

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PROPUESTA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE DIAFRAGMAS RÍGIDOS Y
FLEXIBLES EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLERA EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORAS:

Tenorio Vásquez, Cynthia Esther
Palomino Pando, Alejandra Nikita
Meléndez Soto, Natalia Verónica

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORES:

Velit Villalba, Renato Alejandro
Siancas Huallpa, Kris Kristhoferson

ASESOR:

Robinson Ucañan Díaz

Lima, Julio 2021

Resumen

La actual norma peruana de diseño sismorresistente no establece un criterio que permita diferenciar un diafragma rígido de uno flexible. Ello conlleva a que, en los proyectos estructurales, únicamente se aplique un diafragma rígido por simplicidad en el análisis, pero que a su vez podría generar inconsistencias en la etapa de diseño.

Con base en ello, la presente investigación realizó la revisión bibliográfica de criterios internacionales para identificar, de forma cuantitativa, un diafragma flexible en un determinado proyecto. De la revisión bibliográfica, basado en la norma ASCE/SEI 7-16, se obtuvo el sustento teórico, y junto a una calibración numérica en el software ETABS, se generó una propuesta tentativa que se incorpore en la norma peruana NTE E.030. La principal limitación es que solamente es válida para estructuras de concreto armado con sistema de piso de losas macizas. Es decir, se especificó un criterio diferenciador de diafragmas rígidos y flexibles compatible con los requisitos de análisis de la norma peruana para un sistema estructural en específico.

Finalmente, se aplicó el criterio definido a tres estructuras modeladas irregulares con esquinas entrantes: una con torsión regular, una con torsión extrema y una sin problemas de torsión. Los resultados demostraron que la planta con irregularidad por torsión extrema generó un sistema de losa más flexible, con mayor periodo fundamental y una resistencia lateral de diseño menor, en comparación a un modelo numérico con diafragma rígido. En conclusión, se demostró que la respuesta numérica entre un modelo con diafragma flexible y uno rígido es diferente y se validó la propuesta al permitir identificar dichas diferencias.

ÍNDICE GENERAL

1. PLANEAMIENTO	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	1
1.3. ALCANCE Y LIMITACIONES.....	2
1.4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	2
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. DIAFRAGMAS	4
2.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN NORMAS INTERNACIONALES	5
2.2.1. ASCE 7-16 (USA).....	5
2.2.2. NTC - Diseño por Sismo (México).....	6
2.2.3. INPRES - CIRSOC 103 (Argentina).....	7
2.2.4. NSR – 10 (Colombia).....	7
2.2.5. EHE-08 (España).....	8
2.2.6. Eurocódigo 8 (Unión Europea)	8
2.2.7. IS 1893 (India).....	8
2.2.8. COVENIN 1756 (Venezuela).....	9
2.2.9. FEMA 273 (USA).....	10
2.2.10. UBC 1994 (USA)	10
2.3. CASOS DE ESTUDIO	10
3. MARCO METODOLÓGICO.....	14
3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
3.2. METODOLOGÍA	14
4. DESARROLLO METODOLÓGICO	17
4.1. EVALUACIÓN Y ELECCIÓN DEL CRITERIO	17
4.2. PRESENTACIÓN DE PROPUESTA	18

4.2.1. <i>Propuesta tentativa</i>	27
4.3. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA EN EDIFICACIONES	29
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
6. CONCLUSIONES	53
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	RESULTADOS PARA UN ESPESOR DE LOSA $H = 40\text{CM}$	24
TABLA 2.	RESULTADOS PARA UN ESPESOR DE LOSA $H = 30\text{CM}$	25
TABLA 3.	RESULTADOS PARA UN ESPESOR DE LOSA $H = 25\text{CM}$	25
TABLA 4.	RESULTADOS PARA UN ESPESOR DE LOSA $H = 20\text{CM}$	26
TABLA 5.	RESULTADOS PARA UN ESPESOR DE LOSA $H = 15\text{CM}$	26
TABLA 6.	RELACIÓN MÍNIMA PARA DISTINTOS ESPESORES DE LOSA.....	28
TABLA 7.	RESULTADOS DE IRREGULARIDAD POR ESQUINA ENTRANTE – ESTRUCTURA 1.....	31
TABLA 8.	RESULTADOS DE IRREGULARIDAD TORSIONAL EN X – ESTRUCTURA 1	31
TABLA 9.	RESULTADOS DE IRREGULARIDAD TORSIONAL EN Y – ESTRUCTURA 1	32
TABLA 10.	DERIVAS INELÁSTICAS MÁXIMAS – ESTRUCTURA 1 INICIAL.....	33
TABLA 11.	PERIODOS TRASLACIONALES Y CORTANTES BASALES DIAFRAGMA RÍGIDO - ESTRUCTURA 1 INICIAL	33
TABLA 12.	VALORES PARA LA PROPUESTA – ESTRUCTURA 1.....	34
TABLA 13.	VALORES SEGÚN EL CRITERIO DE LA ASCE – ESTRUCTURA 1	35
TABLA 14.	DERIVAS MÁXIMAS INELÁSTICAS – ESTRUCTURA 1 FINAL.....	36
TABLA 15.	PERIODOS TRASLACIONALES Y CORTANTES BASALES DIAFRAGMA SEMI RÍGIDO ESTRUCTURA 1 FINAL	36
TABLA 16.	RESULTADOS DE IRREGULARIDAD POR ESQUINA ENTRANTE – ESTRUCTURA 2	37
TABLA 17.	RESULTADOS DE IRREGULARIDAD TORSIONAL EN X – ESTRUCTURA 2.....	38
TABLA 18.	RESULTADOS DE IRREGULARIDAD TORSIONAL EN Y – ESTRUCTURA 2.....	39
TABLA 19.	DERIVAS INELÁSTICAS MÁXIMAS – ESTRUCTURA 2 INICIAL.....	40
TABLA 20.	PERIODOS TRASLACIONALES Y CORTANTES BASALES DIAFRAGMA RÍGIDO - ESTRUCTURA 2 INICIAL	40
TABLA 21.	VALORES PARA LA PROPUESTA – ESTRUCTURA 2.....	41
TABLA 22.	VALORES PARA EL CRITERIO DE LA ASCE – ESTRUCTURA 2.....	42
TABLA 23.	DERIVAS INELÁSTICAS MÁXIMAS – ESTRUCTURA 2 FINAL.....	43
TABLA 24.	PERIODOS TRASLACIONALES Y CORTANTES BASALES DIAFRAGMA SEMI RÍGIDO - ESTRUCTURA 2 FINAL	43
TABLA 25.	RESULTADOS DE IRREGULARIDAD POR ESQUINA ENTRANTE – ESTRUCTURA 3	44

TABLA 26.	RESULTADOS DE IRREGULARIDAD TORSIONAL EN X – ESTRUCTURA 3	44
TABLA 27.	RESULTADOS DE IRREGULARIDAD TORSIONAL EN Y – ESTRUCTURA 3	45
TABLA 28.	DERIVAS MÁXIMAS INELÁSTICAS – ESTRUCTURA 3 INICIAL.....	46
TABLA 29.	PERIODOS TRASLACIONALES Y CORTANTES BASALES DIAFRAGMA RÍGIDO - ESTRUCTURA 3 INICIAL	46
TABLA 30.	VALORES PARA LA PROPUESTA - ESTRUCTURA 3	48
TABLA 31.	VALORES PARA EL CRITERIO DE LA ASCE – ESTRUCTURA 3.....	48
TABLA 32.	DERIVAS MÁXIMAS INELÁSTICAS – ESTRUCTURA 3 FINAL.....	49
TABLA 33.	PERIODOS TRASLACIONALES Y CORTANTES BASALES DIAFRAGMA SEMI RÍGIDO - ESTRUCTURA 3 FINAL	49
TABLA 34.	RESULTADOS DE LA RELACIÓN $\Delta MDD/\Delta V$ PARA LAS DIVERSAS ESTRUCTURAS ANALIZADAS.....	50
TABLA 35.	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA DERIVA MÁXIMA INELÁSTICA CONSIDERANDO DIAFRAGMA RÍGIDO Y SEMI RÍGIDO	51
TABLA 36.	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS PERIODOS FUNDAMENTALES CONSIDERANDO DIAFRAGMA RÍGIDO Y SEMI RÍGIDO	51
TABLA 37.	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS CORTANTES BASALES CONSIDERANDO DIAFRAGMA RÍGIDO Y SEMI RÍGIDO	51

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1.</i>	COMPORTAMIENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE DEL DIAFRAGMA. TOMADO DE “ <i>FUNDAMENTOS PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN ESTABLECIMIENTOS DE SALUD</i> ”, POR LA ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD Y ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2000.....	5
<i>FIGURA 2.</i>	ELEMENTOS DEL DIAFRAGMA FLEXIBLE. TOMADO DE “ <i>ASCE 7-16: MINIMUM DESIGN LOADS AND ASSOCIATED CRITERIA FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES</i> ”, POR LA AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 2017.....	6
<i>FIGURA 3.</i>	DESPLAZAMIENTO FLEXIBLE. TOMADO DE “EUROCÓDIGO 8: PROYECTO DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES- PARTE 1: REGLAS GENERALES, ACCIONES SÍSMICAS Y REGLAS PARA EDIFICACIÓN”, POR COMITÉ EUROPEO PARA LA ESTANDARIZACIÓN, 2004....	8
<i>FIGURA 4.</i>	ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO. ELABORACIÓN PROPIA.....	16
<i>FIGURA 5.</i>	ESTRUCTURA DE UN SOLO NIVEL. TOMADO DEL “ <i>CURSO DE INGENIERÍA ANTISÍSMICA</i> ”, POR G. J. F. LOA, 2020.	18
<i>FIGURA 6.</i>	ESTRUCTURA DE UN SOLO NIVEL. TOMADO DEL “ <i>CURSO DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL 2</i> ”, POR W. SILVA, 2017.....	19
<i>FIGURA 7.</i>	ELEMENTO DEFORMADO ANTE CARGAS LATERALES. TOMADO DEL “ <i>CURSO DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL 2</i> ”, POR W. SILVA, 2017.	20
<i>FIGURA 8.</i>	ESTRUCTURA CON MUROS A LOS EXTREMOS. ELABORACIÓN PROPIA.....	21
<i>FIGURA 9.</i>	ELEMENTOS TIPO MEMBRANA Y SHELL. ELABORACIÓN PROPIA.	22
<i>FIGURA 10.</i>	VISA EN PLANTA DE UNA ESTRUCTURA ARBITRARIA. ELABORACIÓN PROPIA. .	23
<i>FIGURA 11.</i>	TABLA “ <i>STORY MAX OVER AVG DRIFTS</i> ”. EXTRAÍDO DEL SOFTWARE ETABS....	24
<i>FIGURA 12.</i>	REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS VARIABLES PARA ANÁLISIS EN X EN PLANTA. ELABORACIÓN PROPIA.....	27
<i>FIGURA 13.</i>	CONDICIÓN BI-EMPOTRADA. ADAPTADO DE “ <i>ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN 2</i> ”, POR O. GIRALDO, UNIVERSIDAD DE COLOMBIA, 2003.....	28
<i>FIGURA 14.</i>	VISTA EN 3D (IZQUIERDA) Y VISTA EN PLANTA (DERECHA) - ESTRUCTURA 1. EXTRAÍDO DE ETABS.....	30
<i>FIGURA 15.</i>	DERIVAS INELÁSTICAS DIAFRAGMA RÍGIDO EN LA DIRECCIÓN X E Y - ESTRUCTURA 1 INICIAL. EXTRAÍDO DE ETABS.	33

<i>FIGURA 16.</i>	DIMENSIONES ACOTADAS - ESTRUCTURA 1. ADAPTADO DE ETABS.....	34
<i>FIGURA 17.</i>	PLANTA EXTRAÍDA – ESTRUCTURA 1. EXTRAÍDO DE ETABS.	35
<i>FIGURA 18.</i>	DERIVAS INELÁSTICAS DIAFRAGMA SEMI RÍGIDO EN LA DIRECCIÓN X E Y - ESTRUCTURA 1 FINAL. EXTRAÍDO DE ETABS.	36
<i>FIGURA 19.</i>	VISTA EN 3D (IZQUIERDA) Y VISTA EN PLANTA (DERECHA) - ESTRUCTURA 2. EXTRAÍDO DE ETABS.....	37
<i>FIGURA 20.</i>	DERIVAS INELÁSTICAS DIAFRAGMA RÍGIDO EN LA DIRECCIÓN X E Y - ESTRUCTURA 2 INICIAL. EXTRAÍDO DE ETABS.	40
<i>FIGURA 21.</i>	DIMENSIONES ACOTADAS – ESTRUCTURA 2. ADAPTADO DE ETABS.	41
<i>FIGURA 22.</i>	PLANTA EXTRAÍDA - ESTRUCTURA 3. EXTRAÍDO DE ETABS.	42
<i>FIGURA 23.</i>	DERIVAS INELÁSTICAS DIAFRAGMA SEMI RÍGIDO EN LA DIRECCIÓN X E Y - ESTRUCTURA 2 FINAL. EXTRAÍDO DE ETABS.	43
<i>FIGURA 24.</i>	VISTA EN 3D (IZQUIERDA) Y VISTA EN PLANTA (DERECHA) - ESTRUCTURA 3. EXTRAÍDO DE ETABS.....	44
<i>FIGURA 25.</i>	DERIVAS INELÁSTICAS DIAFRAGMA RÍGIDO EN LA DIRECCIÓN X E Y - ESTRUCTURA 3 INICIAL. EXTRAÍDO DE ETABS.	46
<i>FIGURA 26.</i>	DIMENSIONES ACOTADAS – ESTRUCTURA 3. ADAPTADO DE ETABS.	47
<i>FIGURA 27.</i>	PLANTA EXTRAÍDA – ESTRUCTURA 3. EXTRAÍDO DE ETABS.	48
<i>FIGURA 28.</i>	DERIVAS INELÁSTICAS DIAFRAGMA RÍGIDO EN LA DIRECCIÓN X E Y - ESTRUCTURA 3 FINAL. EXTRAÍDO DE ETABS.	49

1. PLANEAMIENTO

1.1. Introducción

En la práctica, los diafragmas rígidos son frecuentemente aplicados a los modelos computacionales cuando se desea realizar un diseño sismorresistente debido al menor gasto de proceso que se realiza al considerar un número menor de grados de libertad. Sin embargo, no deja de ser una idealización tomada en cuenta para facilitar el proceso de diseño.

Las estructuras con plantas irregulares, con esquinas a 90°, como las formas de “C”, “L” o “T”, al tener una concentración alta de esfuerzos en sus esquinas, podrían ser estimadas con un diafragma flexible. Considerando que la rigidez o flexibilidad del diafragma permite realizar una distribución de las cargas laterales en una estructura dependiendo de la rigidez de los elementos o por área tributaria, respectivamente, es importante definir correctamente los casos en los que sí se puede aceptar la aplicación de un diafragma rígido.

1.2. Justificación

La inclusión de losas en la modelación de la estructura, su diseño y detallado del refuerzo son importantes y, por ende, la correcta elección del tipo de diafragma. Un ejemplo incorrecto de la elección de un tipo de diafragma es presentado por Jimenez (2017), quien estipula que modelar un diafragma rígido únicamente bajo cargas gravitacionales puede terminar generando un comportamiento flexible en la losa e inconsistencias.

Además, la modelación incorrecta de estos diafragmas rígidos o flexibles ante las cargas de sismo es la causante de un inadecuado análisis porque estas cargas no pueden ser transmitidas correctamente a los elementos verticales a través de las losas, pese a que satisfagan la función de un sistema de piso solo por cargas gravitacionales (Tena, Chinchilla & Juárez, 2013). Ello se debe a que la transmisión de cargas laterales en diafragmas rígidos es proporcional a la rigidez de los elementos verticales y, en aquellos flexibles, es proporcional al área tributaria de la losa.

Estas incompatibilidades provocan que los sistemas de piso presenten deformaciones considerables y, puedan originar poca fiabilidad y resultados de diseño inadecuados para un análisis convencional (Muñoz, 2020). Por ello, es de suma importancia tener en cuenta diversas consideraciones, al diseñar, para determinar cuándo un diafragma es rígido o flexible, a partir de las cuales se podrían obtener resultados más coherentes y seguros.

1.3. Alcance y limitaciones

El proyecto de investigación tiene como alcance el realizar una revisión bibliográfica de la normativa internacional con respecto a distintos criterios diferenciadores de diafragmas rígidos y flexibles. Con base en ello, se evaluó el criterio diferenciador, más adecuado, entre diafragmas encontrados. A su vez, se utilizó un modelo en el software ETABS de una planta regular de un solo nivel, a fin de definir un criterio que permita diferenciar entre un diafragma rígido y flexible para la norma E.030.

El proyecto de investigación tuvo como limitación el comprender diafragmas tipo losa de concreto armado.

1.4. Objetivos e hipótesis

Objetivo General: Revisar la normativa internacional y presentar una propuesta para determinar cuándo un diafragma puede ser considerado rígido y cuándo flexible.

Objetivos Específicos:

- Examinar las distintas normativas de la revisión bibliográfica y extraer el criterio más conveniente de diferenciación entre los diafragmas rígidos y flexibles.
- Presentar un criterio para la norma E.030 que defina la flexibilidad de un diafragma, en base al modelamiento en ETABS de una edificación regular de una planta.
- Presentar diferencias tras la aplicación de un diafragma rígido, comparado con uno flexible, en una edificación modelada en ETABS.

A su vez, como hipótesis se plantea que la propuesta de diferenciación entre diagramas rígidos y flexibles resulta ser útil y es validada mediante su aplicación en estructuras de concreto armado con losas macizas. Además, se afirma que las irregularidades torsionales acentúan la flexibilidad de los diafragmas.



