

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA CIVIL

**Losas de Acoplamiento en Edificios de Muros de
Ductilidad Limitada**

Presentado por:

Bach. Rocío Miryam Cuba Lagos

Asesor:

Ing. M.Sc. Cristian Castro Pérez

AYACUCHO

PERÚ

2017

Presentación

Esta tesis contiene la recolección de estudios previos de la losa como elemento de acoplamiento de muros de edificios de muros de corte. Con la finalidad de mostrar mediante resultados analíticos que las losas de los edificios de muros de ductilidad limitada tienen el mismo comportamiento. Con la presente tesis se pretende dar paso a futuras investigaciones teóricas y experimentales que contribuyan con las especificaciones de detallaje de las losas de acoplamiento para los EMDL en la norma peruana, garantizando así la seguridad y funcionalidad de este tipo de edificios ante un evento sísmico de gran magnitud.

Rocío Miryam Cuba Lagos

`rociomy1@gmail.com`

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

Ayacucho, Junio del 2017.

A Disha, por ser ejemplo de perseverancia y dedicación, por haber contribuido en mi educación académica y moral, y por su incondicional apoyo y afecto.

A mi familia, por su apoyo y atención durante toda mi formación y por la confianza que siempre me brindaron.

Al Mg. Julio R. Rivera Feijoó y a la Ing. Sandra Soto Quiroga, quienes han contribuido en mi formación profesional y me han brindado la confianza para asumir nuevos retos en el desarrollo de la ingeniería estructural.

Agradecimientos

Al Mg. Julio R. Rivera Feijó, quien contribuyó con la concepción de la idea principal de la presente tesis.

A mi asesor Cristian Castro Pérez, quien fue guía principal en la elaboración y mejoría de la presente investigación.

A mis compañeros de trabajo y amigos, quienes compartieron sus conocimientos conmigo y me apoyaron en parte de la edición de la presente tesis.

Resumen

El objeto de esta investigación fue estudiar el comportamiento de la losa de entrepiso como elemento de acoplamiento de muros en edificios de muros de ductilidad limitada, basados en los estudios previos sobre las losas de acoplamiento en edificios de muros de corte. Tras el análisis, se muestra que aunque estos edificios no sean tan altos y su distorsión esté restringida, también se producen esfuerzos de flexión y cortante de magnitud importante en las losas en la zona de acoplamiento. Se logró determinar el ancho efectivo de la losa en la resistencia de fuerzas sísmicas, el refuerzo concentrado a flexión y controlar la resistencia a cortante del concreto en las zonas de acoplamiento.

Palabras Clave: Losa de acoplamiento; Ductilidad Limitada; Losas sin vigas; Conexión Muro-Losa.

Summary

The objective of this research was to study the behavior of the slab as a wall coupling element in limited ductility walls buildings, based on previous studies on coupling slabs in shear wall buildings. The analysis shows that although these buildings are not so high and its distortion is restricted, occur bending and shear stresses with significant magnitude in the slabs in the area of coupling. It was possible to determine the effective width of the slab in the resistance of the seismic forces, the concentrated bending reinforcement and control the shear force resistance of the concrete in the area of coupling.

Keywords: Coupling Slab; Thin walls; Slabs without beams; Wall-Slab Connection.

Índice general

Portada

Presentación I

Dedicatoria II

Agradecimientos III

Resumen IV

Índice General v

Índice de Figuras x

Índice de Cuadros XIV

Lista de Símbolos XVI

Lista de Acrónimos XVII

1. Introducción	1
1.1. Descripción de la Realidad Problemática	1
1.2. Formulación del Problema	2
1.2.1. Problema Principal	2
1.2.2. Problemas Secundarios	2
1.3. Justificación	2
1.4. Importancia	3
1.5. Objetivos de la Investigación	3
1.5.1. Objetivo Principal	3
1.5.2. Objetivos Secundarios	4
1.6. Hipótesis	4
1.6.1. Hipótesis Principal	4
1.6.2. Hipótesis Secundarias	4
1.7. Metodología de Investigación	5
1.7.1. Tipo de Investigación	5
1.7.2. Nivel de Investigación	5
1.7.3. Diseño de Investigación	5
1.7.4. Instrumento de recolección de datos	5
1.8. Variables e indicadores	6
1.9. Periodo de Análisis	6
1.10. Herramientas de Procesamiento de Datos	7
1.10.1. Análisis y Modelamiento	7

1.10.2. Programas de Dibujo	7
1.10.3. Edición de textos	7
2. Marco Teórico y Marco Conceptual	8
2.1. Edificios de Muros de Ductilidad Limitada	8
2.1.1. Características Arquitectónicas	8
2.1.2. Características Estructurales	10
2.1.3. Alcances del N.T.P. para EMDL	11
2.2. Muros de Corte Acoplados	12
2.2.1. Comportamiento de Muros de Corte	14
2.2.2. Vigas de Acoplamiento	16
2.3. Losas de Acoplamiento	16
2.3.1. Rigidez a Flexión de Losas de Acoplamiento de Muros de Corte	19
2.3.2. Ancho Efectivo de Losas de Acoplamiento	22
3. Desarrollo de la Investigación	25
3.1. Metodología	25
3.2. Identificación de las Zonas de Acoplamiento	26
3.3. Caso de Estudio: Edificio Multifamiliar de Muros de Ductilidad Limitada	26
3.3.1. Descripción	26
3.3.2. Ubicación	27
3.3.3. Arquitectura	27
3.3.4. Estructuración	27

