Y+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	99,34mm	0,003
2	86,25mm	0,006
1	60,84mm	0,012

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, la distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones de los extremos del entrepiso, mostrándose en las tablas 26 y 27 las distorsiones de entrepiso.

Tabla 26: Distorsión de entrepiso en X

Piso	Distorsión del extremo A	Distorsión del extremo B	Distorsión del extremo C	Distorsión del extremo D	Distorsión de entrepiso	Cumple
3	0,003	0,004	0,004	0,003	0,004	SI
2	0,005	0,008	0,008	0,005	0,007	SI
1	0,007	0,012	0,012	0,007	0,010	NO

Tabla 27: Distorsión de entrepiso en Y

Piso	Distorsión del extremo A	Distorsión del extremo B	Distorsión del extremo C	Distorsión del extremo D	Distorsión de entrepiso	Cumple
3	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	SI
2	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	SI
1	0,010	0,010	0,012	0,012	0,011	NO

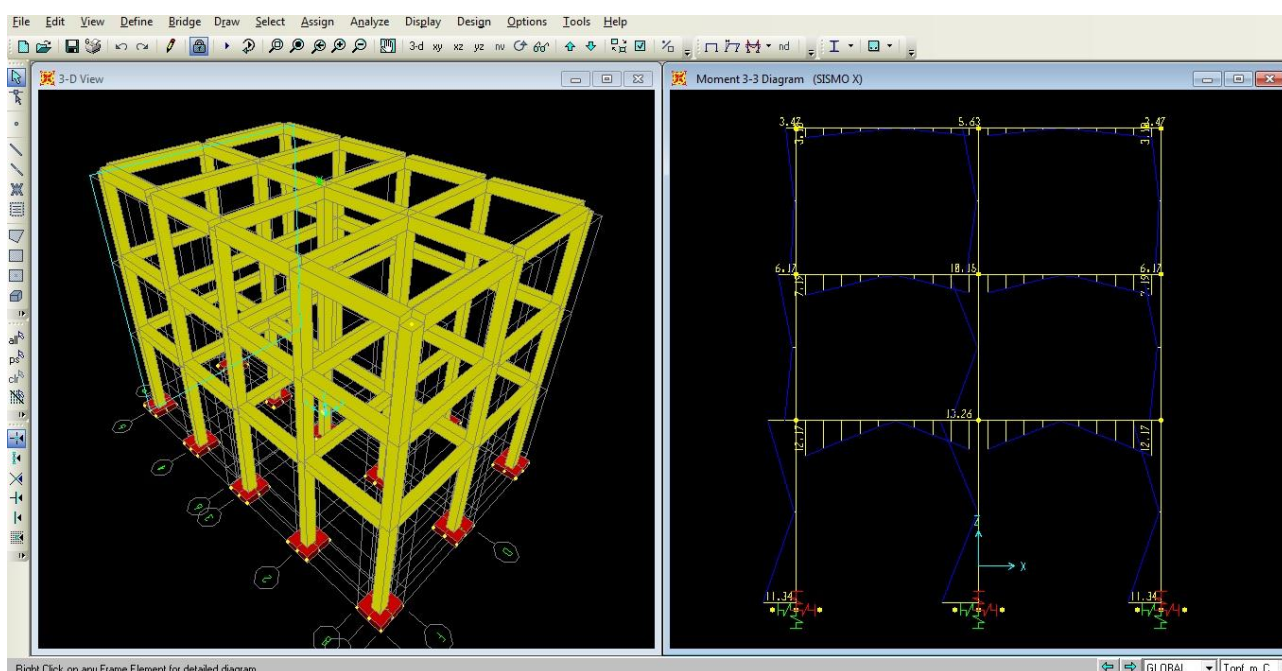
De los resultados obtenidos, se desprende que no cumple en ambas direcciones, siendo necesario reforzar la estructura en ambos sentidos.

- xi) Las fuerzas internas máximas, se muestran en la tabla 28

Tabla 28

Fuerza interna	Norma Rusa (Sismo X+)	Norma Rusa (Sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$	8,35T	8,45T
$V_{\text{máx}}$	5,16T	3,96T
$M_{\text{máx}}$	13,26T.m	10,39T.m

En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y el momento flector máximo para Sismo X+



Para ambas direcciones del sismo, las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso.

Un comentario especial merece el caso del momento flector, porque en ambas direcciones los valores máximos surgen en la conexión columna-viga, lo que nos hace pensar que para este edificio será necesario efectuar un análisis adicional de posible aparición de rótula plástica en dicha zona, debido a su concentración de esfuerzos.

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, las fuerzas de diseño (V y M) para la dirección Y serán 1,25 veces su valor, debido a que en esa dirección todos los pórticos superan el 30% de la fuerza cortante horizontal.

Se recuerda, que para el diseño, se requiere previamente cumplir con las distorsiones de entrepisos en ambas direcciones.



**DIPLOMADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES
PRACTICA CALIFICADA Nº 4**

Tema : Interacción Suelo-Estructura
Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes, justificando sus respuestas:

1. ¿Indicar cómo se calculan las masas de la platea de cimentación y cuáles son sus unidades de medida? (1 punto)
2. ¿Será correcto afirmar que en la interacción suelo-estructura, los períodos de vibración son menores que sin interacción suelo-estructura? ¿Por qué? (0.5 puntos)
3. Describa el proceso de validación normativa de un modelo dinámico de interacción suelo-estructura (0.5 puntos)
4. Indicar la correspondencia, escribiendo en el recuadro libre de la tabla 2, la característica o definición que lo relaciona con la tabla 1, justificando sus respuestas (2.5 puntos)

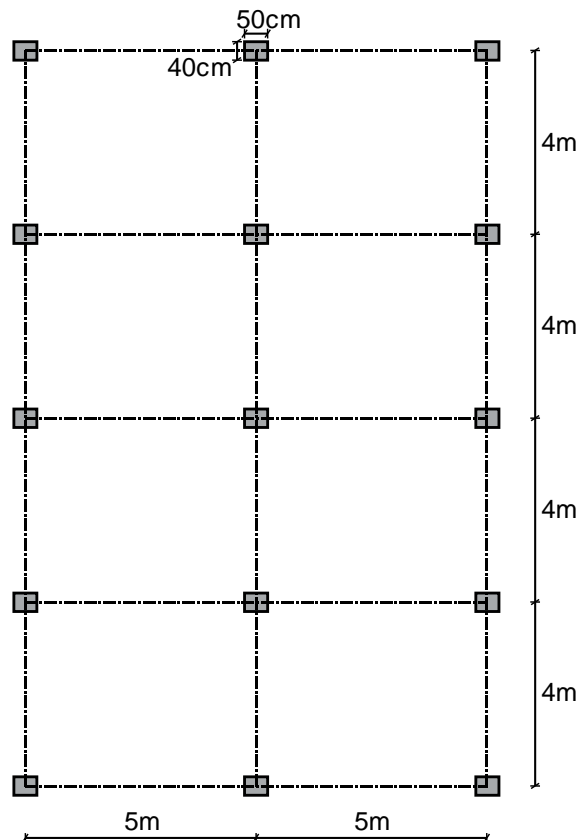
Tabla 1		Tabla 2	
i	K_x, K_y	Coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme	
ii	Modelo Norma Rusa	Consideró la cimentación infinitamente rígida y con giro en Z	
iii	Modelo de Barkan D.D.	Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme	
iv	Modelo de Kobori T.	Restringe la rotación en Z	
v	K_z	Considera los 6 grados de libertad	

II PARTE:

5. Se tiene una edificación de 3 pisos y destinada para centro comercial, proyectada en la ciudad de Iquitos, con sistema estructural aporticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico dinámico espectral, considerando la interacción suelo-estructura

Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c = 2100 \text{ T/m}^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2173706 \text{ T/m}^2$
Coeficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losa de techo aligerada de espesor	$e = 20 \text{ cm}$ (pisos 1 y 2) $e = 17 \text{ cm}$ (piso 3)
Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 143,925T Piso 2 = 136,725T

	Piso 3 = 116,913T
Plata de cimentación de dimensiones	11m x 17m x 0,3m
Profundidad de desplante (contacto con platea)	1m
Perfil del suelo	S ₃
Coeficiente experimental para $\rho_0 = 0,2\text{kg/cm}^2$	$C_o = 0,8\text{kg/cm}^3$
Coeficiente de Poisson del suelo	$\mu_s = 0,35$
Coeficiente empírico del suelo	$b_0 = 1,2\text{m}^{-1}$
Módulo de elasticidad del suelo	$E_s = 20\text{MPa}$



Se pide:

- Determinar las masas a nivel de entrepisos (1 punto)
- Calcular el factor de escala y la excentricidad accidental (0.5 puntos)
- Determinar las masas de la platea (1 punto)
- Calcular los coeficientes de rigidez para el modelo dinámico Barkan D.D. (1.5 puntos)
- Modelar con el SAP2000 y determinar los 9 primeros períodos de vibración, comprobando el problema de alabeo en losas (Modelo Barkan D.D.) (2 puntos)
- Efectuar el control de distorsiones de entrepisos para Sismo X+ y Sismo Y+ e indicar si es necesario reforzar la estructura (Modelo Barkan D.D.) (1.5 puntos)
- Determinar las fuerzas internas máximas, indicando donde ocurre (Modelo Barkan D.D.) (1.5 puntos)
- Calcular los coeficientes de rigidez para el modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87 (1.5 puntos)
- Modelar con el SAP2000 y determinar los 9 primeros períodos de vibración, comprobando el problema de alabeo en losas (Modelo Norma Rusa) (2 puntos)

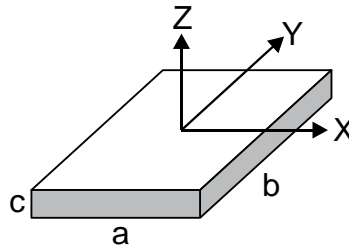
- x) Efectuar el control de distorsiones de entrepisos para Sismo X+ y Sismo Y+ e indicar si es necesario reforzar la estructura (Modelo Norma Rusa) (1.5 puntos)
- xi) Determinar las fuerzas internas máximas, indicando donde ocurre (Modelo Norma Rusa) (1.5 puntos)

Trujillo, agosto de 2015

SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA CALIFICADA Nº 4

I PARTE:

1. Esquematizamos una platea de cimentación con dimensiones a, b, c y con ejes centroidales X, Y, Z, tal como se muestra en la figura.



Ahora, calculamos las masas traslacionales respecto a los ejes centroidales X, Y, Z y las masas rotacionales respecto a los ejes de contacto suelo-platea, indicados como X', Y', Z'

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{\text{platea}}}{g} = \frac{\gamma \cdot a \cdot b \cdot c}{g} \quad (\text{T} \cdot \text{s}^2/\text{m})$$

$$M_{\phi x'} = M_t d^2 + I_{mx} = M_t \left(\frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t b^2}{12} \quad (\text{T} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m})$$

$$M_{\phi y'} = M_t d^2 + I_{my} = M_t \left(\frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t a^2}{12} \quad (\text{T} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m})$$

$$M_{\psi z'} = I_{mz} = \frac{M_t (a^2 + b^2)}{12} \quad (\text{T} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m})$$

Siendo:

P_{platea} - peso de la platea

γ - peso específico del concreto, como material de la platea

d - distancia desde el centro de gravedad de la masa de la platea hasta la superficie de contacto con el suelo de fundación.