2. MARCO TEÓRICO

2.1. Diafragmas

De acuerdo al Comité ACI 318 (2005), los diafragmas son elementos estructurales (tales como pisos y cubiertas) que cumplen algunas o todas las siguientes funciones:

- Apoyar los elementos de la edificación como muros, tabiques y fachadas, que resisten fuerzas horizontales, pero que no actúan como parte del sistema vertical que resiste a fuerzas laterales.
- Transferir las fuerzas laterales desde el punto de aplicación al sistema vertical de la edificación.
- Interconectar los diferentes componentes del sistema vertical con la adecuada resistencia, rigidez y tenacidad de modo que la edificación actúe de acuerdo al diseño.

Por su parte, según el COVENIN 1756 (Comisión Venezolana de Normas Industriales [COVENIN], 2001), se denomina diafragma a aquella parte de la estructura, usualmente horizontal, con suficiente rigidez en su plano, cuyo diseño permite transmitir las fuerzas a los elementos verticales del sistema resistente a sismos.

Un diafragma rígido es aquel que transmite movimientos de un cuerpo rígido sin deformarse axialmente o flexionarse ante cargas contenidas en su plano. Por otro lado, un diafragma flexible se flexiona ante dichas cargas, lo que provoca una pérdida de la compatibilidad de desplazamientos laterales en los muros (Chinchilla, 2012).

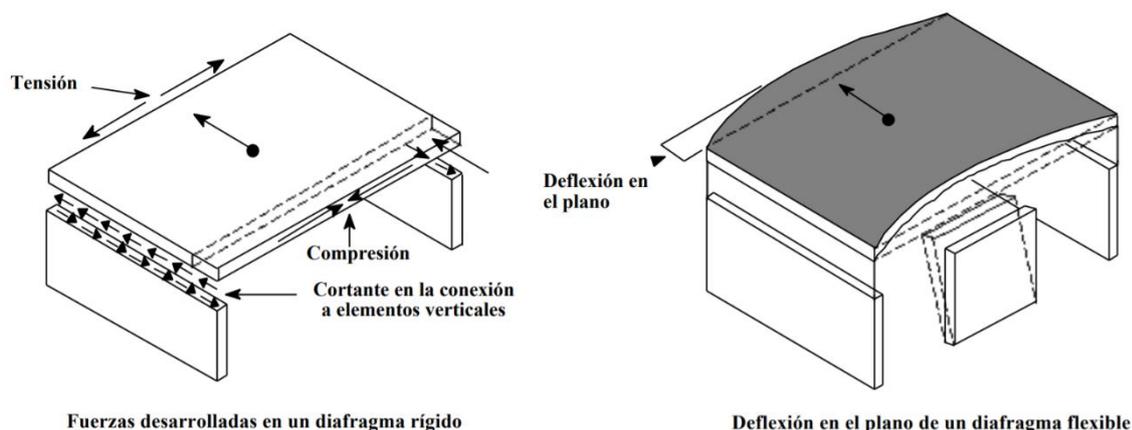


Figura 1. Comportamiento rígido y flexible del diafragma. Tomado de “*Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*”, por la Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud, 2000.

2.2. Clasificación según Normas Internacionales

2.2.1. ASCE 7-16 (USA)

De acuerdo con la ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineers [ASCE], 2017), en el artículo 12.3.1, los diafragmas rígidos son aquellos que poseen relaciones de luz:profundidad de 1:3 o menos en estructuras sin irregularidades horizontales. Por otro lado, los diafragmas pueden ser considerados flexibles si cumplen las siguientes condiciones:

- En estructuras donde los elementos verticales son pórticos arriostrados de acero; armazones arriostrados compuestos de acero y hormigón; o muros de corte compuestos de hormigón, mampostería, acero o acero y hormigón.
- En viviendas unifamiliares y bifamiliares.
- En estructuras ligeras donde no se colocan cubiertas de hormigón sobre diafragmas de paneles estructurales de madera, excepto para las capas superiores no estructurales menores a 38 mm de espesor.

Así mismo, los diafragmas que no cumplan con lo mencionado líneas arriba podrán idealizarse como flexibles si se cumple lo siguiente:

$$\frac{\delta_{MDD}}{\Delta_{ADVE}} > 2$$

Donde δ_{MDD} significa deflexión máxima del diafragma y, Δ_{ADVE} , promedio de derivas de los elementos verticales. Ambas variables se muestran en la figura X.

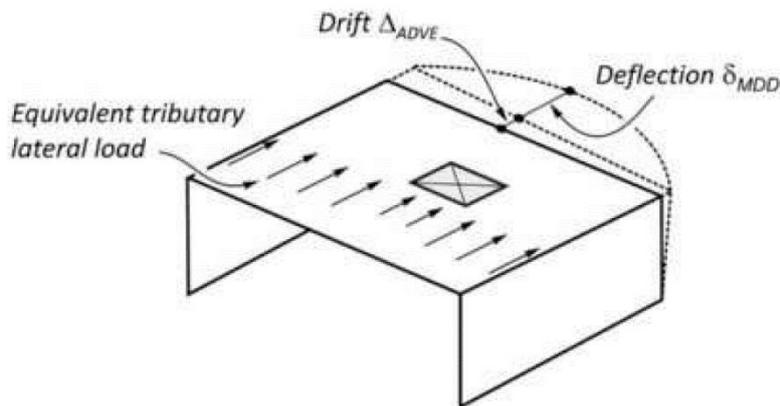


Figura 2. Elementos del diafragma flexible. Tomado de “ASCE 7-16: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures”, por la American Society of Civil Engineers, 2017.

2.2.2. NTC - Diseño por Sismo (México)

De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias (NTC) (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2017), en el artículo 2.7.1, un diafragma rígido se define como uno cuya máxima deflexión lateral en su plano es menor que 0.5 veces la deformación lateral promedio de los elementos verticales del entrepiso ubicado inmediatamente por debajo del diafragma. Así mismo, indica que también se considerará diafragma rígido en aquellos sistemas estructurales cuyo sistema de piso esté estructurado en losas de concreto que en planta poseen una relación de largo a ancho menor o igual a 4, y que cumplan los requisitos siguientes requisitos:

- En planta, no tiene entrantes ni salientes que sean mayores al 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección de la entrante o saliente.

- El sistema de piso no tiene aberturas que en algún nivel excedan el 20 por ciento de su área en planta en dicho nivel, y las áreas huecas no difieren en posición de un piso a otro. Se exime de este requisito la azotea de la construcción.

2.2.3. INPRES - CIRSOC 103 (Argentina)

De acuerdo con el reglamento INPRES-CIRSOC 103 (Instituto Nacional de Prevención Sísmica et al., 2018), se considera diafragma rígido a aquel que cumplan simultáneamente:

- Tiene forma de polígono convexo y se puede inscribir en un rectángulo de relación de lados máxima 1:3.
- Presenta entrantes, en formas L, T, H, E u otros, con dimensiones menores al 25% de la longitud del lado paralelo del rectángulo que circunscribe la planta. En construcciones de hasta 3 niveles el límite se extiende al 30%.
- Sus huecos o perforaciones como patios, escaleras, ascensores, etc., tienen las siguientes condiciones: (1) Área máxima de la suma de los huecos es 1/10 del área de la planta. (2) La dimensión sumada de todos los huecos máxima en una dirección es 1/3 de la dimensión de la planta en esa dirección. (3) Cualquier hueco está separado de los bordes de la planta o de otros huecos como mínimo 1/4 de la dimensión de la planta en esa dirección. (4) Dos o más huecos separados entre sí menos de 1/6 de la dimensión paralela de la planta o 1/2 de la dimensión del hueco menor serán considerados una única perforación.

Por otro lado, esta norma considera un diafragma totalmente flexible si la máxima deflexión horizontal propia excede el doble del promedio de los desplazamientos relativos (del nivel) de los dos elementos verticales que menos se desplazan.

2.2.4. NSR – 10 (Colombia)

Según la NSR-10 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), se considera diafragma flexible, cuando la máxima deflexión horizontal dentro del diafragma, bajo cargas sísmicas, es más de 2 veces el promedio de sus deflexiones horizontales.

Además, menciona que el diafragma puede suponerse rígido en su propio plano cuando se dispone su rigidez y su resistencia de tal manera que éste actúe como una unidad y sus propiedades de masa y de rigidez se puedan concentrar en el centro de masa y en el centro de rigidez respectivamente.

2.2.5. EHE-08 (España)

Un diafragma puede considerarse infinitamente rígido en su plano, siempre que la relación entre la dimensión mayor y menor del mismo en planta sea igual o menor a 4. La norma (Ministerio de Fomento, 2010) estipula que, si esta relación no se cumple, en toda la losa o en una región de esta, se requerirá hacer un análisis más detallado sobre la deformabilidad del mismo y sus efectos en el reparto de acción sísmica a los elementos primarios.

2.2.6. Eurocódigo 8 (Unión Europea)

Según el Eurocódigo 8 (Comité técnico CTN 140 Eurocódigos estructurales, 2018) un diafragma se considera rígido si los desplazamientos horizontales resultantes del modelo de dicho diafragma con flexibilidad en el plano, en ninguna parte son mayores que del 10% de los desplazamientos horizontales resultantes de la suposición del modelo con diafragma rígido.

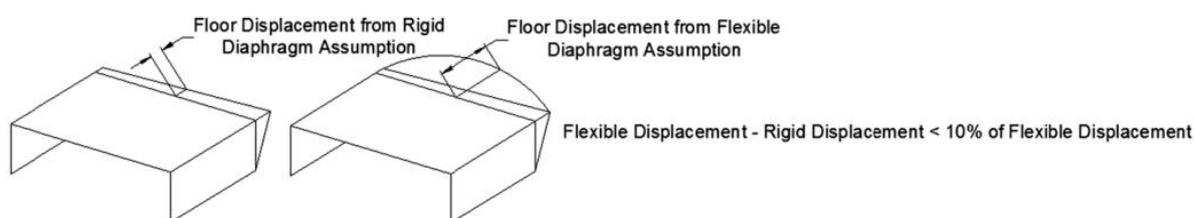


Figura 3. Desplazamiento flexible. Tomado de “Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes- Parte 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación”, por Comité Europeo para la Estandarización, 2004.

2.2.7. IS 1893 (India)

De acuerdo con la presente norma (Bureau of Indian Standards, 2002), un diafragma debería ser considerado flexible si se deforma de tal manera que el máximo desplazamiento

lateral medido desde la cuerda de la forma deformada, en cualquier punto de dicho diafragma, es mayor a 1.5 veces el desplazamiento promedio del diafragma completo.

A su vez, se puede denominar diafragma rígido a aquellos pisos losa-viga monolíticos de concreto reforzado o los conformados por elementos prefabricados o pre vaciados, con sus debidas soleras reforzadas.

2.2.8. COVENIN 1756 (Venezuela)

Esta norma, considera al diafragma flexible como una irregularidad en planta, cuyas características se presentan a continuación (COVENIN, 2001).

- Cuando la rigidez en su plano sea menor a la de una losa similar de concreto armado de espesor igual a 4 cm y con una relación largo/ancho no mayor a 4.5.
- Cuando una cantidad significativa de plantas posea entrantes cuya menor longitud superen el 40% de la dimensión del menor rectángulo que inscribe a dicha planta, medida en dirección paralela a la entrante. O, por otro lado, cuando el área de dichas entrantes excede el 30% del área del mismo rectángulo circunscrito.
- Cuando las plantas de la estructura presentan un área total de aberturas internas que excedan el 20% del área bruta de las plantas.
- Cuando se presenten aberturas preponderantes continuas a planos sismorresistentes importantes o, en general, cuando no se presenten conexiones apropiadas con ellos.
- Cuando en alguna planta, el resultado de la relación largo/ancho del menor rectángulo que inscriba a dicha planta supere el valor de 5.

Por su parte, se establece la característica de indeformabilidad a los diafragmas rígidos. Asimismo, se los considera como aquellos capaces de transmitir en su plano las fuerzas laterales que se obtienen al aplicar distintos métodos mencionados en dicha norma venezolana, pero sin ser menor a 0.15 veces el peso del piso o del techo.

2.2.9. FEMA 273 (USA)

La presente norma (Building Seismic Safety Council, 1997) indica que los diafragmas se considerarán flexibles cuando la deformación lateral máxima del diafragma a lo largo de su longitud sea más del doble de la deriva promedio entre pisos del piso inmediatamente debajo del diafragma. Para los diafragmas sostenidos por las paredes del sótano, se puede usar la deriva entre pisos promedio del piso por encima del diafragma en lugar del piso del sótano. Los diafragmas se considerarán rígidos cuando la deformación lateral máxima del diafragma sea menos de la mitad de la deriva entre pisos promedio del piso asociado.

2.2.10. UBC 1994 (USA)

Los diafragmas se considerarán flexibles a los efectos de la distribución del esfuerzo cortante y del momento de torsión cuando la deformación lateral máxima del diafragma sea más del doble de la deriva promedio del piso asociado. Ello puede determinarse comparando la deflexión en el plano del punto medio calculada del diafragma mismo bajo carga lateral con la deriva del piso de elementos contiguos resistentes a la vertical bajo carga lateral tributaria equivalente (International Conference of Building Officials, 1994).

El presente trabajo de investigación no incluyó alguna normativa nacional que permita la distinción entre diafragma flexible y rígido, ya que no se encontró ninguna en las normas estructurales vigentes. Por ende, se abarcó únicamente una revisión literaria internacional-

2.3. Casos de estudio

A nivel global, se han realizado diversas investigaciones en torno a la identificación de los diafragmas rígidos y flexibles en edificaciones de concreto armado. Entre las que se pueden mencionar se encuentra el artículo de Tena, Chinchilla y Juárez (2013), quienes diseñaron modelos tipo de edificios de viviendas y oficinas, en los cuales se evaluaron distintos sistemas de piso usados en México. Entre las características asignadas, se puede indicar que, para los

edificios de viviendas, se consideraron luces de seis metros en ambas direcciones y se asumió condiciones de apoyo empotradas.

Con el fin de evaluar el comportamiento del diafragma, los autores variaron la relación de aspecto de la planta para viviendas (1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5 y 4). Entre sus resultados, se observó que la flexibilidad lateral se acentuó a partir de relaciones de aspecto en planta mayores a 3. Además, según la propuesta de la ASCE-7 (2017), se estimó que todos los sistemas de piso para vivienda eran diafragmas rígidos; sin embargo, se concluyó que este índice no puede determinar si un diafragma es rígido, semi-rígido o semi-flexible y, por ende, no es útil para clasificar a los sistemas de piso del estudio.

Otros autores como Nandeesh et. al (2018) también se enfocaron en identificar las diferencias entre los diafragmas rígidos y flexibles, con la discrepancia respecto a la investigación anterior en que emplearon 3 sistemas estructurales: pórticos, muros cortantes en X y muros cortantes en Y. En general, modelaron una edificación de 30 pisos de 3m de entrepiso, con un espesor de losa de 12.5m, factor de reducción de 5 y para dos zonas distintas, tipo II y V.

Entre sus resultados se obtuvo un desplazamiento alto para los diafragmas rígidos y un riesgo a deflexión durante un terremoto, en comparación al flexible. Ello mismo se cumplió para la estructura aporticada en comparación con las demás. Por otro lado, respecto a las derivas, los diafragmas flexibles poseyeron menores derivas respecto a aquellos rígidos y, esta comparación fue la misma para los pórticos en relación con los muros de corte. En cuanto a rigidez, el diafragma de piso flexible proporcionó más rigidez a la edificación que el diafragma rígido. Finalmente, la cortante de piso dependió principalmente del tipo de suelo y el diafragma de piso flexible tuvo menos cortante de piso respecto al diafragma de piso rígido, tanto para estructuras aporticadas como para las de muro de corte.

Asimismo, la investigación de Vielma y Mulder (2015) estudió un grupo de 7 tipos de edificios bajos, entre los cuales se apreció uno con plantas regulares sin entrantes, otros con formas H y otros, formas U. Un par de estas edificaciones, con grandes entrantes, se clasificaron como irregulares según la COVENIN (2001) y se analizaron como diafragmas flexibles; el resto, rígidos. Las edificaciones fueron de tres niveles con 3m de entrepiso, cuyas plantas poseyeron tres vanos en cada dirección de 6m cada uno. Las losas fueron macizas de 15cm de espesor y, se estableció una zona sísmica 5 y suelo S2.

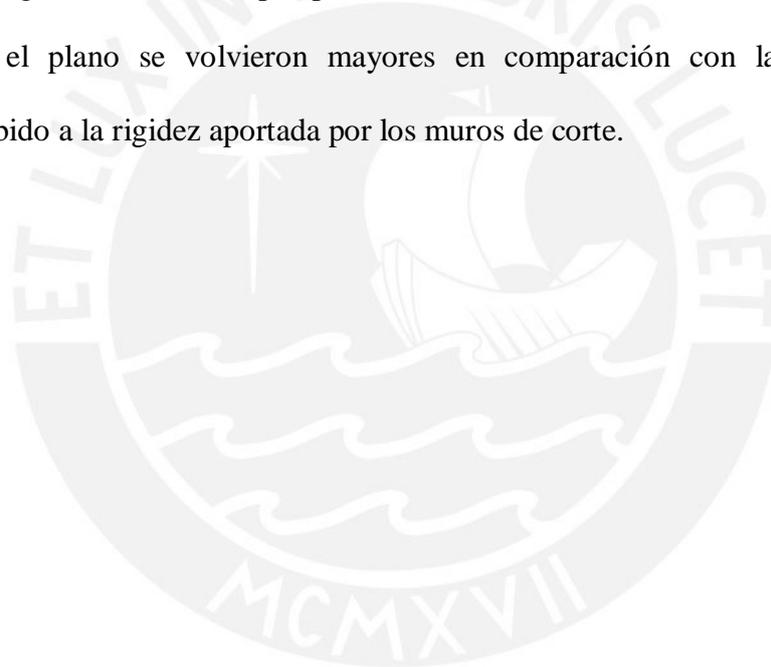
Entre sus resultados se observó que los diafragmas rígidos alcanzaron cortantes basales menores a las esperadas y que sus derivas fueron superiores a las que se obtuvieron en los diafragmas flexibles. Por ello, los autores confirmaron la tendencia de otras Normas actuales en exigir un análisis con diafragma flexible para irregularidades en edificios menos severas en comparación con la Norma Sismorresistente Venezolana.