3.3.5. Cargas	29
3.3.6. Modelamiento Previo del Edificio	30
3.3.7. Disposiciones Típicas de Acoplamiento	31
3.4. Construcción del modelo matemático	35
3.4.1. Disposición Tipo 1	36
3.4.2. Disposición Tipo 2	38
3.4.3. Disposición Tipo 3	39
3.5. Análisis de Elementos Finitos	40
3.5.1. Acoplamiento Tipo 1	41
3.5.2. Acoplamiento Tipo 2	45
3.5.3. Cálculo del Ancho Efectivo de la Losa de Acoplamiento	48
3.6. Modelamiento del Edificio	52
3.6.1. Modelo Convencional	52
3.6.2. Modelo Propuesto	54
3.6.3. Modelo Simplificado	56
3.7. Diseño de la Losa Típica	58
3.7.1. Diseño Convencional de la Losa Típica	58
3.7.2. Diseño de Losas a Acoplamiento por Flexión	59
3.7.3. Control de Cortante en Losas de Acoplamiento	61

4. Resultados y Discusión	64
4.1. Resultados del Análisis	64
4.1.1. Curvas de Ancho Efectivo	64
4.1.2. Modelos Convencional y Propuesto	65
4.1.3. Refuerzo de losas de acoplamiento	66
4.2. Validación	66
4.3. Contrastación de Hipotesis	67
4.4. Discusión de Resultados	69
Conclusiones y Recomendaciones	72
Referencias Bibliográficas	75
Anexo I: Planos	77
Anexo I: Planos	84
Anexo II: Datos y resultados de prototipos de acoplamiento	90

Índice de figuras

2.1. Distribución de un departamento típico.(Fuente: Delgado, 2006)	10
2.2. Esquema y disposición en planta de una estructura de muros acoplados por losas.(Fuente: Hossain,2003)	13
2.3. Tipos de muros de corte resistentes a sismo. a) Muro en voladizo. b) Muros acoplados por vigas. c) Muros acoplados por losas. (Paulay y Taylor, 1981)	14
2.4. Relación entre las acciones internas de muros de corte acoplados cargados lateralmente (Fuente: Paulay y Taylor, 1981)	15
2.5. Acción estructural de muros de corte acoplados por losas sujetos a carga lateral o desplazamientos verticales diferenciales.(Fuente: Coull y Wong, 1983)	17
2.6. Reacción de muros de corte acoplados bajo carga lateral.(Fuente: Coull y Wong,1983)	19
2.7. Reacción de muros de corte acoplados bajo carga vertical.(Fuente: Coull y Wong,1983)	20
2.8. Discretización de elementos finitos.(Fuente:Hossain, 2003)	24
2.9. Diagrama de carga y momento sobre los muros acoplados.(Fuente: Hossain, 2003)	24

3.1. Planta de arquitectura	28
3.2. Estructuración (Elaboración propia)	29
3.3. Espectro de Pseudoaceleraciones (Elaboración propia)	31
3.4. Diagrama de momentos M_x-x debido al Sismo en dirección X (Elaboración propia)	32
3.5. Diagrama de momentos M_y-y debido al Sismo en dirección X (Elaboración propia)	32
3.6. Diagrama de momentos M_x-x debido al Sismo en dirección Y (Elaboración propia)	33
3.7. Diagrama de momentos M_y-y debido al Sismo en dirección Y (Elaboración propia)	33
3.8. Acoplamiento tipo 1 (Elaboración propia)	34
3.9. Acoplamiento tipo 2 (Elaboración propia)	35
3.10. Acoplamiento tipo 3 (Elaboración propia)	35
3.11. Deformación de la losa de acoplamiento tipo 1 debido a la rotación de los muros (Fuente: Hossain, 2003	36
3.12. Disposición de muros Tipo2. a) Deformación de la losa debido a la traslación. b) Deformación de la losa debido a la rotación (Elaboración propia)	38
3.13. Disposición de muros Tipo3. a) Deformación de la losa debido a la traslación. b) Deformación de la losa debido a la rotación (Elaboración propia)	39
3.14. Modelo de elementos finitos en ETABS para el acoplamiento tipo 1 (Elaboración propia)	42
3.15. Inducción de momentos flectores - Acoplamiento tipo 1 (Elaboración propia)	43