I_{mx}, I_{my}, I_{mz} - momentos de inercia de masa respecto a X, Y, Z

2. FALSO, porque cuando se considera la interacción suelo-estructura, la cimentación se desplaza y rota alrededor de sus ejes, siendo su período de vibración mayor que el de sin interacción suelo-estructura.
3. Para la validación normativa de un modelo dinámico de interacción suelo-estructura, se debe seguir el siguiente proceso:
 - Elaboración de un modelo matemático que describa los parámetros y relaciones a considerar en la interacción suelo-estructura
 - Elaboración de un modelo físico que describa el fenómeno de interacción suelo-estructura y ejecución de los ensayos experimentales para la validación del modelo
 - Elaboración de un flujograma que detalle el proceso de obtención de los coeficientes de rigidez
 - Incorporación de coeficientes de corrección numérica o de unidad de medida
 - Obtención de los coeficientes de rigidez equivalente
 - Validación del modelo dinámico, mediante la contrastación de resultados numéricos con los experimentales
 - Incorporación del modelo dinámico en la Norma de Diseño Sismo-Resistente

4. i) Los coeficientes K_x, K_y son conocidos como coeficientes de rigidez de desplazamiento elástico uniforme en X e Y.
- ii) El Modelo Norma Rusa considera los 6 grados de libertad, con 6 masas y 6 coeficientes de rigidez, aplicados en el centroide de la cimentación.
- iii) El Modelo Barkan D.D. restringe la rotación en Z, porque solo cuenta con 5 coeficientes de rigidez, faltando $K_{\psi z}$
- iv) El Modelo de Kobori T., consideró la cimentación como infinitamente rígida, la cual se desplaza horizontalmente y gira alrededor del eje vertical Z.
- v) El coeficiente K_z es conocido como coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme.

De acuerdo a lo anteriormente explicado, las respuestas correctas de la tabla 2 son:

Tabla 1		Tabla 2	
i	K_x, K_y	Coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme	v
ii	Modelo Norma Rusa	Consideró la cimentación infinitamente rígida y con giro en Z	iv
iii	Modelo de Barkan D.D.	Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme	i
iv	Modelo de Kobori T.	Restringe la rotación en Z	iii
v	K_z	Considera los 6 grados de libertad	ii

II PARTE:

5. i) MASAS A NIVEL DE ENTREPISOS

Piso 3:

$$M_{t(3)} = \frac{116,913}{9,81} = 11,918 T.s^2 / m$$

$$M_{r(3)} = \frac{11,918(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 376,619 T.s^2.m$$

Piso 2:

$$M_{t(2)} = \frac{136,725}{9,81} = 13,937 T.s^2 / m$$

$$M_{r(2)} = \frac{13,937(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 440,421 T.s^2.m$$

Piso 1:

$$M_{t(1)} = \frac{143,925}{9,81} = 14,671 T.s^2 / m$$

$$M_{r(1)} = \frac{14,671(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 463,616 T.s^2.m$$

ii) FACTOR DE ESCALA

$$F.E. = \frac{ZUSg}{R} = \frac{0,10.1,3.2,0.9,81}{8} = 0,318825$$

Siendo:

Z=0,10 (Iquitos)

U=1,3 (Centro comercial)

S=2,0 (Suelo S₃ y Zona Z₁)

$$g=9,81\text{m/s}^2$$

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p = 8 \cdot 1 \cdot 1 = 8$$

Dónde:

$R_0 = 8$ Coeficiente básico de reducción para el sistema aporticado de concreto armado.

$I_a = 1$ Regular en altura

$I_p = 1$ Regular en planta

EXCENRICIDAD ACCIDENTAL:

$$e_x = 0,05 \cdot 10,5 = 0,525\text{m}$$

$$e_y = 0,05 \cdot 16,4 = 0,82\text{m}$$

iii) MASAS EN LA PLATEA:

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{\gamma \cdot a \cdot b \cdot c}{g} = \frac{2,4 \cdot 11 \cdot 17 \cdot 0,3}{9,81} = 13,725\text{T} \cdot \text{s}^2 / \text{m}$$

$$M_{\phi x'} = M_t \left(\frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t b^2}{12} = 13,725 \cdot 0,15^2 + \frac{13,725 \cdot 17^2}{12} = 330,852\text{T} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}$$

$$M_{\phi y'} = M_t \left(\frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t a^2}{12} = 13,725 \cdot 0,15^2 + \frac{13,725 \cdot 11^2}{12} = 138,702\text{T} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}$$

$$M_{\psi z'} = \frac{M_t (a^2 + b^2)}{12} = \frac{13,725(11^2 + 17^2)}{12} = 468,937\text{T} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}$$

Para el modelo dinámico Barkan D.D. no es necesario calcular la masa rotacional $M_{\psi z'}$, debido a que se restringe la rotación en Z, pero para el modelo dinámico Norma Rusa si es necesario por tener los seis grados de libertad, es decir, no existen restricciones.

Las masas traslacionales y rotacionales deben asignarse en el centroide de la platea.

iv) COEFICIENTES DE RIGIDEZ POR EL MODELO BARKAN D.D.

Para el cálculo de los coeficientes de rigidez, usamos el libro "Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas" del Ph.D. Genner Villarreal Castro, específicamente el capítulo 2, el cual también se aplica para plateas de cimentación.