Por su parte, Jimenez (2017) buscó entender el comportamiento estructural de los elementos tipo *Shell* y membrana del ETABS, así como de las suposiciones de diafragma rígido o flexible. Para ello, se aplicó una fuerza lateral a un modelo de 4 columnas con vigas perimetrales de sección cuadrada y una losa de 20 cm de espesor, la cual se varió entre tipo membrana o *Shell*. Asimismo, para las comparaciones entre diafragma rígido y flexible se tuvieron estructuras con valores de relaciones en planta por encima y debajo de 3.

Se obtuvo que el modelo con membrana generó un periodo menor, conllevando a una estructura más flexible con desplazamientos mayores respecto a una losa tipo *Shell*. No obstante, el autor concluyó que emplear combinaciones diafragma rígido-*Shell* y diafragma flexible-membrana sería erróneo, ya que un diafragma rígido posee deformaciones por fuera y en el plano comparables a los de una losa tipo membrana. Por ende, dichos conceptos deberían entenderse de forma separada.

Algunos modelos de diafragmas se evaluaron en laboratorios, como la investigación de Halici et al (2018). Ellos propusieron evaluar el comportamiento, según la ASCE 7-16 (ASCE, 2017), ante cargas laterales sísmicas, de pisos de concreto celular autoclavados (AAC), el cual consiste en un material de peso ligero, económico y de energía eficiente. Los especímenes ensayados consistieron en 5 paneles de AAC asentados sobre vigas de concreto reforzado.

Entre sus resultados se concluyó que estos tipos de pisos pueden ser idealizados como diafragma rígido, en dirección paralela y perpendicular a los paneles. Sin embargo, si bien cumplieron fácilmente con los criterios de la ASCE 7-16 (ASCE, 2017), apenas lo hicieron según el Eurocódigo 8 (Comité Europeo para la Estandarización, 2004). Ello se debió a que las deflexiones en el plano se volvieron mayores en comparación con las deformaciones horizontales, debido a la rigidez aportada por los muros de corte.



3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

El desarrollo de la presente investigación posee un enfoque cuantitativo, el cual se caracteriza por un proceso secuencial y probatorio, donde cada etapa antecede a la siguiente y no está permitido evadir algún paso. Asimismo, la recolección de datos, de representación numérica, se basa en la medición de variables (Hernández et al., 2014).

Además, posee una metodología experimental por la manipulación intencional de variables independientes para analizar cuáles serían sus consecuencias dentro de un determinado caso. Dentro de esta metodología, se clasifica a la presente investigación como aquella del tipo cuasi-experimental, ya que los casos a analizar fueron previamente establecidos y no de manera aleatoria (Chácara, 2020)

3.2. Metodología

ETAPA 1: Elección entre criterios

Se revisaron distintas propuestas de normas internacionales de diseño sismorresistente, con el fin de seleccionar aquel que sea más conveniente en la diferenciación entre los diafragmas rígidos y flexibles.

ETAPA 2: Presentación de propuesta

Con el criterio elegido, se modeló una edificación de una planta en el software ETABS. Ello con el objetivo de establecer una propuesta geométrica que permita diferenciar entre diafragmas rígidos y flexibles.

Características del modelo a analizar:

- Aceleración básica de diseño: 0,40g
- Suelo tipo: S1
- Sistema de Muros (R=1, por ser espectro elástico)
- Nivel de entepiso: 4 m

- Concreto $f_c=210 \text{ kgf/cm}^2$

ETAPA 3: Estudio de la propuesta en edificaciones

Se evaluó la propuesta planteada en tres edificaciones modeladas en el software ETABS. A partir de ello, se analizaron los resultados tras aplicar diafragmas flexibles, frente a aquellos que inicialmente habían sido obtenidos tras ser considerados como rígidos.

Características de los modelos a analizar:

- Zona sísmica: Z4
- Aceleración básica de diseño: 0,45g
- Suelo tipo: S1
- Sistema de Muros (R=6)
- Número de pisos: 6
- Nivel de entrepiso: 3 m
- Espesor de losa: 18 cm, modelado como membrana
- Espesor de muro: 25 cm, modelado como Shell thin y mallas de 5x5
- Vigas de 25x50 cm y 25x55 cm
- Columnas de 50x50 cm
- Asignación de cargas únicamente a las losas. En los niveles 1 al 5, una carga viva de 0.2 ton/m^2 y una sobrecarga de 0.3 ton/m^2 . En la azotea, una carga viva de 0.1 ton/m^2 y una sobrecarga de 0.1 ton/m^2 .
- Concreto $f_c=210 \text{ kgf/cm}^2$
- Espectro de diseño elástico (figura X)

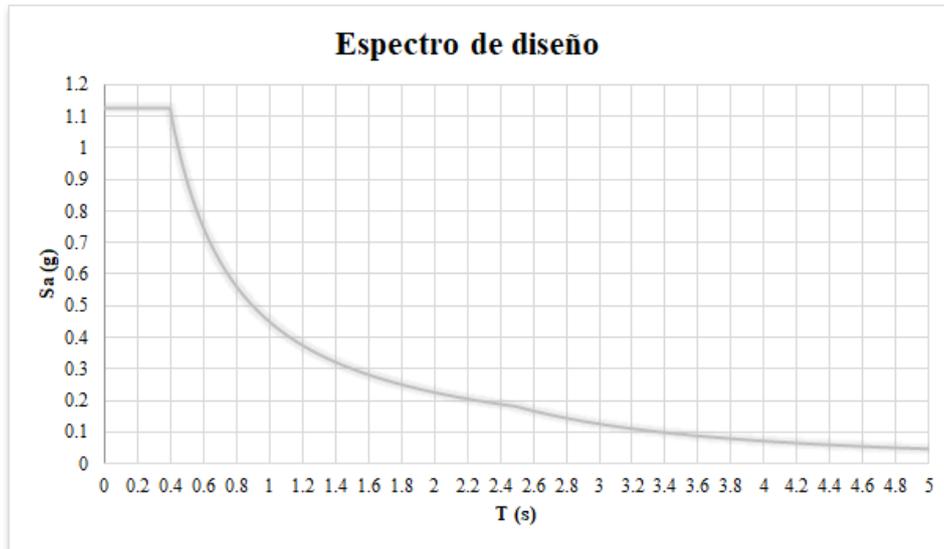
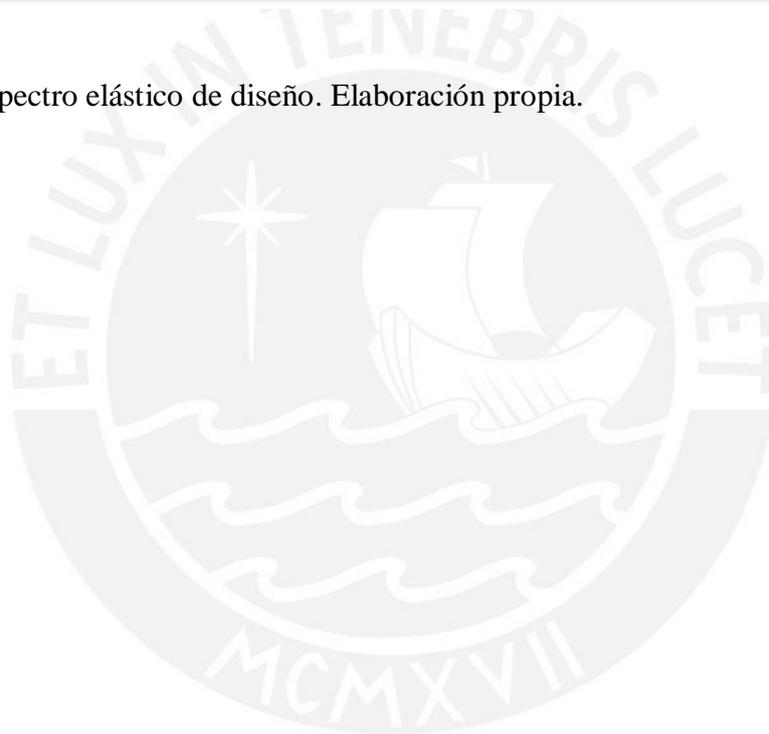


Figura 4. Espectro elástico de diseño. Elaboración propia.



4. DESARROLLO METODOLÓGICO

4.1. Evaluación y elección del criterio

Se revisaron las distintas propuestas de normas internacionales de diseño sismorresistente expuestas anteriormente, con el objetivo de seleccionar un criterio que permita diferenciar un diafragma rígido de uno flexible en modelos numéricos computacionales. El criterio seleccionado sirve como guía para generar una propuesta que sea aplicable en la norma peruana E.030.

Procedimiento

De las diez normas de diseño sismorresistente presentadas en el marco teórico, siete de ellas solicitan realizar el cálculo de la relación entre la máxima deformación horizontal del diafragma y el desplazamiento relativo promedio de entrepiso, el cual se mide con los elementos verticales. El ASCE 7-16 es la más reciente de las que comparten esa característica y es el código propuesto por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles.

Pese a existir diferencias de los requisitos y lineamientos entre la norma peruana y la norma estadounidense para el diseño sismorresistente, la filosofía de análisis es la misma. La norma peruana y otras normas latinoamericanas indican la creación de un espectro de aceleraciones de diseño, el cual tiene un factor de reducción que es afectado por irregularidades, definidas según el código correspondiente. Dicho procedimiento es el mismo que el indicado en la norma ASCE; además, de acuerdo con el ingeniero Jorge Durán, las normas de diseño sismorresistente latinoamericanas tienen como principal fuente y referencia a los códigos estadounidense (Durán, 2017). Por lo tanto, se empleará como fundamento teórico el criterio de relación de desplazamientos establecida por el ASCE 7 para poder incorporar un criterio que sea compatible con la norma E.030.

4.2. Presentación de propuesta

Para presentar la propuesta, se realizaron diferentes ensayos computacionales en el software ETABS de CSI. Con el criterio elegido, se modeló una edificación de una planta; es decir, de 1 solo nivel. Ello con el objetivo de establecer una propuesta geométrica que permita diferenciar entre diafragmas rígidos y flexibles. Se busca definir un límite para la relación entre la longitud de los elementos verticales más rígidos y la dimensión más grande de la losa continua.

Los elementos estructurales que proporcionan rigidez lateral en las estructuras de concreto armado son los pórticos de columnas y vigas y los muros estructurales. Para definir al más rígido o al que aporta mayor rigidez lateral a la estructura, se debe hacer una comparación cuantitativa. La figura 5, mostrada a continuación, presenta un ejemplo de una estructura de un solo nivel conformada por muros y pórticos que permite realizar dicha comparación.

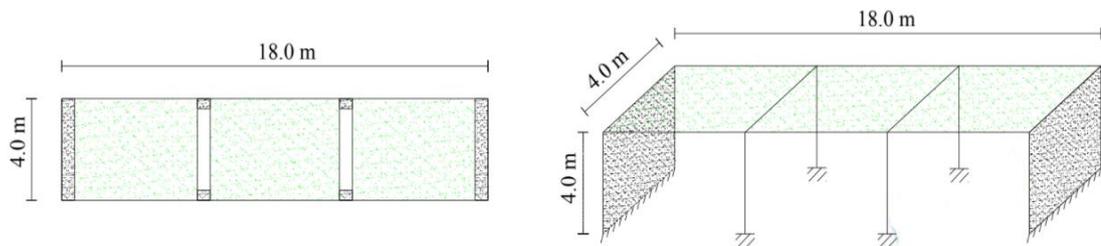


Figura 5. Estructura de un solo nivel. Tomado del “curso de Ingeniería Antisísmica”, por G. J. F. Loa, 2020.

La losa conforma un diafragma rígido, asunción que es la que se propone discutir, y las características geométricas y del material son las siguientes:

- Concreto $f'_c=280 \text{ kgf/cm}^2$ ($E_c=2.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ y $v=0.15$)
- Columnas de 50x50 cm

- Muros de 25 cm de espesor
- Altura de la estructura = 4m
- Dimensiones en planta = 18x4 m

Para el cálculo de la rigidez de los pórticos, se asume que las columnas se encuentran bi-empotradas en los extremos. Cabe resaltar que, al trabajar con un diafragma rígido, los pórticos de columnas y vigas intermedios se consideran como “tipo corte”; es decir, las vigas se asumen como infinitamente rígidas por corte y solo se consideran las deformaciones por flexión de las columnas. La figura 6 muestra la deformación ante cargas laterales para los pórticos intermedios, así como la expresión sugerida para el cálculo de la rigidez lateral.

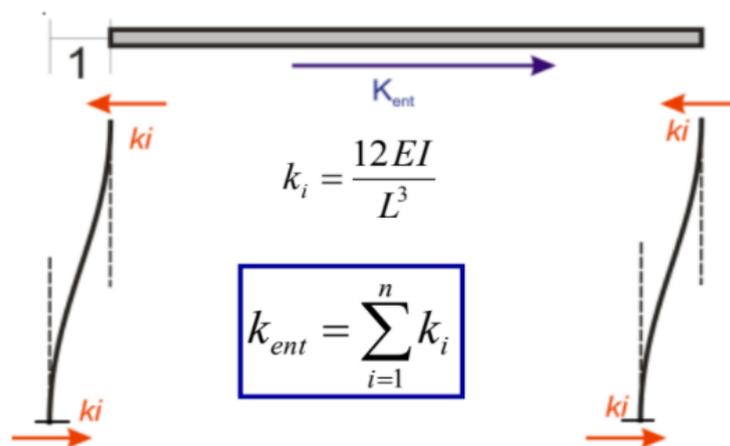


Figura 6. Estructura de un solo nivel. Tomado del “curso de Análisis estructural 2”, por W. Silva, 2017.

$$K_{port} = 2 * k_{col} = \frac{2 * 12 * \left(2.5 \frac{kgf}{cm^2}\right) * \frac{(50 cm)^4}{12}}{(4 m)^3} = 4882.813 \frac{tonf}{m}$$

Para el cálculo de la rigidez lateral de los muros se considera un comportamiento en volado. Se consideran las deformaciones por flexión y por corte ya que se considera un elemento bidimensional de gran área. La figura 7 muestra la deformada ante cargas laterales, así como la expresión para calcular el desplazamiento lateral para una carga arbitraria “P”. Para

el cálculo de la rigidez lateral, el desplazamiento se vuelve unitario y se calcula dicha carga “P” que lo genera.

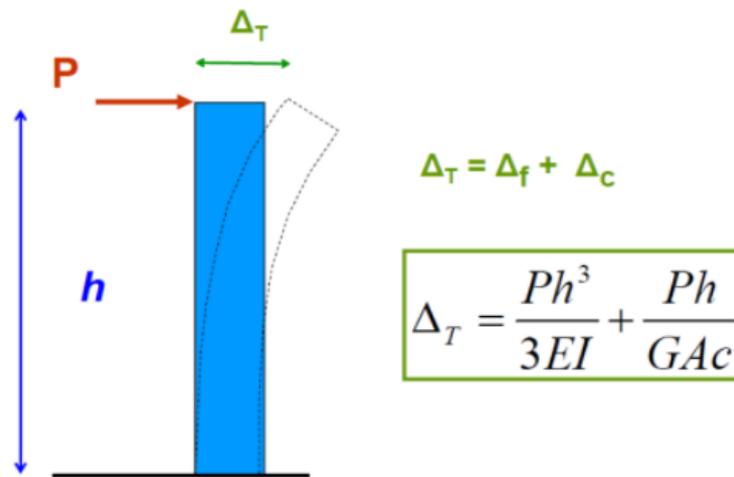


Figura 7. Elemento deformado ante cargas laterales. Tomado del “curso de Análisis estructural 2”, por W. Silva, 2017.

$$F_{muro_flexión} = \frac{(4\text{ m})^3}{3 * 2.5 * 10^5 \frac{kgf}{cm^2} * \frac{25\text{ cm} * (4\text{ m})^3}{12}} = 5.333 * 10^{-6} \frac{m}{tonf}$$

$$F_{muro_corte} = \frac{4\text{ m}}{\frac{2.5 * 10^5}{2 * (1 + 0.15)} * \frac{kgf}{cm^2} * \frac{25\text{ cm} * 4\text{ m}}{1.2}} = 3.680 * 10^{-6} \frac{m}{tonf}$$

$$K_{muro} = (F_{muro_flexión} + F_{muro_corte})^{-1} = 110946.746 \frac{tonf}{m}$$

La rigidez lateral de los muros representa 22,722 veces la que aportan los pórticos intermedios. A partir de esta relación, se puede considerar que los muros son los elementos estructurales que definen el máximo desplazamiento que puede tener el diafragma. Por lo tanto, para el criterio que se plantea incorporar, únicamente se considerará la mayor distancia presente en una planta entre los muros estructurales, despreciando así la presencia de pórticos intermedios por su baja rigidez.