3.16. Giro θ de muros para el acoplamiento tipo 1 (Elaboración propia)	44
3.17. Modelo de elementos finitos en ETABS para el acoplamiento tipo 2 (Elaboración propia)	45
3.18. Inducción de momento flector - Acoplamiento tipo 2 (Elaboración propia) .	47
3.19. Giro θ de muros para el acoplamiento tipo 1 (Elaboración propia)	47
3.20. Curvas para el cálculo del ancho efectivo para acoplamiento tipo 1 (Elaboración propia)	49
3.21. Curvas para el cálculo del ancho efectivo para acoplamiento tipo 2 (Elaboración propia)	49
3.22. Identificación de tipos de acoplamiento en el Edificio	50
3.23. Ejemplo de extracción de datos geométricos del acoplamiento (Elaboración propia)	51
3.24. Datos de casos de acoplamiento en el edificio (Elaboración propia)	51
3.25. Ancho efectivo de losas de acoplamiento (Elaboración propia)	52
3.26. Planta típica del modelo convencional (Elaboración propia)	53
3.27. Vista 3D del modelo del edificio en ETABS (Elaboración propia)	53
3.28. Planta típica del modelo propuesto (Elaboración propia)	55
3.29. Anchos efectivos de losas de acoplamiento-Modelo simplificado (Elaboración propia)	56
3.30. Diagrama de momentos flectores en dirección X-X por combinación de gravedad (Elaboración propia)	57
3.31. Diagrama de momentos flectores en dirección X-X por combinación de gravedad (Elaboración propia)	58

3.32. Diagrama de momentos flectores en dirección Y-Y por combinación de gravedad (Elaboración propia)	59
3.33. Momentos flectores en losas de acoplamiento (Elaboración propia)	60
3.34. Acero requerido por flexión (Elaboración propia)	60
3.35. Ejemplo de control de cortante en losas de acoplamiento (Elaboración propia)	62
3.36. Fuerza Cortante y Momentos flectores en acoplamiento con L=1.35m (Elaboración propia)	62
3.37. Fuerza Cortante y Momentos flectores en acoplamiento con L=1.55m (Elaboración propia)	63
3.38. Fuerza Cortante y Momentos flectores en acoplamiento con L=1.75m (Elaboración propia)	63
4.1. Comparación del ancho efectivo para $Y/X=0.1$ (Elaboración propia)	69
4.2. Comparación del ancho efectivo para $Y/X=0.2$ (Elaboración propia)	69
4.3. Comparación del ancho efectivo para $Y/X=0.4$ (Elaboración propia)	70
4.4. Comparación del ancho efectivo para $Y/X=0.6$ (Elaboración propia)	70

Índice de cuadros

1.1. Variables e Indicadores	6
3.1. Datos de modelos de acoplamiento tipo 1 para $Y/X=0.1$	42
3.2. Datos de modelos de acoplamiento tipo 1 para $Y/X=0.2$	42
3.3. Datos de modelos de acoplamiento tipo 1 para $Y/X=0.4$	42
3.4. Datos de modelos de acoplamiento tipo 1 para $Y/X=0.6$	43
3.5. Datos de modelos de acoplamiento tipo 1 para $Y/X=0.8$	43
3.6. Datos de modelos de acoplamiento tipo 2 para $Y/X=0.2$	46
3.7. Datos de modelos de acoplamiento tipo 2 para $Y/X=0.4$	46
3.8. Datos de modelos de acoplamiento tipo 2 para $Y/X=0.6$	46
3.9. Datos de modelos de acoplamiento tipo 2 para $Y/X=0.8$	47
3.10. Resultados del análisis del modelo convencional del edificio.	55
3.11. Resultados del análisis del modelo propuesto del edificio.	56
3.12. Resultados del análisis del modelo simplificado del edificio.	57
4.1. Contribución de las losas de acoplamiento en la rigidez lateral del edificio en dirección X	65

4.2. Contribución de las losas de acoplamiento en la rigidez lateral del edificio en dirección Y	65
4.3. Contrastación de resultados	68

Lista de Símbolos

L	Longitud de la losa de acoplamiento.
W	Longitud del muro acoplado.
X	Longitud del pórtico acoplado.
Y	Ancho tributario de la losa de acoplamiento.
Y_e	Ancho efectivo de la losa de acoplamiento.
D	Rigidez flexural de la losa.
E	Módulo de elasticidad del concreto.
I	Momento de Inercia.
t	Espesor de la losa.
M	Momento Flexionante.
k	Rigidez flexural de la sección efectiva de acoplamiento.
K	Rigidez adimensional de la losa de acoplamiento.
ν	Módulo de Poisson del concreto.
δ	Desplazamiento de muros debido a carga vertical.
θ	Giro de muros debido carga lateral.
K_{Lc}	Rigidez lateral del modelo convencional.
K_{Lp}	Rigidez lateral del modelo propuesto.
ϕ_{ac}	Refuerzo longitudinal por flexión en losa de acoplamiento.

Lista de Acrónimos

EMDL: Edificios de Muros de Ductilidad Limitada.

RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones.