Calculamos la magnitud de la presión estática del suelo "ρ"

$$\rho = \frac{116913 + 136725 + 143925 + 2400 \cdot 11 \cdot 17 \cdot 0,3}{1100 \cdot 1700} = 0,284\text{kg} / \text{cm}^2$$

Por la fórmula 2.7 del mismo texto, calculamos D_o

$$D_o = \frac{1 - 0,35}{1 - 0,5 \cdot 0,35} \cdot 0,8 = 0,63\text{kg} / \text{cm}^3$$

Ahora, calculamos los coeficientes $C_x, C_y, C_z, C_{\phi x}, C_{\phi y}$ por la fórmula 2.6 del mismo texto

$$C_x = C_y = 0,63 \left[1 + \frac{2(11 + 17)}{1 \cdot 11 \cdot 17} \right] \sqrt{\frac{0,284}{0,2}} = 0,975\text{kg} / \text{cm}^3 = 975\text{T} / \text{m}^3$$

$$C_z = 0,8 \left[1 + \frac{2(11+17)}{1.11.17} \right] \sqrt{\frac{0,284}{0,2}} = 1,239 \text{ kg/cm}^3 = 1239 \text{ T/m}^3$$

$$C_{\varphi x} = 0,8 \left[1 + \frac{2(11+3.17)}{1.11.17} \right] \sqrt{\frac{0,284}{0,2}} = 1,585 \text{ kg/cm}^3 = 1585 \text{ T/m}^3$$

$$C_{\varphi y} = 0,8 \left[1 + \frac{2(17+3.11)}{1.11.17} \right] \sqrt{\frac{0,284}{0,2}} = 1,463 \text{ kg/cm}^3 = 1463 \text{ T/m}^3$$

Por la fórmula 2.4 del mismo texto, determinamos los coeficientes de rigidez $K_x, K_y, K_z, K_{\varphi x}, K_{\varphi y}$

$$K_x = K_y = 975.11.17 = 182325 \text{ T/m}$$

$$K_z = 1239.11.17 = 231693 \text{ T/m}$$

$$K_{\varphi x} = 1585. \frac{11.17^3}{12} = 7138179,58 \text{ T.m}$$

$$K_{\varphi y} = 1463. \frac{17.11^3}{12} = 2758608,42 \text{ T.m}$$

Los coeficientes de rigidez $K_x, K_y, K_z, K_{\varphi x}, K_{\varphi y}$ deben asignarse en el centroide de la platea.

v) PERIODOS DE VIBRACIÓN

Tabla 3

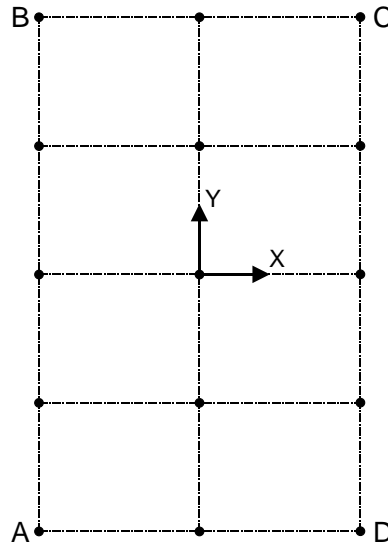
MODO	PERIODO (s)
1	0,61726
2	0,60622
3	0,43789
4	0,18627
5	0,17193
6	0,13468
7	0,11079
8	0,09604
9	0,07670

ALABEO EN LOSAS:

En la figura de la siguiente página, esquematizamos los nudos extremos de la losa como A, B, C, D y en la tabla 4, se muestran los desplazamientos verticales de dichos nudos, correspondientes al piso 3. Los resultados están dados en milímetros.

Tabla 4

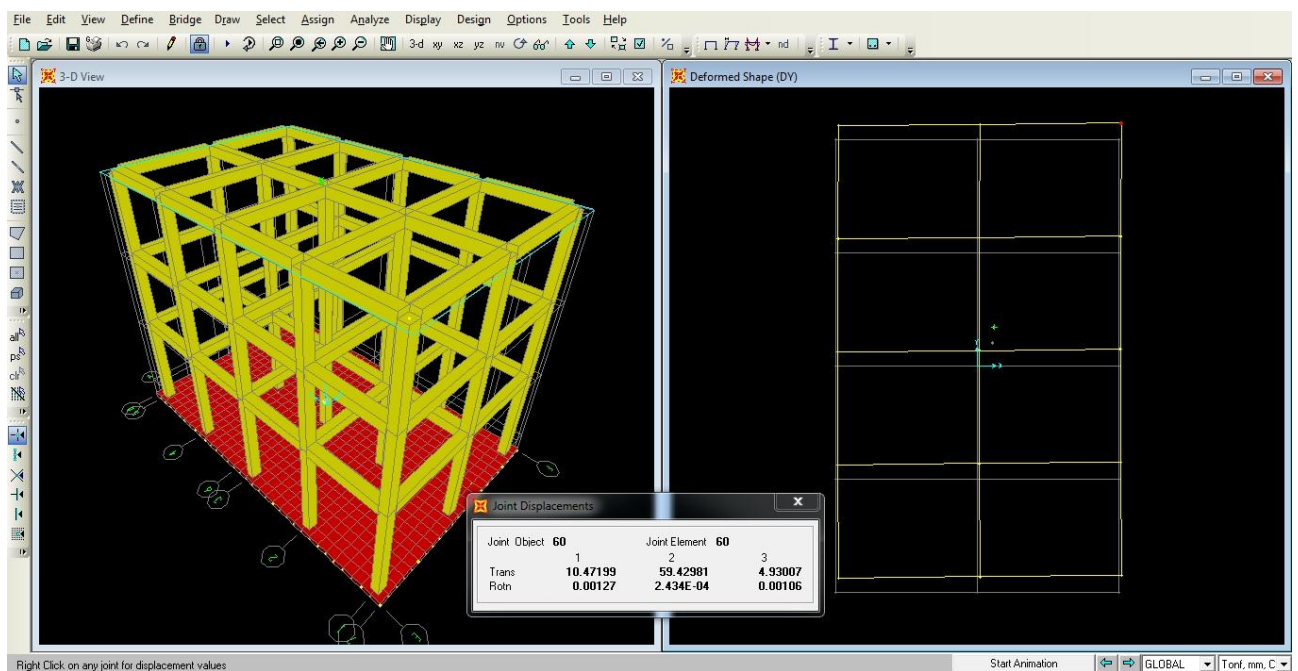
Nudo	Modo de vibración								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	-7,03	24,83	-4,37	-26,34	25,32	7,72	14,80	-19,93	10,06
B	23,75	8,04	-7,37	30,36	18,18	11,28	-16,36	-18,62	8,71
C	6,44	-25,19	0,74	25,31	-27,16	-0,19	-14,08	21,97	-3,20
D	-23,16	-7,68	11,00	-29,33	-16,33	-18,80	15,64	16,58	-15,56