A partir de dicha consideración, se realizaron diferentes modelos de calibración para poder proponer un criterio en función a la relación entre la mayor distancia entre muros y la longitud de los mismos. El modelo numérico en ETABS consideró únicamente la losa de entrepiso y los muros en los extremos (Figura 8). Es importante aclarar que el estudio se realizó empleando losas macizas únicamente; por lo tanto, una estructura que incorpore losas nervadas en una o dos direcciones no forma parte del alcance del presente estudio y la definición del tipo de diafragma correspondiente deberá ser estudiada con métodos más precisos que consideren el efecto de la presencia de los nervios o viguetas.

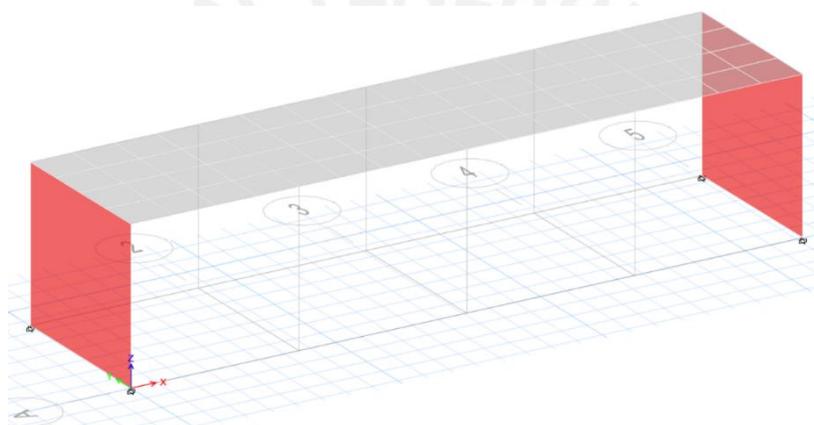


Figura 8. Estructura con muros a los extremos. Elaboración propia.

Los cálculos realizados por el software se sustentan con el método de elementos finitos. Para emplear dicho método, ETABS ofrece principalmente 3 formas para representar a los elementos tipo área: membranas, cascarones delgados y cascarones gruesos, los cuales se pueden comparar en la figura 9. Las losas, así como los muros de las múltiples estructuras, fueron modeladas en el software como elementos tipo cascarón (*Shell*). Dichos elementos generan 6 grados de libertad por nodo y, son generalmente usados para modelar losas o muros, debido justamente a la diversidad de grados (Jimenez, 2017). Además, es preciso aclarar que se utilizó cascarón grueso (o *Shell-thick* en inglés), el cual sigue la formulación de Mindlin / Reissner para el método de elementos finitos, la cual considera las deformaciones por corte. Se optó por este criterio de modelado ya que una cáscara gruesa considera las deformaciones por

corte, a diferencia de una cáscara delgada, lo cual permite representar con mayor precisión el comportamiento real de una estructura.

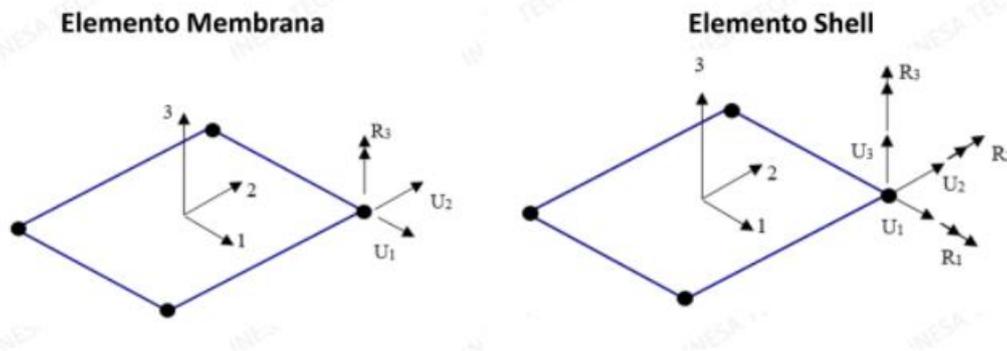


Figura 9. Elementos tipo membrana y Shell. Elaboración propia.

Especificado el criterio elegido para representar a los elementos en el software, se presentan las constantes consideradas para emplear el método de los elementos finitos, las cuales implican únicamente el tipo de malla empleado o la forma de subdividir a los elementos:

- Muros: Malla de 4x4; es decir, dividir el muro en 16 rectángulos iguales
- Losas: Malla de 1x 1m; es decir, dividir la losa en rectángulos de 1x1 m

Modelada la estructura, se establece el peso del diafragma aplicando una carga repartida uniformemente en la losa, la cual permite definir la fuente de masa. Posteriormente, se somete a la estructura a una aceleración en la base, la cual permitirá obtener una respuesta a desplazamientos laterales. Mediante un reporte del software, se calcula la relación entre la máxima deformación horizontal del diafragma ($dMDD$) la deriva promedio de entrepiso ($DADVE$).

La relación entre dimensiones que permita identificar un diafragma rígido se obtuvo a partir de un proceso iterativo, donde se varió la distancia entre muros y el espesor de la losa. La distancia entre los muros varió desde 3 hasta 8 veces la longitud de los mismos, los espesores de losas trabajados fueron 15cm, 20cm, 25cm, 30cm y 40 cm. Por otra parte, la longitud y

espesor de los muros, así como la resistencia del concreto y la carga repartida en la losa, se mantuvieron constantes.

De este modo, las constantes geométricas y de cargas aplicadas para todos los modelos elaborados en este estudio fueron las siguientes:

- Muros de 4m de longitud y 25 cm de espesor
- Nivel de entrepiso: 4 m
- Concreto $f'c=210$ kgf/cm²
- Aceleración de diseño en la base: 0,40g
- Peso por unidad de área: 2.5 tonf/m²

A continuación, se presenta la vista en planta de una de las estructuras evaluadas (Figura 10). La relación entre la dimensión de la losa perpendicular a la orientación del muro y la longitud de los mismos es igual a 3; además, el espesor de la losa era de 40 cm.

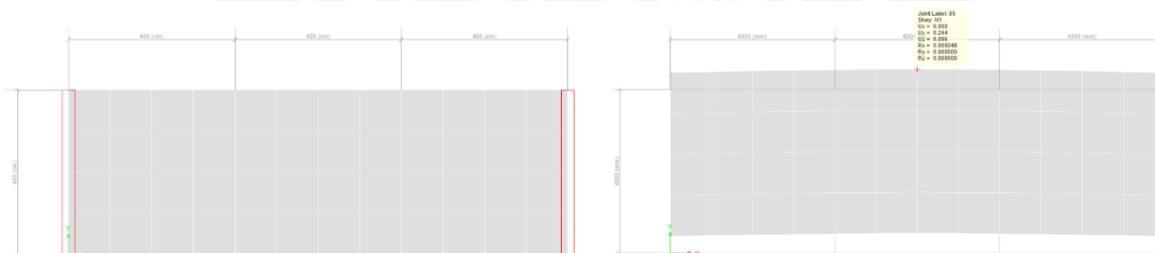


Figura 10. Vista en planta de una estructura arbitraria. Elaboración propia.

Tras someterla a la aceleración basal especificada, se obtuvo una máxima deflexión horizontal del diafragma (o *MDD* por sus siglas en inglés) igual a 0,244 mm como se puede apreciar en la figura 10. El desplazamiento relativo promedio de entrepiso (o *ADVE* por sus siglas en inglés) se obtiene a través de la tabla “Story Max Over Avg Drifts” que proporciona el programa ETABS (Figura 11). La relación $dMDD/DADVE$ para este ejemplo es de 1,179;

por lo tanto, se considera que para la relación 3:1 para losas de 40cm de espesor el diafragma evaluado es rígido.

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Avg Drift mm
N1	Sy	Combination	Max	Y	0.207
N1	Sy	Combination	Min	Y	0.207

Figura 11. Tabla “Story Max Over Avg Drifts”. Extraído del software ETABS.

De la misma manera se analiza el comportamiento para relaciones de 3.5:1 hasta 8:1 empleando las losas macizas de espesor 40. Se presenta la siguiente tabla resumen (Tabla 1), de la cual se puede concluir que no se alcanza la relación necesaria para poder afirmar que el diafragma sea considerado flexible.

Se presentan las tablas resumen (Tabla 2, 3, 4 y 5) para los diferentes espesores de losa analizada.

Tabla 1. Resultados para un espesor de losa $h = 40\text{cm}$

L/B	ΔAVDE (cm)	δMDD (cm)	$\delta\text{MDD}/\Delta\text{AVDE}$
3.0	0.0207	0.0244	1.179
3.5	0.0241	0.0292	1.212
4.0	0.0275	0.0342	1.244
4.5	0.0309	0.0395	1.278
5.0	0.0343	0.0450	1.312
5.5	0.0377	0.0506	1.342
6.0	0.0411	0.0565	1.375
6.5	0.0445	0.0627	1.409
7.0	0.0479	0.0690	1.441
7.5	0.0512	0.0754	1.473
8.0	0.0545	0.0824	1.512

Nota: Elaboración propia

Tabla 2. Resultados para un espesor de losa $h = 30\text{cm}$

L/B	ΔAVDE (cm)	δMDD (cm)	$\delta\text{MDD}/\Delta\text{AVDE}$
3.0	0.0206	0.0258	1.252
3.5	0.0240	0.0311	1.296
4.0	0.0274	0.0367	1.339
4.5	0.0308	0.0426	1.383
5.0	0.0342	0.0488	1.427
5.5	0.0376	0.0552	1.468
6.0	0.0410	0.0620	1.512
6.5	0.0443	0.0690	1.558
7.0	0.0476	0.0763	1.603
7.5	0.0500	0.0839	1.678
8.0	0.0542	0.0919	1.696

Nota: Elaboración propia

Tabla 3. Resultados para un espesor de losa $h = 25\text{cm}$

L/B	ΔAVDE (cm)	δMDD (cm)	$\delta\text{MDD}/\Delta\text{AVDE}$
3.0	0.0206	0.0270	1.311
3.5	0.024	0.0327	1.363
4.0	0.0274	0.0386	1.409
4.5	0.0308	0.045	1.461
5.0	0.0342	0.0517	1.512
5.5	0.0376	0.0587	1.561
6.0	0.0408	0.0670	1.642
6.5	0.0442	0.0739	1.672
7.0	0.0475	0.082	1.726
7.5	0.0507	0.0904	1.783
8.0	0.0540	0.0993	1.839

Nota: Elaboración propia

Tabla 4. Resultados para un espesor de losa $h = 20\text{cm}$

L/B	ΔAVDE (cm)	δMDD (cm)	$\delta\text{MDD}/\Delta\text{AVDE}$
3.0	0.0207	0.0283	1.367
3.5	0.0241	0.0346	1.436
4.0	0.0274	0.0412	1.504
4.5	0.0308	0.0483	1.568
5.0	0.0341	0.0559	1.639
5.5	0.0374	0.0638	1.706
6.0	0.0407	0.0723	1.776
6.5	0.0440	0.0812	1.845
7.0	0.0473	0.0905	1.913
7.5	0.0505	0.1001	1.982
8.0	0.0537	0.1104	2.056

Nota: Elaboración propia

Tabla 5. Resultados para un espesor de losa $h = 15\text{cm}$

L/B	ΔAVDE (cm)	δMDD (cm)	$\delta\text{MDD}/\Delta\text{AVDE}$
3.0	0.0206	0.0309	1.500
3.5	0.0240	0.0382	1.592
4.0	0.0273	0.0459	1.681
4.5	0.0306	0.0542	1.771
5.0	0.0339	0.0632	1.864
5.5	0.0371	0.0727	1.960
6.0	0.0404	0.0827	2.047
6.5	0.0436	0.0935	2.144
7.0	0.0468	0.1048	2.239
7.5	0.0499	0.1165	2.335
8.0	0.0531	0.1290	2.429

Nota: Elaboración propia

De los resultados expuestos, se observa que la relación límite especificada por el ASCE 7-16 se alcanza cuando la longitud de la losa es 8 veces la longitud de los muros para losas macizas de 20 cm; para losas de 15 cm de espesor, dicha relación se alcanza cuando la longitud de la losa es 6 veces la longitud de los muros. Además, para losas macizas con espesores mayores o iguales a 25 cm la relación entre longitud de losa y longitud de muros que permite cumplir con el criterio del ASCE 7-16 es mayor a 8.

4.2.1. Propuesta tentativa

Por lo tanto, se presenta como un inciso propuesto tentativo para la norma E-030 lo siguiente: “En estructuras de concreto armado con un sistema de piso de losas macizas, se debe medir la mayor distancia entre muros estructurales para ambas direcciones de análisis, a la cual se le llama La . Además, la relación entre La y la longitud del muro en la dirección de análisis perpendicular a la distancia medida se denomina re .

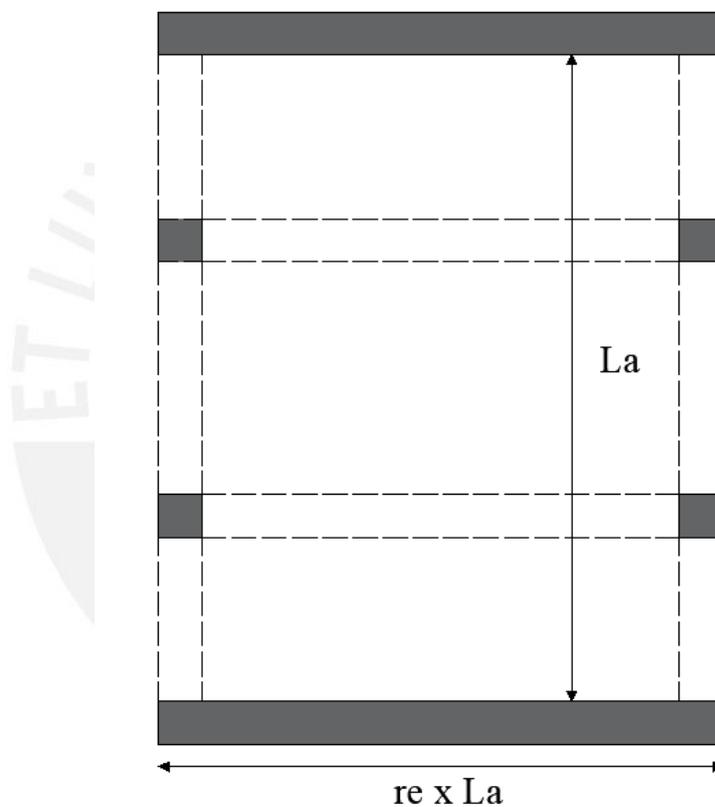


Figura 12. Representación gráfica de las variables para análisis en X en planta. Elaboración propia.

Si re es mayor a 6 para losas macizas de espesor 15cm o, mayor a 8 para losas macizas de espesor 20cm, se debe analizar un modelo más refinado de un solo entrepiso. Para casos intermedios, se debe realizar una interpolación lineal y obtener re redondeando al menor entero

más cercano. Para losas macizas con espesor mayor o igual a 25cm, el análisis del tipo de diafragma es opcional. Ello se aprecia en la tabla 6.

Tabla 6. Relación mínima para distintos espesores de losa

Espesor (cm)	re mín
15	6
18	7
20	8
25	Análisis opcional

Nota: Elaboración propia

El análisis más refinado señalado anteriormente debe considerar un solo entrepiso considerando los elementos verticales empotrados en los extremos superior e inferior. Además, las losas deben modelarse considerando la rigidez a flexión en su plano obligatoriamente. Si se desea, se pueden considerar las aberturas (debido a los ductos) en la planta.

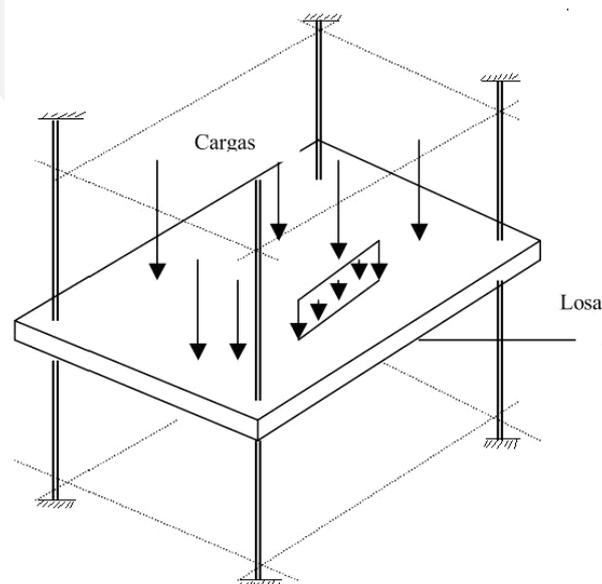


Figura 13. Condición bi-empotrada. Adaptado de “Estructuras de hormigón 2”, por O. Giraldo, Universidad de Colombia, 2003.

En el modelo del entrepiso, se debe asignar las mismas cargas laterales que en el modelo numérico original. Tras aplicarlas, se considera el criterio del ASCE 7-16; por lo tanto, si se obtiene una relación entre máxima deformación horizontal del diafragma y el desplazamiento relativo promedio mayor a 2, por lo menos en una dirección de análisis, el tipo de diafragma no puede ser considerado como rígido en el modelo numérico original.”

4.3. Evaluación de la propuesta en edificaciones

Luego de obtener una propuesta que permita diferenciar la asignación de un diafragma rígido, frente a uno flexible, se decidió aplicarla a tres edificaciones que poseían distintas irregularidades en planta. Para ello, se modelaron en el software ETABS, tres edificios de 6 niveles cada uno; una en forma de “C”, otra en forma de “L” y, la última en forma de “T”. Cada una de ellas tuvo que cumplir con lo estipulado por la norma de diseño sismorresistente peruana E.030 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2019).