NTP E.020: Norma Técnica Peruana de Cargas.

NTP E.030: Norma Técnica Peruana Sismorresistente.

NTP E.060: Norma Técnica Peruana de Concreto Armado.

ACI-318: Requisitos del Código de Construcción para Concreto Estructural del Instituto de Concreto Americano.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

En el Perú los sismos se presentan debido a que estamos ubicados en una zona de intensa actividad sísmica conocida como el cinturón de fuego del pacífico, por lo que nuestras edificaciones deben ser diseñadas para resistir ante la ocurrencia de cualquier evento sísmico. Blanco(2005)[?] menciona que desde el 2001 en el Perú se ha generalizado el uso de Edificios de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL) mediante el impulso del Gobierno para fomentar la construcción de viviendas económicas. Luego de conversatorios en el Colegio de Ingenieros del Perú en el año 2004 se obtuvo la norma para este tipo de edificios, en la que se especifica que las losas cumplen la función de diafragma rígido. Actualmente éstas se diseñan a efectos de gravedad y el tipo de refuerzo que se usa para las losas macizas es el armado en dos direcciones con acero convencional o malla electrosoldada. En este tipo de edificios no se cuentan con vigas, por lo que la losa podría tomar el papel de viga de acoplamiento de muros. Varias investigaciones se han enfocado en este tipo de funcionalidad de la losa, los estudios realizados fueron analíticos y experimentales tratados sobre el comportamiento de la losa como elemento de acoplamiento de muros en

edificios de muros de corte de grandes alturas (Surumi, et al, 2012)[1]

En un edificio de muros de ductilidad limitada aunque no sean de grandes alturas como los edificios de muros de corte, la losa también podría cumplir la función de viga de acoplamiento entre muros. Siendo el caso, estaría sometida a esfuerzos de corte y de flexión para los cuales no se diseñan actualmente.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema Principal

¿Cuál es el efecto de las fuerzas sísmicas sobre las losas en las zonas de acoplamiento entre éstas y los muros de un EMDL?

1.2.2. Problemas Secundarios

1. ¿Cómo analizar el efecto de las fuerzas sísmicas sobre las losas en las zonas de acoplamiento con los muros de un EMDL?
2. ¿Qué ocurre con la rigidez lateral del edificio al considerar la rigidez de las losas de acoplamiento?
3. ¿Qué tipo de reforzamiento requieren las losas en las zonas de acoplamiento ante las fuerzas mecánicas producidas por fuerzas sísmicas?

1.3. Justificación

Tras varias investigaciones, Coull y Wong (1985)[2] han concluido que las cargas horizontales producen esfuerzos considerables en las zonas de acoplamiento entre muros de corte, siendo necesario reforzar la losa en dichas zonas. Esto podría suceder también con las losas

de los EMDL, aunque estos son de mucha menor altura y con restricciones mas estrictas en cuanto a deformaciones, su comportamiento se asemeja al sistema de muros de corte. Por lo tanto, es posible realizar estudios analíticos basados en los estudios previos para determinar el nivel de influencia de las fuerzas sísmicas sobre las losas de un EMDL.

1.4. Importancia

Los EDML que se construyen en nuestro país en su mayoría son destinadas al uso de viviendas, por lo que se necesita tener estructuras seguras y garantizar su resistencia frente a las solicitaciones de carga reales. Aún no se ha podido observar el comportamiento de este tipo de edificios frente a un sismo de gran magnitud, por lo que es importante realizar los estudios necesarios para lograr que un EMDL responda adecuadamente frente a ellos. En el país, diferentes investigadores han estudiado el comportamiento de los EMDL mediante el estudios analíticos y ensayos experimentales, los cuales han servido en elaboración de la Norma Peruana. Sin embargo estas investigaciones aún no se han enfocado en el comportamiento sísmico de las losas.

La importancia de ésta investigación se centra en la seguridad de los habitantes y en la funcionalidad del edificio posterior a la ocurrencia de un evento sísmico.

1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1. Objetivo Principal

Analizar el efecto de las fuerzas sísmicas en las zonas de acoplamiento entre las losas y los muros de un EMDL para proponer un reforzamiento localizado.

1.5.2. Objetivos Secundarios

1. Calcular el ancho efectivo de la losa que cumple la función de acoplamiento de los muros de un EDML.
2. Cuantificar la contribución de rigidez de las losas de acoplamiento en la rigidez lateral del edificio.
3. Cuantificar la contribución de rigidez de las losas de acoplamiento en la rigidez lateral del edificio.
4. Calcular el refuerzo adicional que requiere la losa en las zonas de acoplamiento con los muros de un EMDL debido a fuerzas sísmicas.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis Principal

Si se consideran los momentos flectores y fuerzas cortantes como efecto de la carga sísmica en las zonas de acoplamiento entre losas y muros de un EMDL, éstos resultan ser superiores a los considerados por gravedad, por lo que la losa debe ser reforzada.