De acuerdo a estos resultados, llegamos a la conclusión, que el efecto de alabeo no surge en ningún modo de vibración libre.

- vi) Como la edificación es regular en ambas direcciones, para calcular el desplazamiento real, debemos de amplificar el desplazamiento elástico por el factor 0,75R siendo en este caso $0,75 \cdot 8 = 6$ para ambas direcciones.

En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y el desplazamiento real máximo para la dirección Y, correspondiente al nudo extremo superior derecho (nudo color rojo) del piso 3.



En las tablas 5 a la 14, se muestran los desplazamientos en X e Y, así como las distorsiones de cada nudo extremo de las losas de entresijos.

Tabla 5: Sismo X+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	42,56mm	0,002
2	33,21mm	0,003
1	19,40mm	0,004

Tabla 6: Sismo X+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	65,27mm	0,003
2	52,39mm	0,005
1	31,97mm	0,006

Tabla 7: Sismo X+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	65,27mm	0,003
2	52,39mm	0,005
1	31,97mm	0,006

Tabla 8: Sismo X+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	42,56mm	0,002
2	33,21mm	0,003
1	19,40mm	0,004

Tabla 9: Sismo Y+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	50,24mm	0,002
2	41,71mm	0,003
1	27,38mm	0,005

Tabla 10: Sismo Y+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	50,24mm	0,002
2	41,71mm	0,003
1	27,38mm	0,005

Tabla 11: Sismo Y+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	59,43mm	0,002
2	49,51mm	0,004
1	32,51mm	0,006

Tabla 12: Sismo Y+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	59,43mm	0,002
2	49,51mm	0,004
1	32,51mm	0,006

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, la distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones de los extremos del entrepiso, mostrándose en las tablas 13 y 14 las distorsiones de entrepiso.

Tabla 13: Distorsión de entrepiso en X

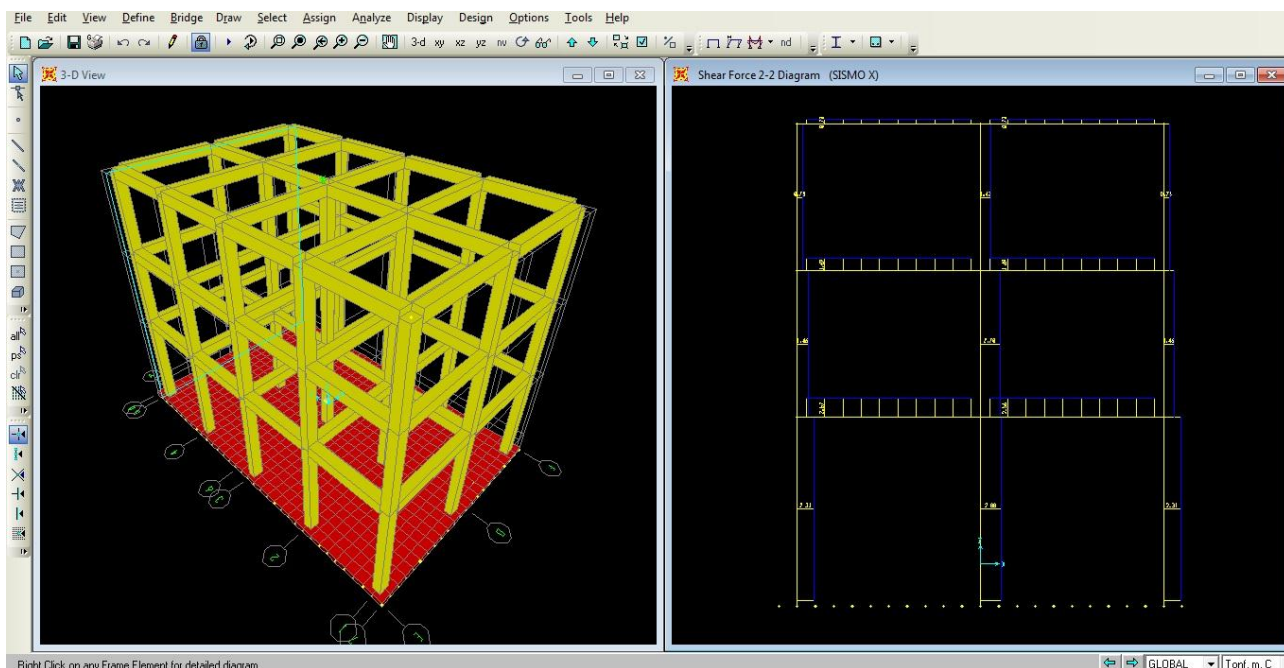
Piso	Distorsión del extremo A	Distorsión del extremo B	Distorsión del extremo C	Distorsión del extremo D	Distorsión de entrepiso	Cumple
3	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	SI
2	0,003	0,005	0,005	0,003	0,004	SI
1	0,004	0,006	0,006	0,004	0,005	SI