Entre las irregularidades en planta, se consideró la irregularidad por esquina entrante porque en estas esquinas se generan grandes esfuerzos tras someter la estructura a cargas laterales por sismo, acentuándose para ángulos de 90°. Por otro lado, se analizó también la irregularidad torsional, ya que este criterio posee la misma relación expresada en la ASCE 7-16 para la discrepancia entre diafragma rígido y flexible (ASCE, 2017). Según la Norma Técnica E.030, se halla irregularidad por torsión cuando el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo de la edificación es mayor que 1,3 veces el desplazamiento promedio relativo de los extremos del mismo edificio, para cualquier dirección y teniendo en cuenta la excentricidad accidental (MVCS,2019). Por ello, cuando se encuentra este tipo de irregularidad, el ratio alcanza un valor de 1,3 y, cuando se procede a realizar la planta refinada, dicha división aumenta, aproximándose al valor de 2 estipulado por la ASCE.

Estructura 1

A continuación, se detalla el procedimiento seguido para la primera estructura, observada en la figura 14. Ésta estructura tipo “C” poseyó dimensiones de losas de 4.5x4.5m y 7.5x4.5m

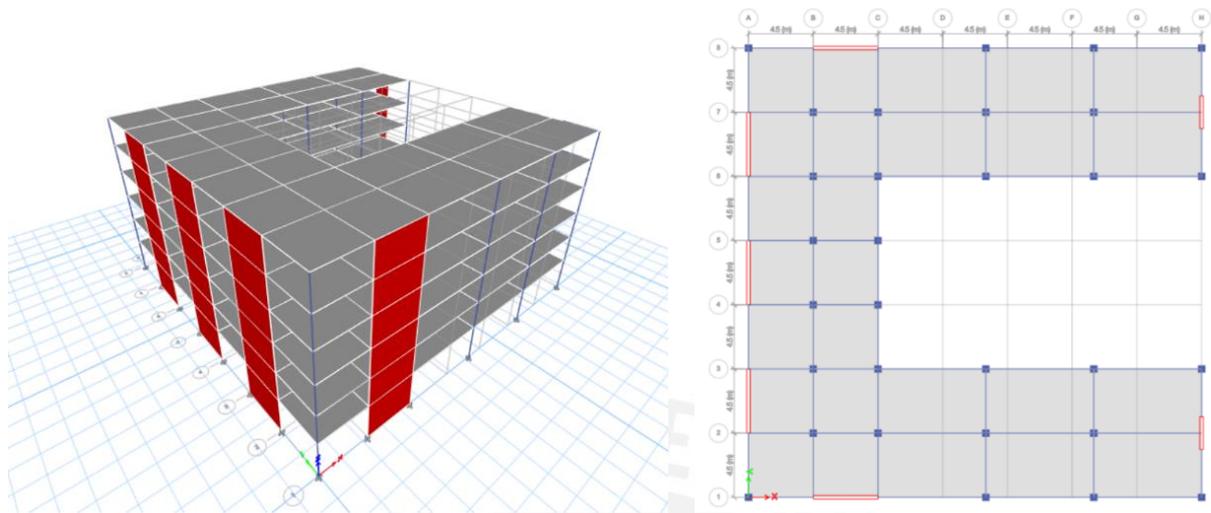


Figura 14. Vista en 3D (Izquierda) y vista en planta (derecha) - Estructura 1. Extraído de ETABS

En primer lugar, se analizaron las irregularidades en planta. Ello se debió al posible factor influyente de las irregularidades en relación a la ratio expresado en la ASCE 7-16 (ASCE, 2017), lo cual se desea corroborar en la presente investigación. Para ello, se aplicó el análisis del caso sismo-dinámico espectral con tres variantes para las dos direcciones de análisis: mediante la consideración de la excentricidad accidental positiva y negativa del 5% en el diafragma y, sin considerarla.

Irregularidad por esquina entrante

Los resultados de irregularidad por esquina entrante se aprecian en la tabla 7. Se observa que se cumplió con dicha irregularidad en ambas direcciones, por lo que se puede considerar como irregular.

Tabla 7. Resultados de irregularidad por esquina entrante – Estructura 1

	Dimensión de la entrante (m)	Largo total (m)	Condición de irregularidad
En dirección X	22.5	31.5	SI
En dirección Y	13.5	31.5	SI

Nota. Elaboración propia

Irregularidad torsional

Se analizó la irregularidad torsional en ambas direcciones, considerando las tres variantes del sismo dinámico previamente descritas. Los resultados se aprecian en las tablas 8 y 9. A partir de ello, se puede afirmar que existe irregularidad torsional para el caso dirección Y.

Tabla 8. Resultados de irregularidad torsional en X – Estructura 1

En dirección X						
Piso	Caso	Δ_{max} (m)	Δ_{prom} (m)	Condición $\Delta_{max} > 0.5 * \Delta_{prom}$	Ratio $\Delta_{max} / \Delta_{prom}$	Condición de irregularidad
Story6	Sismo dinámico X	0.00402	0.00402	SÍ	1.000	NO
	Sismo dinámico X+	0.00439	0.00391	SÍ	1.122	NO
	Sismo dinámico X-	0.00439	0.00391	SÍ	1.122	NO
Story5	Sismo dinámico X	0.00445	0.00445	SÍ	1.000	NO
	Sismo dinámico X+	0.00486	0.00434	SÍ	1.122	NO
	Sismo dinámico X-	0.00486	0.00434	SÍ	1.122	NO
Story4	Sismo dinámico X	0.00461	0.00461	SÍ	1.000	NO
	Sismo dinámico X+	0.00505	0.00450	SÍ	1.123	NO
	Sismo dinámico X-	0.00505	0.00450	SÍ	1.123	NO
Story3	Sismo dinámico X	0.00443	0.00443	SÍ	1.000	NO
	Sismo dinámico X+	0.00486	0.00432	SÍ	1.125	NO
	Sismo dinámico X-	0.00486	0.00432	SÍ	1.125	NO
Story2	Sismo dinámico X	0.00371	0.00371	SÍ	1.000	NO
	Sismo dinámico X+	0.00407	0.00362	SÍ	1.126	NO
	Sismo dinámico X-	0.00407	0.00362	SÍ	1.126	NO
Story1	Sismo dinámico X	0.00244	0.00244	NO	1.000	NO
	Sismo dinámico X+	0.00268	0.00238	SÍ	1.123	NO
	Sismo dinámico X-	0.00268	0.00238	SÍ	1.123	NO

Nota. Elaboración propia

Tabla 9. Resultados de irregularidad torsional en Y – Estructura 1

En dirección Y						
Piso	Caso	Δ_{max} (m)	Δ_{prom} (m)	Condición $\Delta_{max} > 0.5 * \Delta_{prom}$	Ratio $\Delta_{max}/\Delta_{prom}$	Condición de irregularidad
Story6	Sismo dinámico Y	0.00388	0.00305	SÍ	1.273	NO
	Sismo dinámico Y+	0.00392	0.00303	SÍ	1.295	NO
	Sismo dinámico Y-	0.00380	0.00307	SÍ	1.238	NO
Story5	Sismo dinámico Y	0.00452	0.00347	SÍ	1.300	NO
	Sismo dinámico Y+	0.00455	0.00345	SÍ	1.320	SI
	Sismo dinámico Y-	0.00444	0.00351	SÍ	1.266	NO
Story4	Sismo dinámico Y	0.00496	0.00375	SÍ	1.324	SI
	Sismo dinámico Y+	0.00499	0.00371	SÍ	1.344	SI
	Sismo dinámico Y-	0.00490	0.00378	SÍ	1.297	NO
Story3	Sismo dinámico Y	0.00502	0.00372	SÍ	1.351	SI
	Sismo dinámico Y+	0.00504	0.00369	SÍ	1.365	SI
	Sismo dinámico Y-	0.00497	0.00374	SÍ	1.329	SI
Story2	Sismo dinámico Y	0.00440	0.00319	SÍ	1.381	SI
	Sismo dinámico Y+	0.00442	0.00317	SÍ	1.395	SI
	Sismo dinámico Y-	0.00437	0.00322	SÍ	1.358	SI
Story1	Sismo dinámico Y	0.00296	0.00211	SÍ	1.404	SI
	Sismo dinámico Y+	0.00297	0.00209	SÍ	1.418	SI
	Sismo dinámico Y-	0.00294	0.00213	SÍ	1.380	SI

Nota. Elaboración propia

Finalmente, en base a lo descrito líneas arriba, se definió la estructura como irregular por torsión y esquina entrante. Por ello, el factor de R igual a 6 es multiplicado por un índice de 0,75, con lo cual se obtiene un R final de 4,5, el cual divide al espectro elástico. Cabe resaltar que, dado que es una estructura irregular, los desplazamientos elásticos son afectados por un factor de 0,85R para obtener la respuesta inelástica equivalente.

Seguidamente, se evaluaron las derivas de entrepiso, con el objetivo de corroborar que no se supere el límite máximo definido por la E.030 (MVCS, 2019), de valor igual a 7 %. A continuación, se presentan la figura 15 que muestra las derivas de los niveles y, tabla 10, que presenta los valores máximos de derivas, proporcionados por el software ETABS.

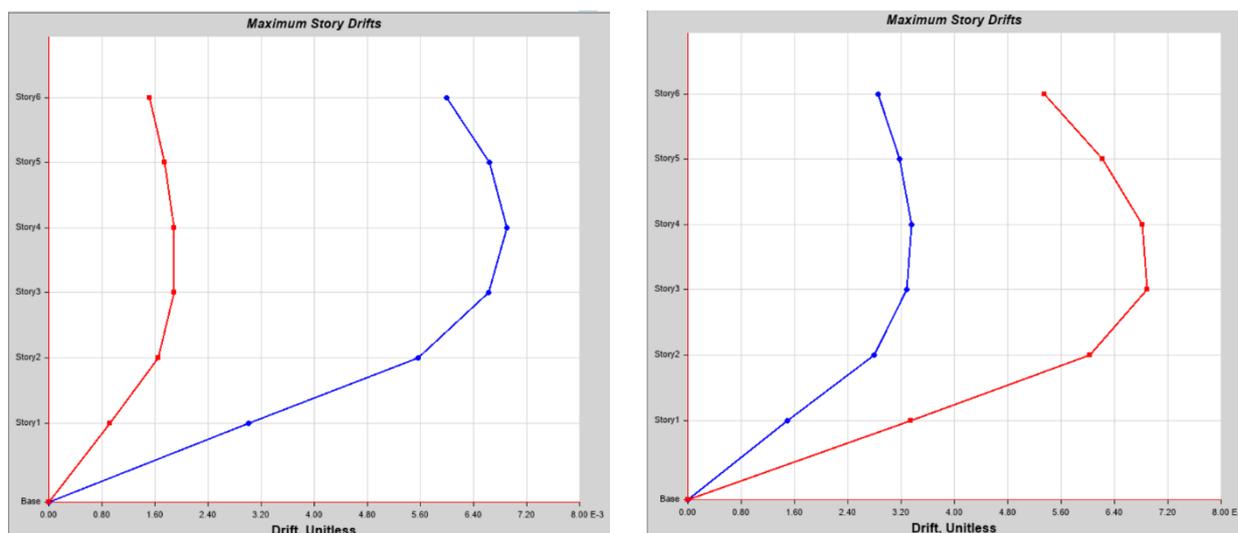


Figura 15. Derivas inelásticas diafragma rígido en la dirección X e Y - Estructura 1 inicial. Extraído de ETABS.

Tabla 10. Derivas inelásticas máximas – Estructura 1 inicial

	Deriva máxima	Límite	Cumple
En dirección X	0.006884	0.007	SI
En dirección Y	0.006898	0.007	SI

Nota. Elaboración propia

Los resultados de las derivas demuestran que cumplen, ya que se encuentran por debajo del límite propuesto por la Norma Técnica E.030 para ambas direcciones. Por ende, la estructura está preparada para el diseño. Asimismo, se determinó el periodo traslacional en X y en Y, con el cual se realizó el cálculo para determinar el cortante basal estático. El resultado de la cortante basal se dejó en función del peso del edificio, tal y como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Periodos traslacionales y cortantes basales diafragma rígido - Estructura 1 inicial

Sismo	X	Y
T (s)	0.656	0.512
C	1.524	1.953
R ₀	6	6
I _a	1	
I _p	0.75	
R	4.5	4.5
V _{basal} (ton)	0.1524 x P	0.1953 x P

Nota. Elaboración propia

Además, de verificar las condiciones dispuestas por la Norma Técnica, se evaluó la propuesta de diferenciación entre diafragma rígido y flexible, descrita en la Sección 3.3.2. Ella menciona que, acorde a una interpolación para un espesor de losa de 18 cm (el criterio brinda un rango entre 15 a 20 cm), se debe emplear una relación de aspecto 7 a 1. Para la figura 16, el valor de L_a corresponde a 31,5m para las dos direcciones, por ser la mayor distancia entre los muros estructurales, en la dirección de análisis. Asimismo, la longitud del elemento estructural más rígido, perpendicular a dicha dirección analizada, es de 4,5m. En la tabla 12, se aprecia la variable r_e , es decir, la relación de L_a con esta longitud del muro, cuyo valor es de 7 para ambas direcciones, con lo que se cumple el criterio.

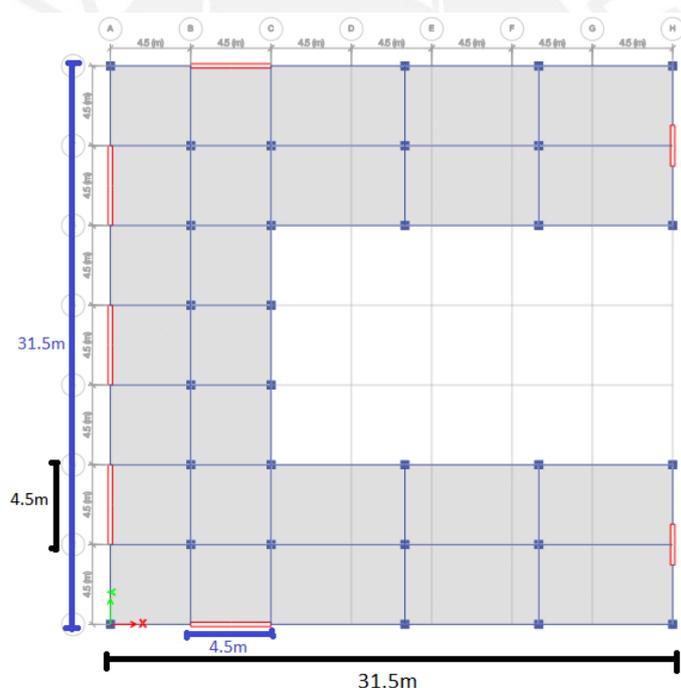


Figura 16. Dimensiones acotadas - Estructura 1. Adaptado de ETABS.

Tabla 12. Valores para la propuesta – Estructura 1

	L_a (m)	r_e (m)	Cumple
En dirección X	31.5	7	SI
En dirección Y	31.5	7	SI

Nota. Elaboración propia

Para lograr ello, se extrajo la planta del primer piso y se modeló únicamente como una planta doblemente empotrada, con la aplicación del mismo espectro de la edificación completa. Asimismo, se asignó una losa tipo Shell por la posibilidad de realizar un análisis por elementos finitos; es decir, poseer un mayor control de desplazamientos en ETABS. Por último, el tamaño del mallado de este tipo de losa fue de 5x5. La figura 17 muestra dicha planta extraída.

Imagen

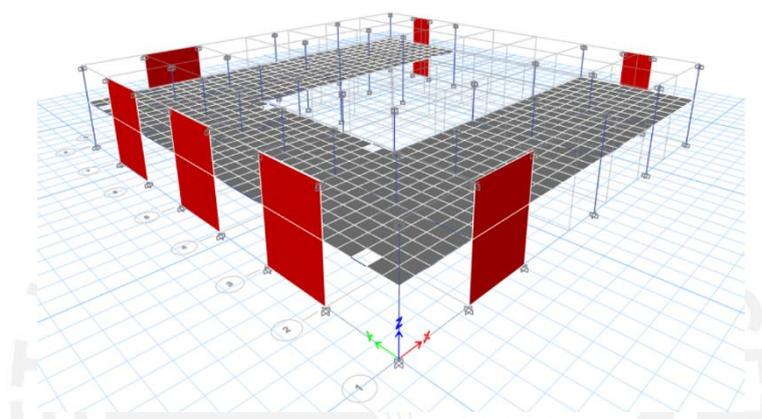


Figura 17. Planta extraída – Estructura 1. Extraído de ETABS.

A partir de la planta refinada, se evaluó el criterio escogido de la revisión bibliográfica para la diferenciación entre diafragma rígido y flexible. La tabla 13 que resume de los resultados se aprecia a continuación.

Tabla 13. Valores según el criterio de la ASCE – Estructura 1

	δMDD	$\Delta ADVE$	$\delta MDD/\Delta ADVE$
En dirección X	0.000286	0.000172	1.66
En dirección Y	0.000303	0.000164	1.85

Nota. Elaboración propia

Como se puede apreciar, los valores no cumplen con el criterio de la ASCE 7-16 (ASCE, 2017); sin embargo, no son distantes a él. Por esta razón, se implementó a la estructura diafragmas flexibles en cada uno de sus niveles. Ello a fin de observar cuánto varían los resultados en término de desplazamientos, primordialmente. Finalmente, se muestran los

resultados de sus derivas (figura 18 y tabla 14), periodos traslacionales y cortantes basales estáticas en ambas direcciones de análisis (tabla 15).