1.6.2. Hipótesis Secundarias

1. Si se tiene el ancho efectivo de la losa que participa en el acoplamiento de muros de un EMDL, se podrá analizar dicha sección como una viga de acoplamiento para calcular los esfuerzos a los que está sometida.
2. Si se consideran las losas de acoplamiento en el análisis de un EMDL, su rigidez contribuirá en la rigidez lateral del edificio considerablemente.

3. Si se brinda de refuerzo adicional concentrado en la losa en la zona de acoplamiento con los muros de un EMDL, ésta será resistente a los momentos flectores y fuerzas cortantes.

1.7. Metodología de Investigación

1.7.1. Tipo de Investigación

La investigación será del tipo cuantitativa.

1.7.2. Nivel de Investigación

En la presente investigación se pretende describir el fenómeno de acoplamiento que se produce entre la losa y los muros de un EMDL a partir de estudios previos sobre la losa de acoplamiento en Edificios de muros de corte. Por lo que el nivel de investigación es Descriptiva-Correlacional.

1.7.3. Diseño de Investigación

En la investigación se realizarán modelos de elementos finitos para el análisis, sin embargo la fuerza sísmica inducida será única y se medirán sus efectos sobre la losa de acoplamiento en un momento único, por lo que el diseño de la investigación será no experimental transeccional descriptivo.

1.7.4. Instrumento de recolección de datos

Para la recolección de datos se harán modelos de elementos finitos bajo características ya definidas para el modelamiento de EMDL que actualmente se usan. La idealización de las losas de acoplamiento se hará de acuerdo con los estudios previos en edificios de muros

de corte validados mediante estudios experimentales. Por lo que los resultados podrán asumirse confiables.

1.8. Variables e indicadores

Cuadro 1.1: Variables e Indicadores

VARIABLES INDEPENDIENTES	INDICADORES
Fuerza sísmica	Momentos Flectores (M) Fuerzas cortantes (V)
Disposición geométrica de los muros	Longitud del muro acoplado (W) Longitud de la losa de acoplamiento (L) Ancho tributario de la losa de acoplamiento (Y)
VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADORES
Rigidez de la losa de acoplamiento	Rigidez flexural de la sección efectiva de la losa (k) Rigidez a flexión de la losa (D)
Ancho efectivo de la losa de acoplamiento	Ancho efectivo (Ye) Ancho tributario de la losa de acoplamiento (Y)
Contribución en rigidez lateral del edificio	Rigidez lateral del modelo convencional (K_{Lc}) Rigidez lateral del modelo propuesto (K_{Lp})
Refuerzo concentrado	Refuerzo longitudinal por flexión (ϕ_{ac})

1.9. Periodo de Análisis

El periodo que abarca la presente investigación se inicia desde el establecimiento de la Norma para el Diseño de EMDL en el año 2004 hasta la actualidad.

Durante este periodo la vigencia de la Norma Técnica Peruana de Cargas (NTP E.020) rige hasta la actualidad, la Norma Técnica Peruana de Concreto Armado (NTP E.060) se modificó en el año 2009 y la Norma Técnica Peruana Sismorresistente (NTP E.030) en el año 2016.

1.10. Herramientas de Procesamiento de Datos

Al ser una investigación no experimental, los instrumentos utilizados son únicamente computacionales:

1.10.1. Análisis y Modelamiento

- ETABS
- Microsoft Excel

1.10.2. Programas de Dibujo

- AutoCAD
- WebPlotDigitizer

1.10.3. Edición de textos

- WinEdt 8.0
- Math Type
- TEXworks

Capítulo 2

Marco Teórico y Marco Conceptual

2.1. Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

Gran parte de los edificios de viviendas que se construyen en nuestro país tienen como sistema estructural losas y muros delgados denominados Edificios de Muros de Ductilidad Limitada(EMDL). En los últimos años el uso de este sistema se ha masificado debido a su rapidez de construcción y bajo costo, lo que lo convierte en una de las mejores alternativas de vivienda económica. Delgado(2006:1)[3]

A diferencia de los edificios de muros estructurales, los EMDL no pueden desarrollar desplazamientos inelásticos importantes. Sin embargo su comportamiento sísmico es similar. Es por ello que en esta investigación se tomará como referencia los estudios existentes sobre losas de edificios de muros de corte para analizar las losas de un EMDL.