Tabla 14: Distorsión de entrepiso en Y

Piso	Distorsión del extremo A	Distorsión del extremo B	Distorsión del extremo C	Distorsión del extremo D	Distorsión de entrepiso	Cumple
3	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	SI
2	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	SI
1	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	SI

De los resultados obtenidos, se desprende que cumple en ambas direcciones y no es necesario reforzar la estructura.

- vii) En la siguiente figura se muestra el edificio modelado en 3D y la fuerza cortante máxima para Sismo X+



Para ambas direcciones del sismo, las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso y se debe de indicar, que para el momento flector, el valor máximo se obtiene en la parte inferior de la columna y en la zona de contacto con la platea.

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, las fuerzas de diseño (V y M) para la dirección Y serán 1,25 veces su valor, debido a que en esa dirección todos los pórticos superan el 30% de la fuerza cortante horizontal.

Se recuerda, que para obtener las fuerzas de diseño, se requiere previamente cumplir con la condición $V_{\text{dinámico}} \geq 0,8V_{\text{estático}}$ para edificio regular y $V_{\text{dinámico}} \geq 0,9V_{\text{estático}}$ para edificio irregular, caso contrario se debe de amplificar las fuerzas internas hasta alcanzar la relación requerida de la Norma E030-2014.

Las fuerzas internas máximas, se muestran en la tabla 15

Tabla 15

Fuerza interna	Barkan D.D. (Sismo X+)	Barkan D.D. (Sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$	4,64T	4,93T
$V_{\text{máx}}$	2,88T	2,34T
$M_{\text{máx}}$	7,78T.m	6,05T.m

viii) COEFICIENTES DE RIGIDEZ POR EL MODELO NORMA RUSA

Para el cálculo de los coeficientes de rigidez, usamos el libro “Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas” del Ph.D. Genner Villarreal Castro, específicamente el capítulo 2, el cual también se aplica a plateas de cimentación.

Calculamos el coeficiente de compresión elástica uniforme por la fórmula 2.17 del mencionado libro.

$$C_z = 1,2 \cdot 2000 \left(1 + \sqrt{\frac{10}{11,17}} \right) = 2955 \text{ T/m}^3$$

Por la fórmula 2.18 del mismo libro, calculamos los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme, compresión elástica no uniforme y desplazamiento elástico no uniforme.

$$C_x = C_y = 0,7 \cdot 2955 = 2068,5 \text{ T/m}^3$$

$$C_{\varphi x} = C_{\varphi y} = 2 \cdot 2955 = 5910 \text{ T/m}^3$$

$$C_{\psi z} = 2955 \text{ T/m}^3$$

A través de la fórmula 2.16, calculamos los coeficientes de rigidez $K_x, K_y, K_z, K_{\varphi x}, K_{\varphi y}, K_{\psi z}$

$$K_x = K_y = 2068,5 \cdot 11,17 = 386809,5 \text{ T/m}$$

$$K_z = 2955 \cdot 11,17 = 552585 \text{ T/m}$$

$$K_{\varphi x} = 5910 \cdot \frac{11,17^3}{12} = 26616177,5 \text{ T.m}$$

$$K_{\varphi y} = 5910 \cdot \frac{17,11^3}{12} = 11143797,5 \text{ T.m}$$

$$K_{\psi z} = 2955 \cdot \left(\frac{11,17^3}{12} + \frac{17,11^3}{12} \right) = 18879987,5 \text{ T.m}$$

Los coeficientes de rigidez $K_x, K_y, K_z, K_{\varphi x}, K_{\varphi y}, K_{\psi z}$ deben asignarse en el centroide de la platea.

ix) PERIODOS DE VIBRACIÓN

Tabla 16

MODO	PERIODO (s)
1	0,60050
2	0,57249
3	0,43851
4	0,18499
5	0,17029
6	0,13491
7	0,11064
8	0,09566
9	0,07672

ALABEO EN LOSAS:

Mantenemos la misma distribución de los nudos extremos de la losa y en la tabla 17, se muestran los desplazamientos verticales de dichos nudos, correspondientes al piso 3. Los resultados están dados en milímetros.