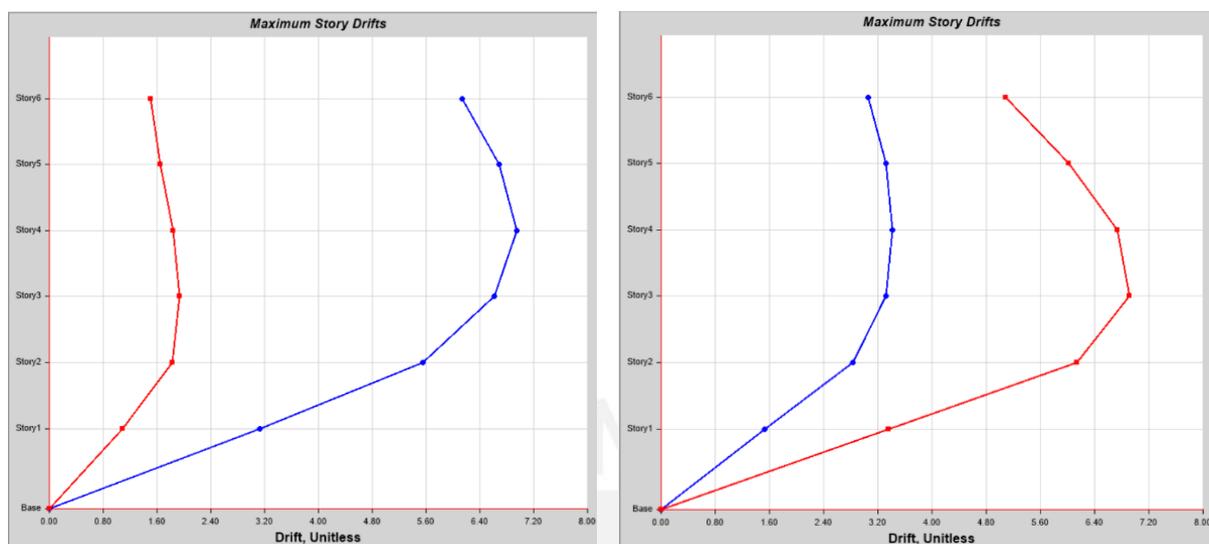


Figura 18. Derivas inelásticas diafragma semi rígido en la dirección X e Y - Estructura 1 final. Extraído de ETABS.

Tabla 14. Derivas máximas inelásticas – Estructura 1 final

	Deriva máxima	Límite	Cumple
En dirección X	0.006946	0.007	SI
En dirección Y	0.006915	0.007	SI

Nota: Elaboración propia

Tabla 15. Periodos traslacionales y cortantes basales diafragma semi rígido Estructura 1 final

Sismo	X	Y
T (s)	0.658	0.515
C	1.520	1.942
R ₀	6	6
I _a		1
I _p		0.75
R	4.5	4.5
V _{basal} (ton)	0.1520 x P	0.1942 x P

Nota: Elaboración propia

Estructura 2

Por su parte, la segunda estructura tuvo forma de “L”, como se observa en la figura 19. Las dimensiones de sus losas fueron de 4.5x4.5m y 7.5x4.5m.

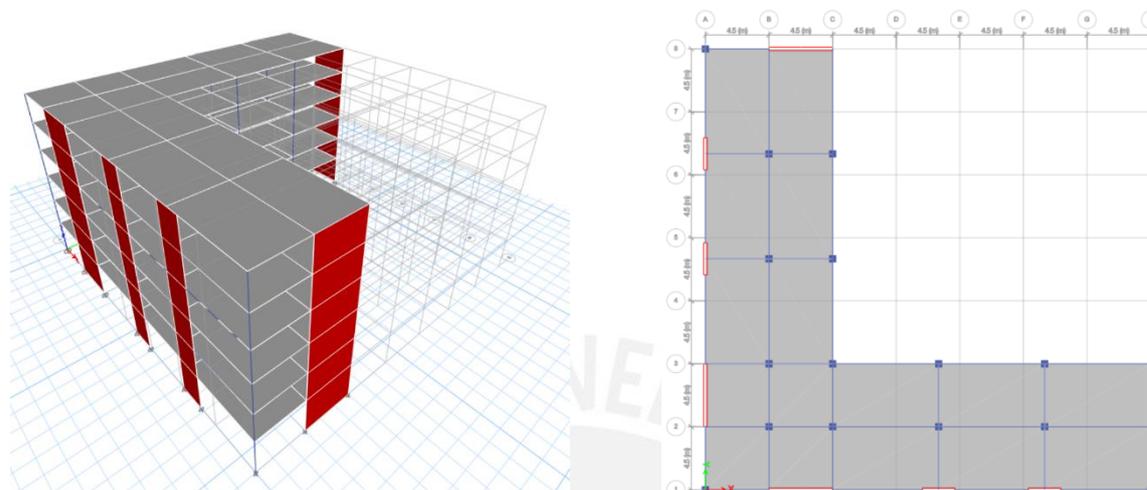


Figura 19. Vista en 3D (Izquierda) y vista en planta (derecha) - Estructura 2. Extraído de ETABS

Al igual que la segunda estructura, se analizaron las irregularidades en planta. Además, se empleó el análisis del caso sismo-dinámico espectral con las tres variantes ya explicadas.

Irregularidad por esquina entrante

Los resultados de este tipo de irregularidad se presentan en la tabla 16. Se observa que cumple con la irregularidad por esquina entrante en ambas direcciones, por lo que se puede considerar como irregular.

Tabla 16. Resultados de irregularidad por esquina entrante – Estructura 2

	Dimensión de la entrante (m)	Largo total (m)	Condición de irregularidad
En dirección X	22.5	31.5	SI
En dirección Y	22.5	31.5	SI

Nota. Elaboración propia

Irregularidad torsional

Del mismo modo que la estructura en “C”, se analizó la irregularidad torsional en ambas direcciones, considerando las tres variantes del sismo dinámico. Los resultados se exhiben en las tablas 17 y 18.

Tabla 17. Resultados de irregularidad torsional en X – Estructura 2

En dirección X						
Piso	Caso	Δ_{max} (m)	Δ_{prom} (m)	Condición $\Delta_{max} > 0.5 * \Delta_{prom}$	Ratio $\Delta_{max} / \Delta_{prom}$	Condición de irregularidad
Story6	Sismo dinámico X	0.00412	0.00392	SÍ	1.050	NO
	Sismo dinámico X+	0.00437	0.00407	SÍ	1.075	NO
	Sismo dinámico X-	0.00434	0.00372	SÍ	1.166	NO
Story5	Sismo dinámico X	0.00438	0.00415	SÍ	1.055	NO
	Sismo dinámico X+	0.00458	0.00429	SÍ	1.066	NO
	Sismo dinámico X-	0.00460	0.00394	SÍ	1.168	NO
Story4	Sismo dinámico X	0.00441	0.00416	SÍ	1.061	NO
	Sismo dinámico X+	0.00453	0.00429	SÍ	1.057	NO
	Sismo dinámico X-	0.00463	0.00395	SÍ	1.171	NO
Story3	Sismo dinámico X	0.00411	0.00385	SÍ	1.067	NO
	Sismo dinámico X+	0.00415	0.00397	SÍ	1.048	NO
	Sismo dinámico X-	0.00431	0.00367	SÍ	1.174	NO
Story2	Sismo dinámico X	0.00333	0.00310	SÍ	1.073	NO
	Sismo dinámico X+	0.00331	0.00318	SÍ	1.038	NO
	Sismo dinámico X-	0.00348	0.00296	SÍ	1.176	NO
Story1	Sismo dinámico X	0.00203	0.00189	NO	1.073	NO
	Sismo dinámico X+	0.00200	0.00194	NO	1.033	NO
	Sismo dinámico X-	0.00211	0.00180	NO	1.172	NO

Nota. Elaboración propia

Tabla 18. Resultados de irregularidad torsional en Y – Estructura 2

		En dirección Y				
Piso	Caso	Δ_{max} (m)	Δ_{prom} (m)	Condición $\Delta_{max} > 0.5 * \Delta_{prom}$	Ratio $\Delta_{max} / \Delta_{prom}$	Condición de irregularidad
Story6	Sismo dinámico Y	0.00412	0.00392	SÍ	1.050	NO
	Sismo dinámico Y+	0.00437	0.00407	SÍ	1.075	NO
	Sismo dinámico Y-	0.00434	0.00372	SÍ	1.166	NO
Story5	Sismo dinámico Y	0.00438	0.00415	SÍ	1.055	NO
	Sismo dinámico Y+	0.00458	0.00429	SÍ	1.066	NO
	Sismo dinámico Y-	0.00460	0.00394	SÍ	1.168	NO
Story4	Sismo dinámico Y	0.00441	0.00416	SÍ	1.061	NO
	Sismo dinámico Y+	0.00453	0.00429	SÍ	1.057	NO
	Sismo dinámico Y-	0.00463	0.00395	SÍ	1.171	NO
Story3	Sismo dinámico Y	0.00411	0.00385	SÍ	1.067	NO
	Sismo dinámico Y+	0.00415	0.00397	SÍ	1.048	NO
	Sismo dinámico Y-	0.00431	0.00367	SÍ	1.174	NO
Story2	Sismo dinámico Y	0.00333	0.00310	SÍ	1.073	NO
	Sismo dinámico Y+	0.00331	0.00318	SÍ	1.038	NO
	Sismo dinámico Y-	0.00348	0.00296	SÍ	1.176	NO
Story1	Sismo dinámico Y	0.00203	0.00189	NO	1.073	NO
	Sismo dinámico Y+	0.00200	0.00194	NO	1.033	NO
	Sismo dinámico Y-	0.00211	0.00180	NO	1.172	NO

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la última columna de cada tabla, no existe irregularidad torsional en ninguna de las direcciones. En síntesis, se definió la estructura finalmente como irregular únicamente por esquina entrante. Por consiguiente, el espectro elástico se dividió entre 5,4, valor resultante de multiplicar al R de la estructura por el factor de 0,9.

En segundo lugar, se evaluaron las derivas de entrepiso. De igual manera respecto a la edificación anterior, se buscó no sobrepasar el límite máximo de 7 %. A continuación, se presentan la figura 20 proporcionada por el Software ETABS, así como la tabla 19.

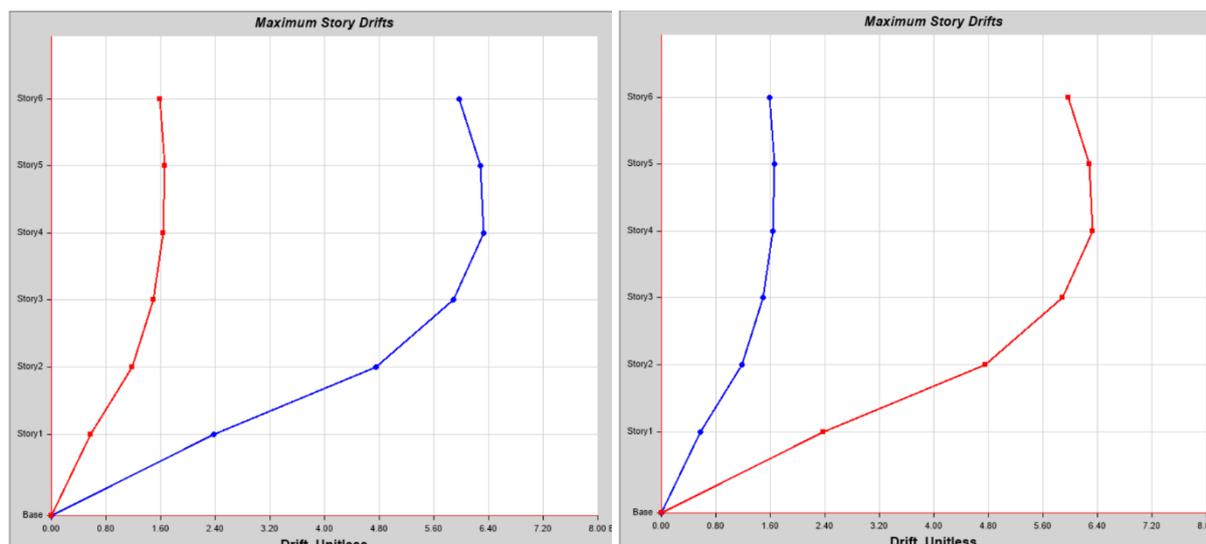


Figura 20. Derivas inelásticas diafragma rígido en la dirección X e Y - Estructura 2 inicial. Extraído de ETABS.

Tabla 19. Derivas inelásticas máximas – Estructura 2 inicial

	Deriva máxima	Límite	Cumple
En dirección X	0.006323	0.007	SI
En dirección Y	0.006323	0.007	SI

Nota. Elaboración propia

De la misma manera que en la estructura 1 se determinaron los periodos traslacionales y las cortantes basales estáticas analizada considerando diafragma rígido, tal y como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20. Periodos traslacionales y cortantes basales diafragma rígido - Estructura 2 inicial

Sismo	X	Y
T (s)	0.593	0.593
C	1.686	1.686
R0	6	6
Ia		1
Ip		0.9
R	5.4	5.4
Vbasal (ton)	0.1405 x P	0.1405 x P

Nota. Elaboración propia

A partir de los resultados, se sabe que cumple con ubicarse por debajo del límite propuesto por la Norma Técnica E.030, para ambas direcciones. Por ello, esta estructura puede ser diseñada. Seguidamente, se evaluó la propuesta de diferenciación entre diafragma rígido y flexible. Debido a que el espesor de la losa es de 18 cm, la relación de aspecto a analizar fue de 7 a 1. Esta relación sí cumplió en las plantas de esta edificación, como se aprecia en la figura 21 y la tabla 21. Cabe resaltar que se eligió el muro estructural de mayores dimensiones perpendicular a la dirección de análisis, de acuerdo con lo planteado párrafos anteriores.

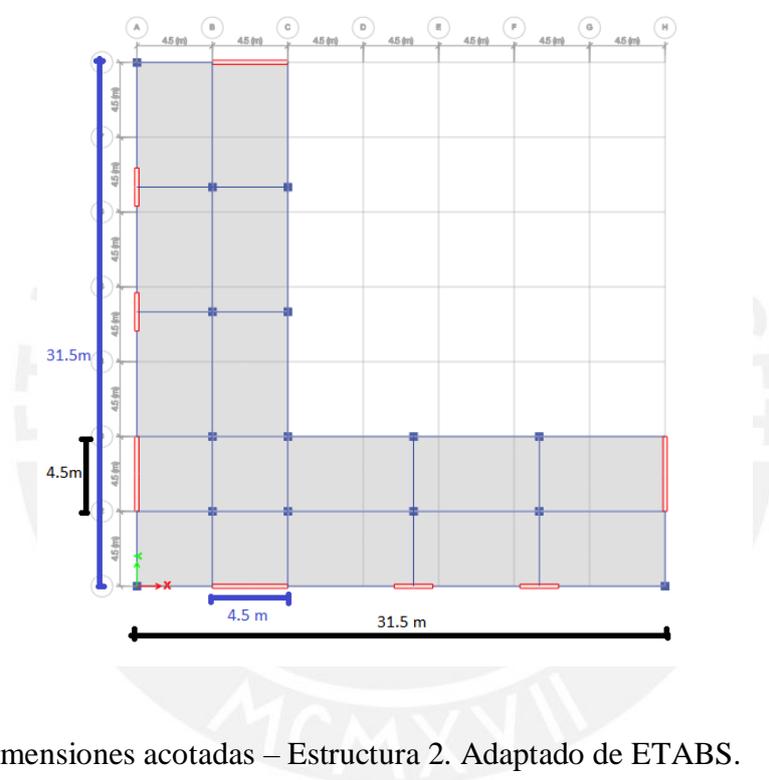


Figura 21. Dimensiones acotadas – Estructura 2. Adaptado de ETABS.

Tabla 21. Valores para la propuesta – Estructura 2

	La (m)	re (m)	Cumple
En dirección X	31.5	7	SI
En dirección Y	31.5	7	SI

Nota. Elaboración propia

Debido al cumplimiento de la propuesta es esta segunda estructura, se decidió realizar un análisis más refinado. La planta extraída a raíz de este refinamiento se observa en la figura 22 y sus consideraciones son las mismas de las ya descritas líneas arriba.

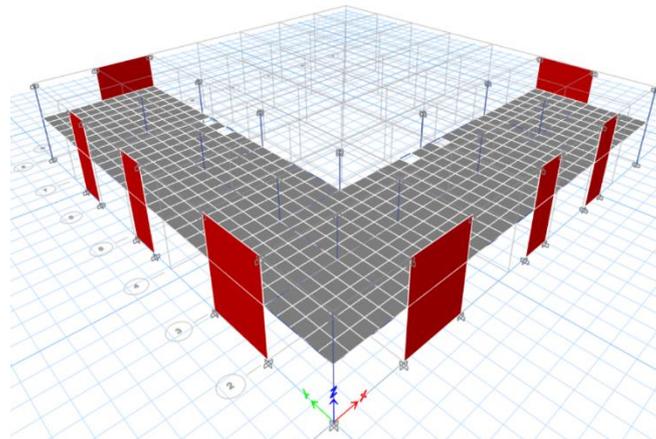


Figura 22. Planta extraída - Estructura 3. Extraído de ETABS.

Con dicha planta, se evaluó el criterio de la ASCE 7-16 (ASCE, 2017), el cual estipula una relación de 2 entre el desplazamiento máximo de la deflexión en el plano y la deriva promedio de los elementos verticales. Al igual que la primera estructura, los valores tampoco cumplieron con dicha relación (según la tabla 22), pero estuvieron muy próximos al valor de 2. Por tal motivo, se analizó, con diafragma flexible, la estructura.

Tabla 22. Valores para el criterio de la ASCE – Estructura 2

	δMDD	$\Delta ADVE$	$\delta MDD/\Delta ADVE$
En dirección X	0.000281	0.00015	1.87
En dirección Y	0.00028	0.00015	1.87

Nota. Elaboración propia

Por último, las derivas obtenidas al aplicar los diafragmas flexibles se aprecian en la figura 23.

Igualmente, sus valores máximos se encuentran en la tabla 23.