2.1.1. Características Arquitectónicas

El RNE ha establecido las características arquitectónicas y habitacionales para edificios de vivienda económica, bajo las cuales se han desarrollado proyectos con las siguientes características, Delgado(2006:6-12)[3]:

1. Adoptan los valores mínimos para las áreas y dimensiones de los ambientes de los departamentos.
2. Anteriormente el número de pisos variaba entre 5 y 10, sin embargo la norma actual sismorresistente ha limitado 8 pisos como máximo.
3. Las edificaciones con más de 05 pisos deben contar con al menos 01 ascensor.
4. Los estacionamientos se redujeron a 01 por cada 03 viviendas, siendo ubicados por lo general exteriores a los edificios.
5. Generalmente se tienen departamentos con áreas entre 50 y 90 m^2 , siendo el caso más común los departamentos de aproximadamente 80 m^2 (según el RNE el área mínima es 40 m^2)
6. Presentan una distribución muy compacta, similar a la de los edificios de albañilería.
7. Suelen tener plantas con dos, tres o cuatro departamentos.
8. Las plantas están comúnmente compuestas por departamentos típicos modulares que facilitan la simetría de ésta.
9. La distribución arquitectónica típica cuenta por lo general con un dormitorio principal, uno o dos dormitorios típicos, un baño principal y en algunos casos uno de invitados, cocina-lavandería y una sala-comedor, ver Figura 2.3.
10. Los muros en su mayoría tienen una función estructural, así que no es posible cambiar o quitar muros a criterio de los usuarios para rediseñar la distribución de ambientes.
11. Los muros en su mayoría son estructurales por ser considerados, según las inmobiliarias, más económicos que ejecutar la partida adicional de tabiquería.

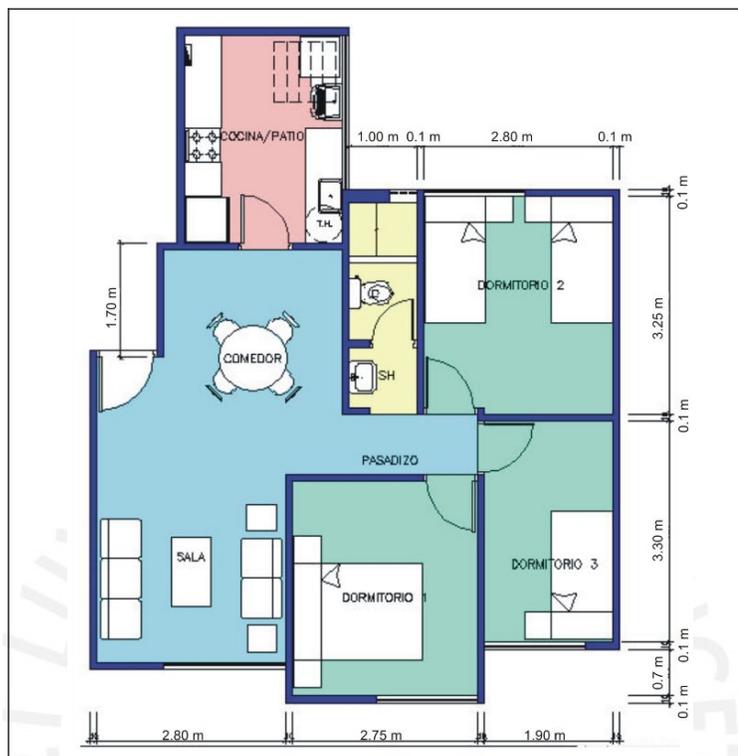


Figura 2.1: Distribución de un departamento típico.(Fuente: Delgado, 2006)

2.1.2. Características Estructurales

Los EMDL se caracterizan por tener un sistema estructural donde la resistencia sísmica y de cargas de gravedad en las dos direcciones está dada por muros de concreto armado que no pueden desarrollar desplazamientos inelásticos importantes. En este sistema los muros son de espesores reducidos, se prescinde de extremos confinados y el refuerzo vertical se dispone en una sola hilera. Los sistemas de piso son losas macizas o aligeradas que cumplen la función de diafragma rígido. NTP E.030[3] De algunos proyectos desarrollados se pueden mencionar las siguientes características, Muñoz(2004:2-20)[4]:

1. Por lo general, la cimentación que se usa para EMDL es la platea, que también sirve como contrapiso, cuyo espesor generalmente varía entre 0.20 y 0.25.
2. La altura de piso a techo varía entre 2.4 y 2.45, por lo que generalmente no se usan vigas de acoplamiento.

3. Los espesores de muros suelen ser de 0.10, 0.12 y 0.15, aunque en algunos casos se ensanchan hasta 0.20 m. para el paso de tuberías.
4. Poseen una alta densidad de muros por sus reducidas áreas de ambientes.
5. Las losas son macizas o aligeradas, las cuales se apoyan directamente en los muros.
6. Se tienen tres opciones para estructurar las losas. La primera y más usada es la de considerar losas de espesor 0.20 m en los baños y 0.10 m. en los demás ambientes debido a que las tuberías de instalaciones estarán embutidas dentro de la losa. La segunda opción es la de considerar el ensanche de 0.20 m sólo en los tramos de conexión entre los inodoros y el ducto. Y por último la tercera opción es la de considerar 0.10 m. de espesor en todos los ambientes, la solución usada para las instalaciones sanitarias es la de colgar las tuberías de la losa y cubrirlas con cielo raso.