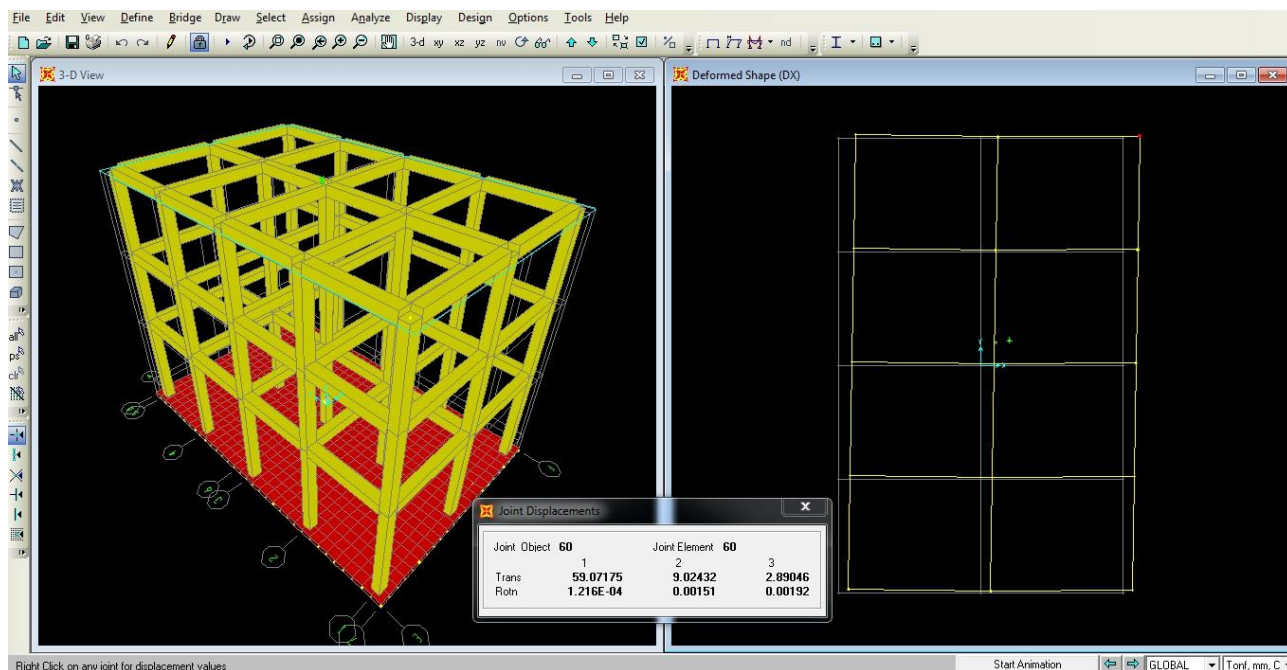
Tabla 17

Nudo	Modo de vibración								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	-10,92	-13,36	3,32	-20,60	-17,05	-5,98	11,70	-12,09	-6,99
B	14,65	-8,11	4,95	23,32	-11,86	-7,01	-12,65	-11,57	-4,33
C	10,38	14,06	0,21	19,51	19,04	-1,57	-10,97	14,18	0,20
D	-14,11	7,42	-8,49	-22,23	9,88	14,55	11,92	9,48	11,11

De acuerdo a estos resultados, llegamos a la conclusión, que el efecto de alabeo no surge en ningún modo de vibración libre.

- x) Como la edificación es regular en ambas direcciones, para calcular el desplazamiento real, debemos de amplificar el desplazamiento elástico por el factor $0,75R$ siendo en este caso $0,75 \cdot 8 = 6$ para ambas direcciones.

En la figura de la siguiente página, se muestra el edificio modelado en 3D y el desplazamiento real máximo para la dirección X, correspondiente al nudo extremo superior derecho (nudo color rojo) del piso 3.



En las tablas 18 a la 25, se muestran los desplazamientos en X e Y, así como las distorsiones de cada nudo extremo de las losas de entrepisos.

Tabla 18: Sismo X+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	34,46mm	0,002
2	27,29mm	0,003
1	15,81mm	0,003

Tabla 19: Sismo X+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	59,07mm	0,003
2	48,11mm	0,005
1	29,51mm	0,006

Tabla 20: Sismo X+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	59,07mm	0,003
2	48,11mm	0,005
1	29,51mm	0,006

Tabla 21: Sismo X+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	34,46mm	0,002
2	27,29mm	0,003
1	15,81mm	0,003

Tabla 22: Sismo Y+ para el nudo A

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	46,52mm	0,002
2	38,85mm	0,003
1	25,46mm	0,005

Tabla 23: Sismo Y+ para el nudo B

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	46,52mm	0,002
2	38,85mm	0,003
1	25,46mm	0,005

Tabla 24: Sismo Y+ para el nudo C

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	56,58mm	0,002
2	47,40mm	0,004
1	31,12mm	0,006

Tabla 25: Sismo Y+ para el nudo D

Piso	Desplazamiento	Distorsión
3	56,58mm	0,002
2	47,40mm	0,004
1	31,12mm	0,006

De acuerdo a la propuesta de Norma E030–2014, la distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones de los extremos del entrepiso, mostrándose en las tablas 26 y 27 las distorsiones de entrepiso.

Tabla 26: Distorsión de entrepiso en X

Piso	Distorsión del extremo A	Distorsión del extremo B	Distorsión del extremo C	Distorsión del extremo D	Distorsión de entrepiso	Cumple
3	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	SI
2	0,003	0,005	0,005	0,003	0,004	SI
1	0,003	0,006	0,006	0,003	0,005	SI

Tabla 27: Distorsión de entrepiso en Y

Piso	Distorsión del extremo A	Distorsión del extremo B	Distorsión del extremo C	Distorsión del extremo D	Distorsión de entrepiso	Cumple
3	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	SI
2	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	SI
1	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	SI