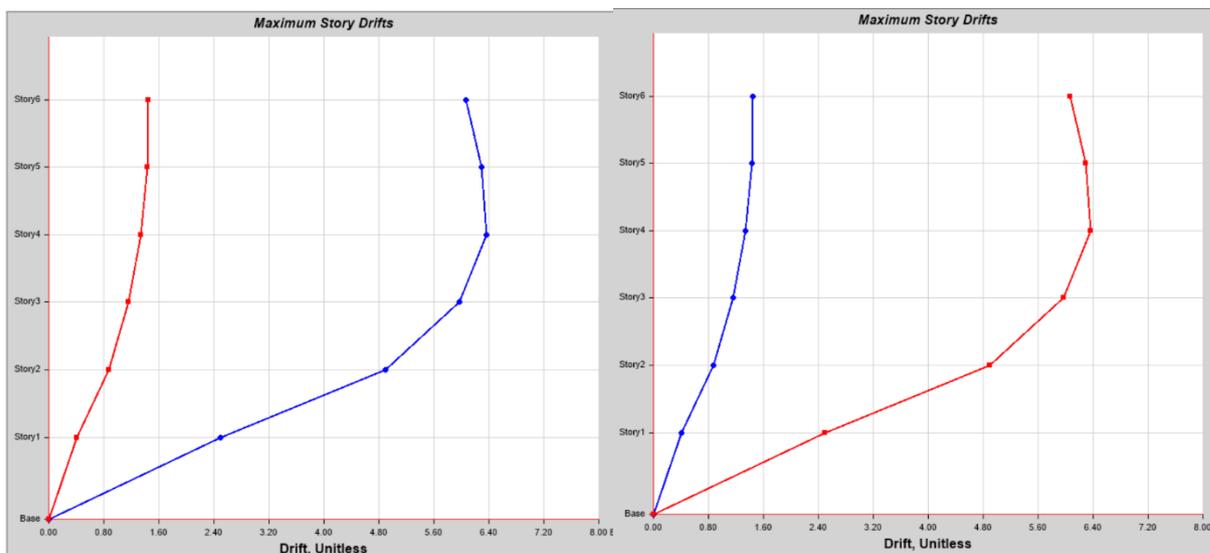


Figura 23. Derivas inelásticas diafragma semi rígido en la dirección X e Y - Estructura 2 final. Extraído de ETABS.

Tabla 23. Derivas inelásticas máximas – Estructura 2 final

	Deriva máxima	Límite	Cumple
En dirección X	0.006359	0.007	SI
En dirección Y	0.006359	0.007	SI

Nota. Elaboración propia

Además, se determinó el periodo fundamental traslacional y la cortante basal estática en las dos direcciones de análisis de la estructura con diafragma semi rígido, los resultados se muestran en la tabla 24.

Tabla 24. Periodos traslacionales y cortantes basales diafragma semi rígido - Estructura 2 final

Sismo	X	Y
T estimado (s)	0.594	0.594
C	1.684	1.684
R0	6	6
Ia		1
Ip		0.9
R	5.4	5.4
Vbasal (ton)	0.1403 x P	0.1403 x P

Nota. Elaboración propia

Estructura 3

Como última edificación se tuvo a aquella en forma de “T”, como se aprecia en la figura 24. A diferencia de las dos anteriores, las dimensiones de sus losas fueron únicamente de 5x5m.

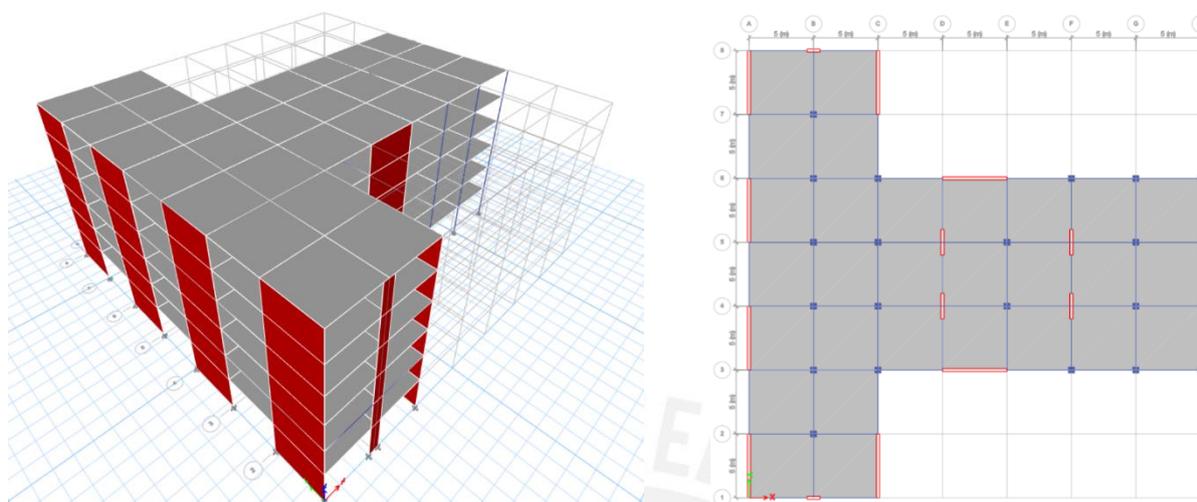


Figura 24. Vista en 3D (Izquierda) y vista en planta (derecha) - Estructura 3. Extraído de ETABS.

Irregularidad de esquina entrante

En la tabla 25, se muestran los resultados de la irregularidad por esquina entrante. Se cumple con dicha irregularidad en ambas direcciones, por lo que se puede considerar como irregular.

Tabla 25. Resultados de irregularidad por esquina entrante – Estructura 3

	Dimensión de la entrante (m)	Largo total (m)	Condición de irregularidad
En dirección X	25	35	SI
En dirección Y	10	35	SI

Nota. Elaboración propia

Irregularidad torsional

Del mismo modo que las otras estructuras, se analizó la irregularidad torsional en ambas direcciones, teniendo en cuenta las tres variantes del sismo dinámico espectral. Los resultados se exhiben en las tablas 26 y 27.

Tabla 26. Resultados de irregularidad torsional en X – Estructura 3

En dirección X						
Piso	Caso	Δ_{max} (m)	Δ_{prom} (m)	Condición $\Delta_{max} > 0.5 * \Delta_{prom}$	Ratio $\Delta_{max} / \Delta_{prom}$	Condición de irregularidad
Story6	Sismo dinámico X	0.00390	0.00390	SÍ	1.000	NO
	Sismo dinámico X+	0.00445	0.00375	SÍ	1.185	NO
	Sismo dinámico X-	0.00445	0.00375	SÍ	1.185	NO
Story5	Sismo dinámico X	0.00428	0.00428	SÍ	1.000	NO
	Sismo dinámico X+	0.00490	0.00412	SÍ	1.188	NO
	Sismo dinámico X-	0.00490	0.00412	SÍ	1.188	NO
Story4	Sismo dinámico X	0.00439	0.00439	SÍ	1.000	NO
	Sismo dinámico X+	0.00507	0.00425	SÍ	1.194	NO
	Sismo dinámico X-	0.00507	0.00425	SÍ	1.194	NO
Story3	Sismo dinámico X	0.00417	0.00417	SÍ	1.000	NO
	Sismo dinámico X+	0.00486	0.00405	SÍ	1.199	NO
	Sismo dinámico X-	0.00486	0.00405	SÍ	1.199	NO
Story2	Sismo dinámico X	0.00347	0.00347	SÍ	1.000	NO
	Sismo dinámico X+	0.00407	0.00338	SÍ	1.203	NO
	Sismo dinámico X-	0.00407	0.00338	SÍ	1.203	NO
Story1	Sismo dinámico X	0.00229	0.00229	NO	1.000	NO
	Sismo dinámico X+	0.00267	0.00223	SÍ	1.196	NO
	Sismo dinámico X-	0.00267	0.00223	SÍ	1.196	NO

Nota. Elaboración propia

Tabla 27. Resultados de irregularidad torsional en Y – Estructura 3

En dirección Y						
Piso	Caso	Δ_{max} (m)	Δ_{prom} (m)	Condición $\Delta_{max} > 0.5 * \Delta_{prom}$	Ratio $\Delta_{max} / \Delta_{prom}$	Condición de irregularidad
Story6	Sismo dinámico Y	0.00388	0.00291	SÍ	1.335	SI
	Sismo dinámico Y+	0.00410	0.00296	SÍ	1.388	SI
	Sismo dinámico Y-	0.00351	0.00278	SÍ	1.264	NO
Story5	Sismo dinámico Y	0.00444	0.00324	SÍ	1.370	SI
	Sismo dinámico Y+	0.00469	0.00330	SÍ	1.418	SI
	Sismo dinámico Y-	0.00402	0.00312	SÍ	1.292	NO
Story4	Sismo dinámico Y	0.00483	0.00344	SÍ	1.403	SI
	Sismo dinámico Y+	0.00509	0.00349	SÍ	1.460	SI
	Sismo dinámico Y-	0.00439	0.00329	SÍ	1.332	SI
Story3	Sismo dinámico Y	0.00484	0.00336	SÍ	1.440	SI
	Sismo dinámico Y+	0.00509	0.00340	SÍ	1.499	SI
	Sismo dinámico Y-	0.00439	0.00321	SÍ	1.367	SI
Story2	Sismo dinámico Y	0.00418	0.00283	SÍ	1.479	SI
	Sismo dinámico Y+	0.00441	0.00287	SÍ	1.534	SI
	Sismo dinámico Y-	0.00380	0.00272	SÍ	1.398	SI
Story1	Sismo dinámico Y	0.00268	0.00178	SÍ	1.505	SI
	Sismo dinámico Y+	0.00283	0.00181	SÍ	1.558	SI
	Sismo dinámico Y-	0.00243	0.00171	NO	1.425	SI

Nota. Elaboración propia

Como se observa, existe irregularidad torsional extrema en una dirección. Por consiguiente, se puede concluir que la estructura califica como irregular, por esquina entrante y torsión extrema.

Con ello, el espectro elástico fue dividido por un valor de 3,6 (el valor de R igual a 6 se multiplicó por el factor de irregularidad 0,6).

Posterior a ello, se evaluaron también las derivas de entrepiso, las cuales tenían que cumplir con el 7 ‰ de la Norma Técnica E.030. Los gráficos proporcionados por el Software ETABS se presentan en la figura 25, así como las derivas máximas, en la tabla 28.

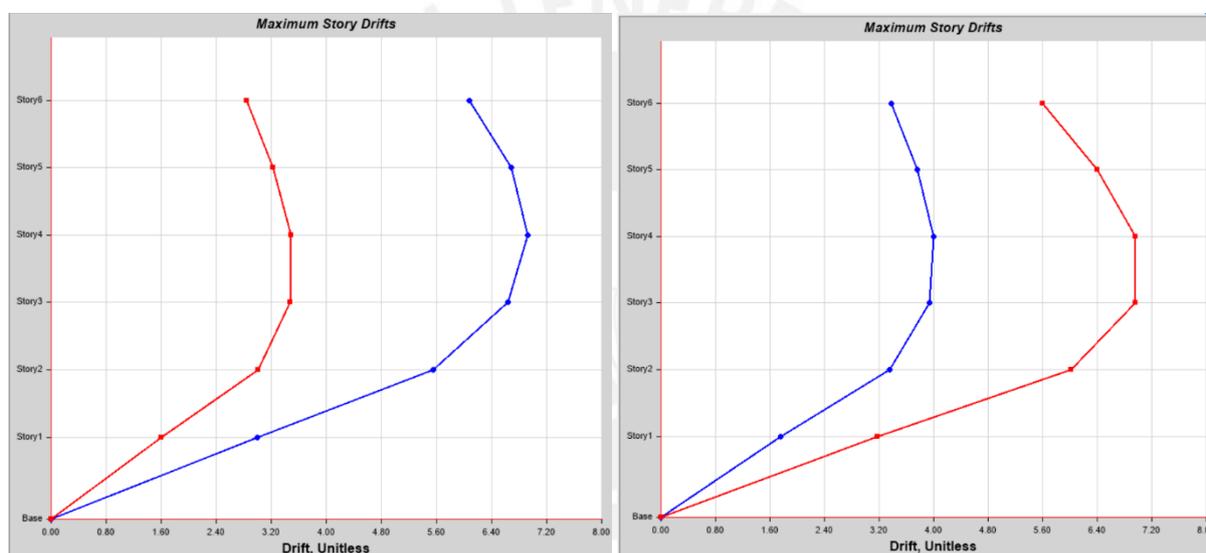


Figura 25. Derivas inelásticas diafragma rígido en la dirección X e Y - Estructura 3 inicial. Extraído de ETABS.

Tabla 28. Derivas máximas inelásticas – Estructura 3 inicial

	Deriva máxima	Límite	Cumple
En dirección X	0.006926	0.007	SI
En dirección Y	0.006959	0.007	SI

Nota. Elaboración propia

De igual forma que las otras estructuras, se determinó los periodos traslacionales en X y en Y y sus cortantes basales en función del peso respectivamente. Estos resultados se muestran en la tabla 29.

Tabla 29. Periodos traslacionales y cortantes basales diafragma rígido - Estructura 3 inicial

Sismo	X	Y
T (s)	0.622	0.417
C	1.608	2.398
R_0	6	6
Ia		1
Ip		0.6
R	3.6	3.6
Vbasal (ton)	0.2010 x P	0.2998 x P

Nota. Elaboración propia

Las derivas máximas no excedieron el límite propuesto por la Norma Técnica E.030, por lo que se procedió a evaluar la propuesta de diferenciación entre diafragma rígido y flexible. Del mismo modo que las estructuras anteriores, la relación de aspecto a analizar fue de 7 a 1 porque el espesor de losa fue de 18 cm. Los valores de La y re se obtuvieron como se muestra en figura 26, con lo que se demostró que la propuesta también cumplió en esta edificación, según la tabla 30.

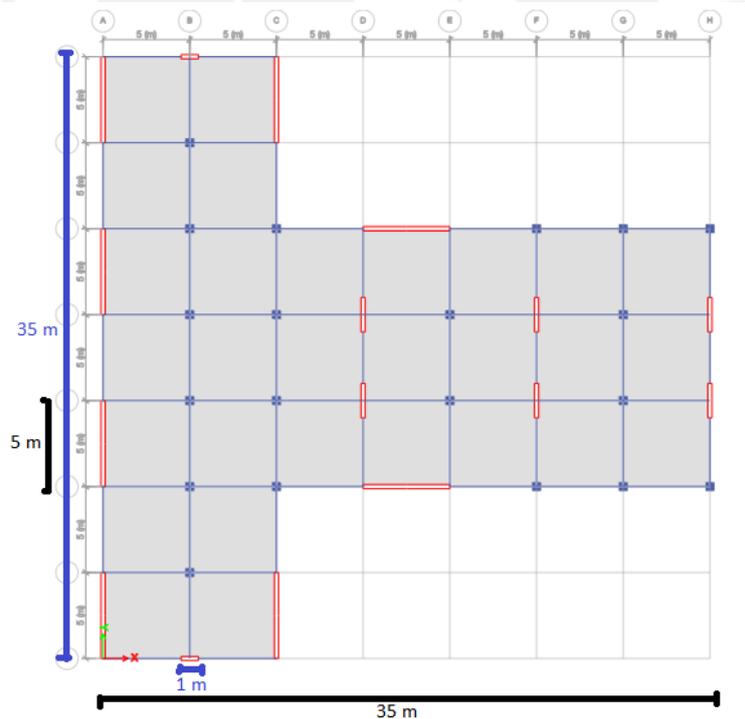


Figura 26. Dimensiones acotadas – Estructura 3. Adaptado de ETABS.

Tabla 30. Valores para la propuesta - Estructura 3

	La (m)	re (m)	Cumple
En dirección X	35	7	SI
En dirección Y	35	35	SI

Nota. Elaboración propia

Con el cumplimiento de la relación de aspecto, se elaboró un análisis mejorado. Para ello, se extrajo una planta, como se observa en la figura 27, cuyas distinciones son iguales a las estructuras 1 y 2.

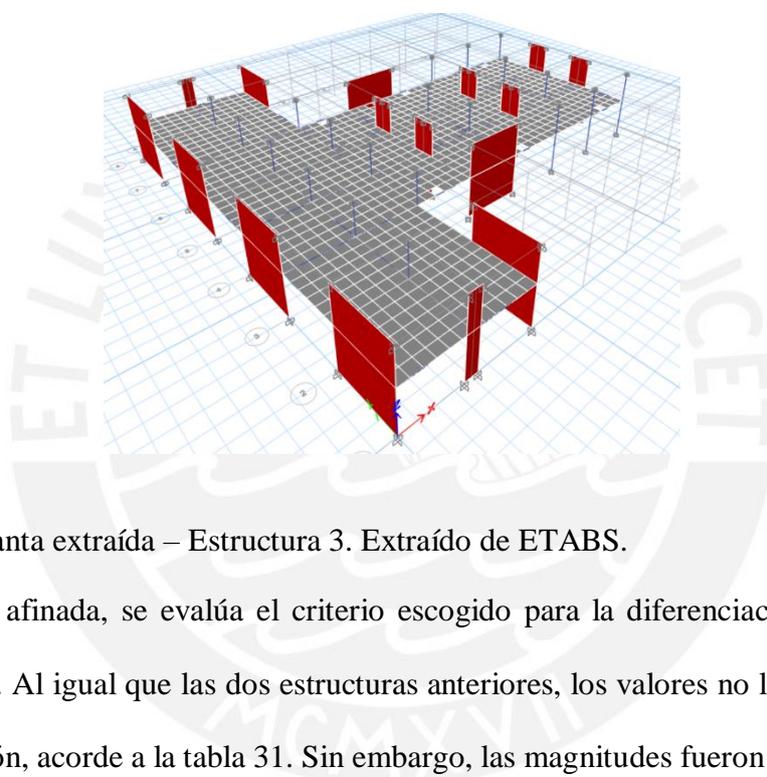


Figura 27. Planta extraída – Estructura 3. Extraído de ETABS.