2.1.3. Alcances del N.T.P. para EMDL

La norma Peruana para EMDL (2004:2-4)[5] tiene diferentes especificaciones sobre distorsiones, irregularidades y de materiales, además de especificaciones para el armado del refuerzo de muros, losas y cimentación. A continuación algunas especificaciones de la Norma Técnica Peruana actualizada al 2016:

Diseño Sismoresistente E.030

- Niveles de piso: El número máximo de pisos que se puede construir con este sistema es 08 pisos.
- Modelo de análisis: Un modelo aceptable para este tipo de edificios debe considerar la contribución de muros perpendiculares.

- Factor de reducción sísmica: $R=4$ ó $R=3$ para edificios irregulares.
- Distorsión: La deriva máxima de entrepiso no debe exceder a 0.005.
- Viga de Acoplamiento: Debe tener como mínimo 0.15 m de ancho y diseñarse para tener comportamiento dúctil.
- Regularidad: las condiciones de regularidad son las mismas que para los demás sistemas estructurales.

Adenda al la Norma de Concreto Armado E.060

- Resistencia del concreto: La resistencia a compresión del concreto debe ser como mínimo $175Kg/cm^2$.
- El acero del refuerzo: Para el refuerzo de muros el acero debe ser dúctil de grado 60 bajo ASTM A615 Y ASTM A706. Se puede usar malla electrosoldada corrugada con especificaciones ASTM A496 y A497 y de máxima fluencia $4200Kg/cm^2$ como refuerzo repartido de los muros de edificios de 03 pisos, para mayores pisos se debe usar acero en el tercio inferior de la altura.
- Diseño de losas: Se podrá emplear malla electrosoldada, debiéndose cumplir los espaciamientos máximos indicados en el artículo 11.5.4 de la Norma E.060. También se podrá emplear redistribución de momentos hasta de un 20% sólo cuando el acero de refuerzo cumpla las especificaciones ASTM A615 Y ASTM A706.

2.2. Muros de Corte Acoplados

Los muros de corte acoplados son populares formas de altos edificios donde los muros de corte son directamente conectados a las losas obviando la necesidad de falsos techos, de

este modo se reduce la altura del edificio para el mismo número de pisos. La figura 2.2 muestra la perspectiva de un edificio de muros de corte donde dos filas de departamentos son conectados por un corredor común y los muros divididos son tratados como muros de corte. (Hossain, 2003:1)[6]

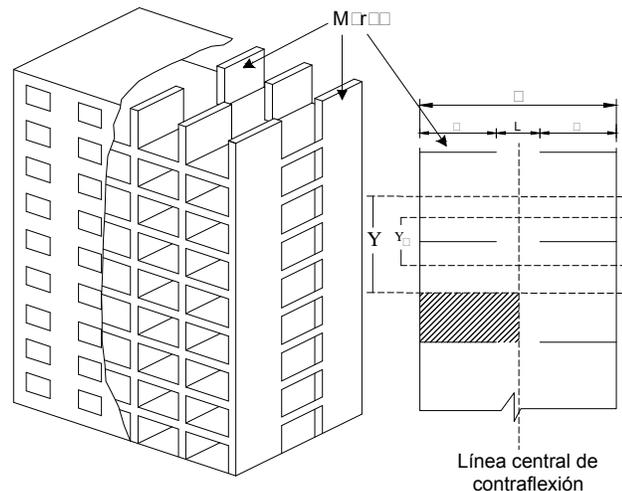


Figura 2.2: Esquema y disposición en planta de una estructura de muros acoplados por losas.(Fuente: Hossain,2003)

[1, 2012, pág. 1-2] En las estructuras de muros de corte acoplados los muros cargan tanto fuerzas de gravedad como fuerzas laterales y las losas actúan como diafragma distribuyendo las cargas horizontales a los muros de corte. Ambos en conjunto actúan como un marco rígido resistente a cargas de gravedad y fuerzas laterales. En este sistema la conexión losa-muro es un elemento resistente clave que está sujeto a grandes concentraciones de esfuerzos, por lo que el desempeño de la conexión puede influenciar en la distribución de las fuerzas laterales entre los elementos verticales. Además una parte significativa de la disipación de energía tiene lugar en el sistema de acoplamiento.(Surumi et al, 2012:1-2)[1]

Los muros de corte además de cumplir su función estructural, cumplen la función arquitectónica de dividir ambientes. La disposición de muros en corredores y fachadas longitudinales está provista de aberturas para el acceso a las áreas y balcones, estos muros

longitudinales actúan como bridas para los muros transversales y es en las zonas de aberturas en las que se produce el acoplamiento.