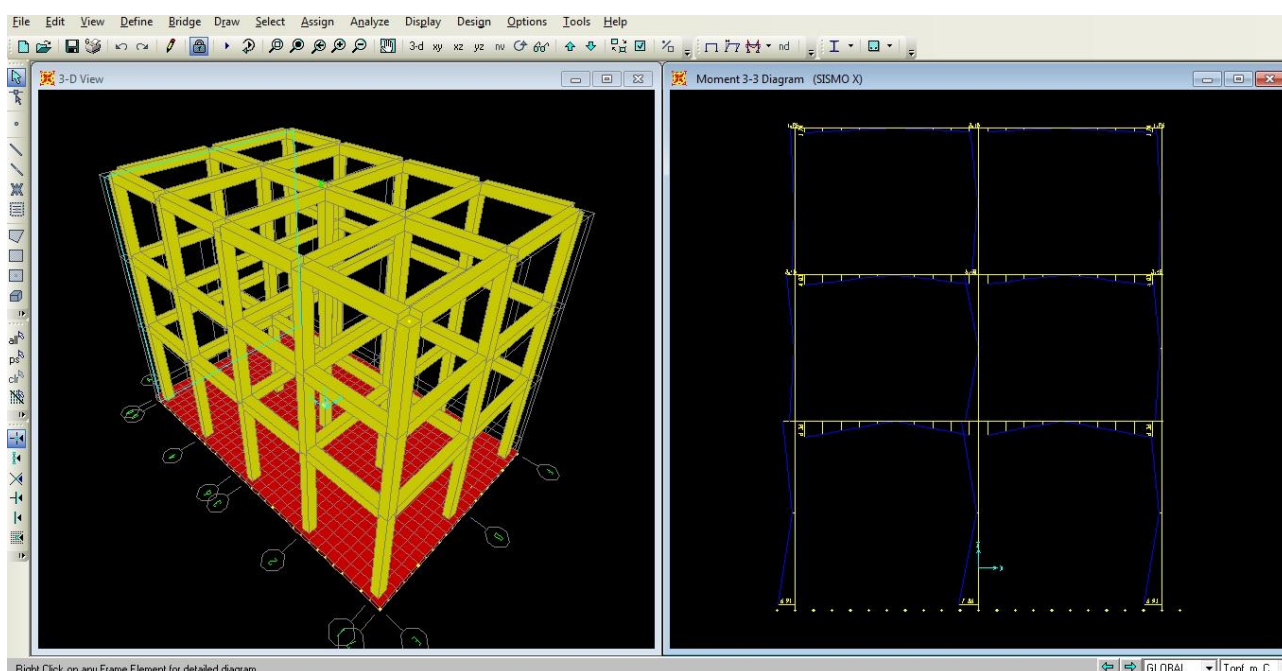
De los resultados obtenidos, se desprende que cumple en ambas direcciones y no es necesario reforzar la estructura.

- xi) Las fuerzas internas máximas, se muestran en la tabla 28

Tabla 28

Fuerza interna	Norma Rusa (Sismo X+)	Norma Rusa (Sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$	4,65T	4,94T
$V_{\text{máx}}$	2,91T	2,34T
$M_{\text{máx}}$	7,86T.m	6,05T.m

En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y el momento flector máximo para Sismo X+



Para ambas direcciones del sismo, las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso y se debe de indicar, que para el momento flector, el valor máximo se obtiene en la parte inferior de la columna y en la zona de contacto con la platea.

De acuerdo a la propuesta de Norma E030-2014, las fuerzas de diseño (V y M) para la dirección Y serán 1,25 veces su valor, debido a que en esa dirección todos los pórticos superan el 30% de la fuerza cortante horizontal.

Se recuerda, que para obtener las fuerzas de diseño, se requiere previamente cumplir con la condición $V_{\text{dinámico}} \geq 0,8V_{\text{estático}}$ para edificio regular y $V_{\text{dinámico}} \geq 0,9V_{\text{estático}}$ para edificio irregular, caso contrario se debe de amplificar las fuerzas internas hasta alcanzar la relación requerida de la Norma E030-2014.

BIBLIOGRAFIA

1. **Villarreal Castro Genner.** Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas. Asamblea Nacional de Rectores. Lima, 2006. – 125p.
2. **Villarreal Castro Genner.** Análisis de estructuras con el programa LIRA 9.0. Lima, 2006. – 115p.
3. **Villarreal Castro Genner.** Interacción suelo-estructura en edificios altos. Asamblea Nacional de Rectores. Lima, 2007. – 142p.
4. **Villarreal Castro Genner.** Análisis estructural. Lima, 2008. – 335p.
5. **Villarreal Castro Genner – Oviedo Sarmiento Ricardo.** Edificaciones con disipadores de energía. Asamblea Nacional de Rectores. Lima, 2009. – 159p.
6. **Villarreal Castro Genner.** Resistencia de materiales. Lima, 2009. – 336p.
7. **Villarreal Castro Genner.** Estática: Problemas resueltos. Lima, 2011. – 227p.
8. **Villarreal Castro Genner.** Resistencia de materiales I: Prácticas y exámenes USMP. Lima, 2012. – 206p.
9. **Villarreal Castro Genner.** Resistencia de materiales II: Prácticas y exámenes USMP. Lima, 2013. – 199p.
10. **Villarreal Castro Genner.** Ingeniería sismo-resistente: Prácticas y exámenes UPC. Lima, 2013. – 100p.
11. **Villarreal Castro Genner.** Mecánica de materiales: Prácticas y exámenes UPC. Lima, 2015. – 195p.

INDICE

PROLOGO.....	03
PRACTICA DIRIGIDA Nº 1.....	05
PRACTICA CALIFICADA Nº 1.....	12
PRACTICA DIRIGIDA Nº 2.....	19
PRACTICA CALIFICADA Nº 2.....	29
PRACTICA DIRIGIDA Nº 3.....	42
PRACTICA CALIFICADA Nº 3.....	52
PRACTICA DIRIGIDA Nº 4.....	65
PRACTICA CALIFICADA Nº 4.....	80
BIBLIOGRAFIA.....	95