Con esta planta afinada, se evalúa el criterio escogido para la diferenciación de diafragma rígido o flexible. Al igual que las dos estructuras anteriores, los valores no llegaron a cumplir con dicha relación, acorde a la tabla 31. Sin embargo, las magnitudes fueron próximas al valor de 2. Por consiguiente, se aplicó a la estructura diafragma flexible.

Tabla 31. Valores para el criterio de la ASCE – Estructura 3

	δMDD	$\Delta ADVE$	$\delta MDD/\Delta ADVE$
En dirección X	0.000301	0.0002	1.51
En dirección Y	0.000115	0.0000603	1.91

Nota. Elaboración propia

Con el fin de ver cuánto varían los resultados principalmente en términos de desplazamientos, se obtuvo la figura 28 del ETABS y se elaboró la tabla 32 final.

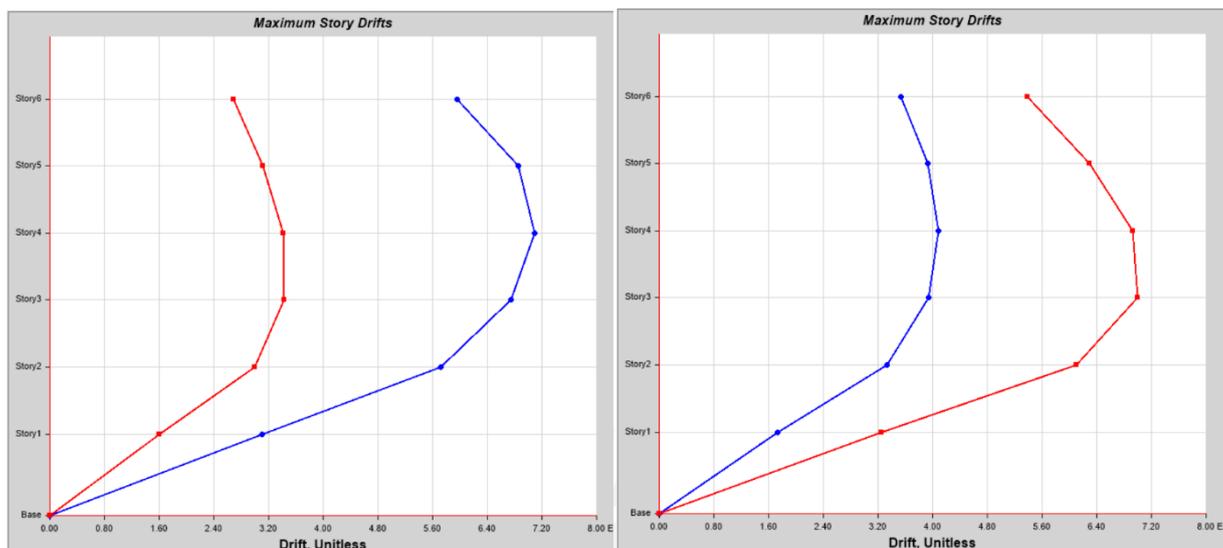


Figura 28. Derivas inelásticas diafragma rígido en la dirección X e Y- Estructura 3 final. Extraído de ETABS.

Tabla 32. Derivas máximas inelásticas – Estructura 3 final

	Deriva máxima	Límite	Cumple
En dirección X	0.007097	0.007	NO
En dirección Y	0.006997	0.007	SI

Nota. Elaboración propia

Asimismo, se determinó el periodo fundamental traslacional y la cortante basal estática en las dos direcciones de análisis de la estructura con diafragma semi rígido, los resultados se muestran en la tabla 33.

Tabla 33. Periodos traslacionales y cortantes basales diafragma semi rígido - Estructura 3 final

Sismo	X	Y
T (s)	0.623	0.42
C	1.605	2.381
R ₀	6	6
I _a	1	
I _p	0.6	
R	3.6	3.6
V _{basal} (ton)	0.2006 x P	0.2976 x P

Nota. Elaboración propia

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de haber realizado el análisis de las estructuras con esquinas entrantes, se elaboró un cuadro comparativo en la tabla 34 de los resultados obtenidos de la relación $dMDD/DAVE$, de la deriva máxima inelástica, de los periodos traslacionales y de la cortante basal estática considerando diafragma rígido y semi rígido para las diversas estructuras analizadas.

Tabla 34. Resultados de la relación $dMDD/DAVE$ para las diversas estructuras analizadas

Estructura	Forma	$dMDD/DAVE$	
		Sismo X	Sismo Y
EST 1	C	1.66	1.85
EST 2	L	1.87	1.87
EST 3	T	1.51	1.91

Nota. Elaboración propia

De la relación propuesta por la ASCE para determinar la flexibilidad de un diafragma, se obtuvo que en todas las estructuras la relación de $dMDD/ADVE$ tanto para el análisis en X como en Y es menor a 2. Por lo que, de acuerdo al criterio de la ASCE, estas estructuras poseen diafragmas rígidos. Sin embargo, fueron analizadas considerando diafragma flexible con un fin experimental y de observar la variación de resultados en la rigidez de la estructura y en los desplazamientos. Además, se observa que en el análisis en la dirección Y se obtuvieron mayores valores de $dMDD/DADVE$, esto se debe básicamente a que esta es la dirección más crítica en la que se producen las mayores deflexiones del diafragma. Asimismo, se puede apreciar que la relación de flexibilidad para la estructura 3 en el análisis en Y es el más próximo para que cumpla con la condición de diafragmas flexibles establecida por la ASCE. Esta estructura posee irregularidad torsional extrema y es justamente donde se acentúa más su comportamiento de diafragma como flexible. De los resultados de la deriva máxima inelástica analizada considerando diafragma rígido y semi rígido (ver tabla 35) se obtuvo que para todas las estructuras la deriva inelástica resulta ser mayor cuando el diafragma es analizado como semi rígido con respecto al rígido.

Tabla 35. Comparación de los resultados de la deriva máxima inelástica considerando diafragma rígido y semi rígido

		Deriva máxima inelástica (%)					
		Análisis X			Análisis Y		
Estructura	Forma	Rígido	Semi rígido	Variación	Rígido	Semi rígido	Variación
EST 1	C	6.884	6.946	0.90%	6.898	6.915	0.24%
EST 2	L	6.323	6.359	0.57%	6.323	6.359	0.57%
EST 3	T	6.926	7.097	2.47%	6.959	6.997	0.54%

Nota. Elaboración propia

Los periodos traslacionales tanto para el análisis en X como en Y resultan ser menores para diafragmas rígidos que para diafragmas semi rígidos en todas las estructuras analizadas, tal y como se observa en la tabla 36. Ello se debe a que las estructuras con diafragma rígido poseen mayor rigidez y; por ende, poseen menor periodo a diferencia de una estructura con diafragma flexible. Además, se analizó la cortante de entrepiso, cuyos resultados se muestran en la tabla 37.

Tabla 36. Comparación de los resultados de los periodos fundamentales considerando diafragma rígido y semi rígido

		Periodo fundamental T (s)					
		Análisis X			Análisis Y		
Estructura	Forma	Rígido	Semi rígido	Variación	Rígido	Semi rígido	Variación
EST 1	C	0.656	0.658	0.30%	0.512	0.515	0.59%
EST 2	L	0.593	0.594	0.17%	0.593	0.594	0.17%
EST 3	T	0.622	0.623	0.16%	0.417	0.42	0.72%

Nota. Elaboración propia

Tabla 37. Comparación de los resultados de las cortantes basales considerando diafragma rígido y semi rígido

V basal en función del peso	
-----------------------------	--

Estructura	Forma	Análisis X			Análisis Y		
		Rígido	Semi rígido	Variación	Rígido	Semi rígido	Variación
EST 1	C	0.1524	0.1520	0.30%	0.1953	0.1942	0.58%
EST 2	L	0.1405	0.1403	0.17%	0.1405	0.1403	0.17%
EST 3	T	0.2010	0.2006	0.16%	0.2998	0.2976	0.71%

Nota. Elaboración propia

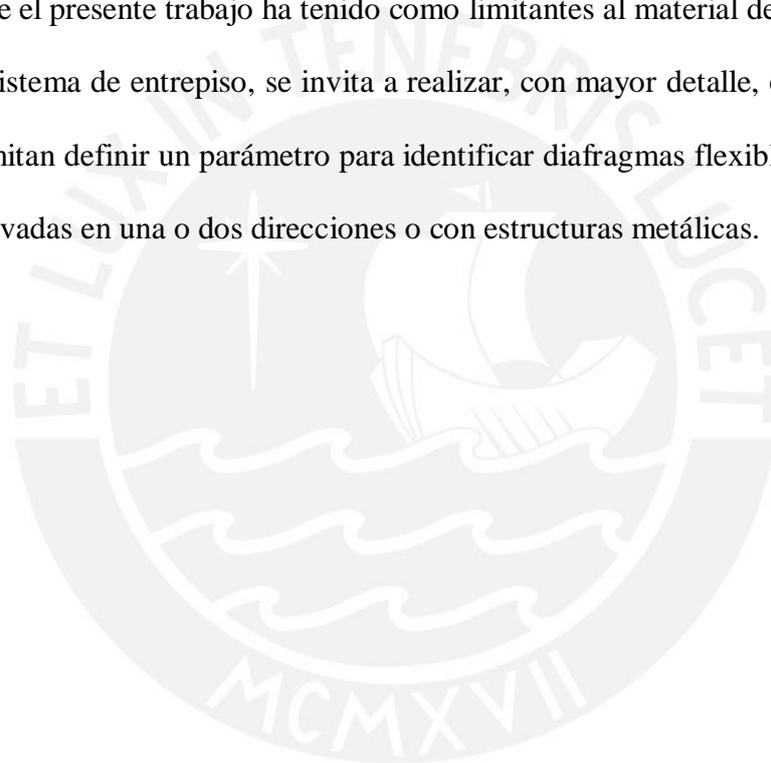


6. CONCLUSIONES

- Al trabajar con un sistema de piso que corresponda a un diafragma flexible, la deriva de entrepiso aumenta para los ejemplos expuestos. El aumento es reducido, pero se presenta la posibilidad de que al considerar un diafragma flexible no se cumplan el límite máximo establecido por la norma E-030.
- Al trabajar con un diafragma que se pueda deformar en su plano, la estructura se vuelve más flexible. Ello genera un aumento en los períodos de vibración obtenidos por el análisis modal en un software de diseño. A mayores períodos de vibración le corresponden menores aceleraciones de diseño en la base; por lo tanto, a los proyectos con diafragma flexible diseñados con la norma E-030 les corresponde una menor cortante basal de diseño.
- Las irregularidades por esquina entrante y por torsión regular o extrema generan un aumento en el ratio del criterio diferenciador propuesto por la ASCE 7-16. Sin embargo, también existe una influencia de la distribución de los elementos verticales, las cargas de gravedad sometidas en las losas y las dimensiones de los elementos. Dado que la estructura que posee torsión extrema es la que tienen un mayor ratio, se recomienda evaluar la aplicación de un diafragma flexible a toda estructura que posea dicha irregularidad extrema, independientemente si se cumple o no la relación *re* propuesta en la presente investigación. Esta sugerencia se debe a que el criterio diferenciador de diafragmas propuesto por la ASCE y el criterio de irregularidad por torsión extrema de la NTE E.030 se basan en la misma relación de desplazamientos.
- Los valores del ratio obtenidos no son mayores 2; es decir, estrictamente no se puede afirmar que los diafragmas trabajados sean flexibles. Sin embargo, este valor límite es elevado y se recomienda generar estudios más refinados para proponer un menor valor límite que sea compatible con la norma E-030. Por otra parte, el criterio del ASCE sí

sería compatible con normas que compartan un criterio por control de desplazamientos que trabajen con inercias agrietadas, como lo hace el ASCE. Los códigos de diseño sismorresistente de países como Argentina, Colombia y Venezuela aplican factores de reducción a las secciones, para representar la fisuración del concreto, a diferencia de la norma peruana, la cual trabaja con inercias gruesas. El criterio diferenciador del ASCE 7-16 podría ser incorporado en dichas normas a partir de una calibración similar a la presentada en este trabajo de investigación.

- Dado que el presente trabajo ha tenido como limitantes al material de la estructura y el tipo de sistema de entrepiso, se invita a realizar, con mayor detalle, estudios similares que permitan definir un parámetro para identificar diafragmas flexibles al trabajar con losas nervadas en una o dos direcciones o con estructuras metálicas.



7. Referencias bibliográficas

- American Society of Civil Engineers (2017). *ASCE 7-16: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. Reston, Virginia: ASCE.
- Building Seismic Safety Council (1997). *Nehrp guidelines for the seismic rehabilitation of buildings*. Washington D.C, USA: Fema. Recuperado de <https://www.scinc.co.jp/nanken/pdf/fema273.pdf>
- Bureau of Indian Standards (2002). *Criteria for earthquake resistant design of structures- Part 1 General provisions and buildings (5th Revision)*. Nueva Delhi, India: BIS. Recuperado de <https://law.resource.org/pub/in/bis/S03/is.1893.1.2002.pdf>
- Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (2018). *Reglamento argentino para construcciones sismorresistentes- Parte 1- Construcciones en general*. Buenos Aires, Argentina: INTI. Recuperado de <http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/INPRES-CIRSOC-103 Parte I-Reglamento.pdf>
- Chácará, C. (2020). Tema III: Metodología de la investigación- Enfoques cuantitativo y cualitativo, diseño de la investigación. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Chinchilla, K.L. (2012). *Evaluación de la flexibilidad de diafragma en sistemas de piso utilizados en edificios urbanos* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Ciudad de México, México. Recuperado de <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/6156>
- Comité ACI 318 (2005). *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-05) y comentario (ACI 318SR-05)*. Michigan, USA: American Concrete Institute. Recuperado de https://www.oaxaca.gob.mx/sinfra/wp-content/uploads/sites/14/2016/02/ACI_318_2005.pdf
- Comité Europeo para la Estandarización (2004) Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes- Parte 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación. Madrid, España: UNE.
- Comité Europeo para la Estandarización (2018) Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes- Parte 3: Evaluación y adecuación sísmica de edificios. Madrid, España: UNE.
- COVENIN (2001). *Norma Venezolana- Edificaciones Sismorresistentes Parte 1: Requisitos (1era Revisión)*. Caracas, Venezuela: Fondonorma. Recuperado de <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1756-1-01.pdf>
- Durán, J. E. (2017). *Comparación de las normas ASCE 7-10 y NEC-2015 en el diseño sísmico con aplicación a pórticos especiales con y sin muros estructurales* (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27358/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>
- Gaceta Oficial del Distrito Federal (2017) *Normas técnicas complementarias para diseño por sismo*. Ciudad de México, México: Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. Recuperado de <https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-sismo-2017.pdf>

- Halici, O. F., Ugurlu, K., Demir, C., Comert, M., & Ilki, A. (2018). Evaluation of diaphragm conditions in AAC floor structures with RC beams. *V Bulletin of Earthquake Engineering* (Roč. 16). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0434-5>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación (6ta ed.). México Distrito Fereadal: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A. de C.V. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica, Instituto Nacional de Tecnología Industrial y International Conference of Building Officials (1994). *Uniform Building Code volume 2: Structural Engineering Design Provisions (4ta ed.)*. California, USA: International Conference of Building Officials. Recuperado de https://digitalassets.lib.berkeley.edu/UBC_1994_v2.pdf
- Jimenez, D. (2013). *Identificación de la condición de diafragma rígido o flexible a partir de instrumentación sísmica y modelación de losas tipo shell o membrana en sistemas de resistencia lateral* (Tesis de maestría). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. Recuperado de <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/12269>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). *NSR-10: Título A-Requisitos generales para de diseño y construcción sismo resistente*. Bogotá, Colombia: Panamericana. Recuperado de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>
- Ministerio de Fomento (2010). *EHE-08: Instrucción de Hormigón Estructural (4ta ed.)*. España: Ministerio de Fomento. Recuperado de https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/1820100.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019). *Norma Técnica E.030 Diseño sismorresistente*. Lima, Perú: MVCS.
- Muñoz, A. (2020). *Comentarios a la Norma Peruana E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima, Perú: SENCICO.
- Nandeesh.N.H, S. C. ghule, R. kiran. (2018). *Comparative Study of Rigid and Flexible Floor Diaphragm*. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 05(01), 67–71. Recuperado de <https://www.irjet.net/archives/V5/i1/IRJET-V5I113.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud (2000). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*. Estados Unidos de América. Recuperado de: http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/Mitigasalud/Mitigacion/Publicaciones/02_Fundamentos/Spanish/mit6-libro%20completo.pdf
- Tena, A., Chinchilla, K.L. & Juárez, G. (2013). Evaluación de la flexibilidad elástica de sistemas de piso utilizados en edificios urbanos. *Revista de Ingeniería Sísmica*, No 89, pp. 135-166. Recuperado de <https://www.redalyc.org/comocitar.oi?id=61829627006>
- Vielma, J.C. & Mulder, M.M. (2015). Comparación del análisis de edificios bajos con plantas con entrantes usando diafragmas rígidos y diafragmas flexibles. *X Convesis*, Cumaná, volumen I. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/286920015_NORMATIVA_SISMICA_COMPARACION_DEL_ANALISIS_DE_EDIFICIOS_BAJOS_CON_PLANTAS_CON

ENTRANTES USANDO DIAFRAGMAS RIGIDOS Y DIAFRAGMAS FLEXIBLES