2.2.1. Comportamiento de Muros de Corte

En la figura 2.3 se muestran 3 disposiciones de muros de corte, en los que el momento de vuelco M_o es resistido en la base. Cuando el muro tiene una división y está acoplado por viga o losa, se producen momentos en cada muro y un par de fuerzas axiales que producen momento. De una simple formulación de equilibrio se tiene que: $M_o = M_1 + M_2 + lT$, donde M_o es el momento en la estructura debido a carga lateral y los términos T y l se pueden ver en la Figura 2.3(c), siendo T la fuerza axial inducida al muro. (Paulay y Taylor, 1981:130-131) [7]

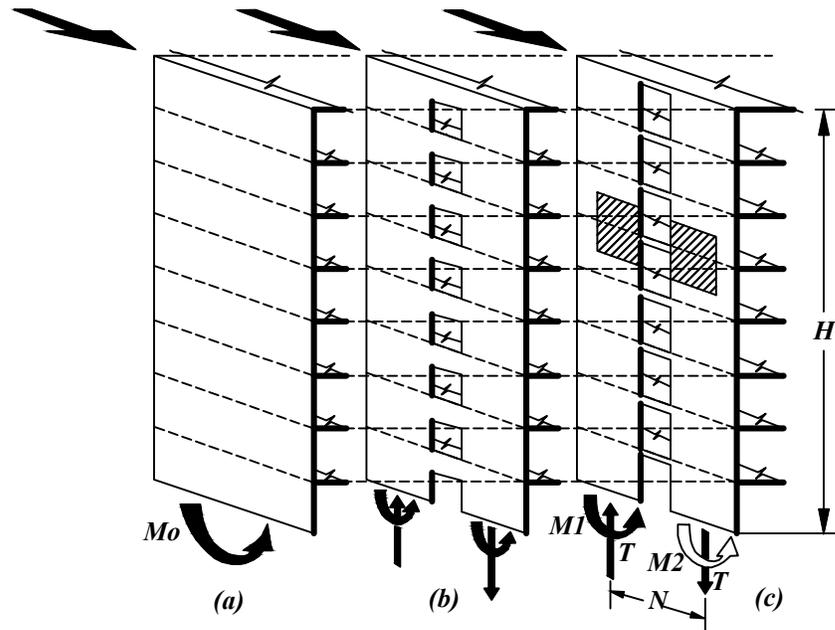


Figura 2.3: Tipos de muros de corte resistentes a sismo. a) Muro en voladizo. b) Muros acoplados por vigas. c) Muros acoplados por losas. (Paulay y Taylor, 1981)

Las magnitudes relativas de los componentes del momento de vuelco en muros acoplados se muestran en la Figura 2.4. Se observa que la viga de acoplamiento desarrolla grandes

fuerzas cortantes que consecuentemente producen fuerzas axiales en los muros. Debido a que la mayor parte de resistencia a flexión se da en el elemento de acoplamiento, éste se convierte en el principal elemento de disipación de energía durante un evento sísmico. Con un adecuado sistema de acoplamiento la disipación de energía se dispersa a lo alto de la estructura y se minimiza la demanda de ductilidad en los muros.

Por otro lado, cuando el elemento de acoplamiento es la losa, las fuerzas axiales inducidas a los muros son menores debido a su flexibilidad respecto de los muros. Consecuentemente la principal fuente de resistencia contra el momento de vuelco y disipación de energía será la base de los muros. Sin embargo, aunque la losa no esté afectada por grandes fuerzas cortantes como las vigas de acoplamiento, los esfuerzos cortantes en la losa no dejan de ser elevados para su sección efectiva.

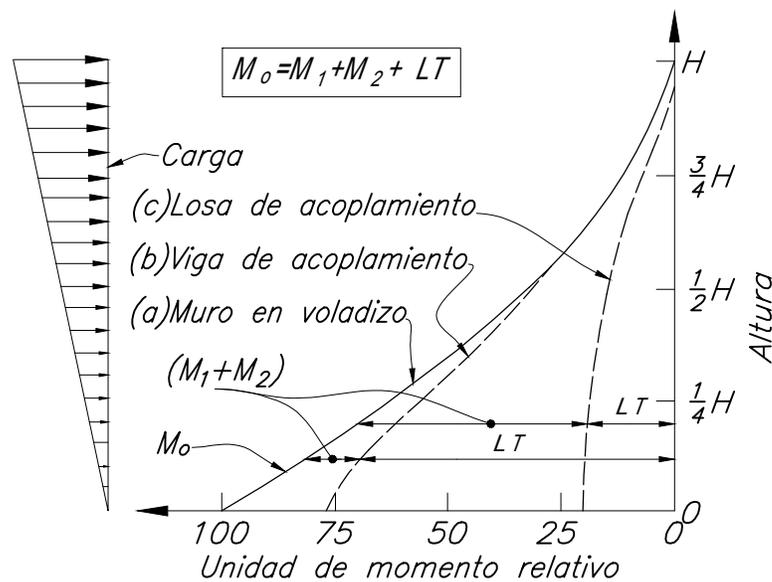


Figura 2.4: Relación entre las acciones internas de muros de corte acoplados cargados lateralmente (Fuente: Paulay y Taylor, 1981)

2.2.2. Vigas de Acoplamiento

Las vigas de acoplamiento de muros de corte generalmente son cortos y peraltados, por ello su comportamiento a flexión puede estar asociada con grandes fuerzas cortantes. En consecuencia se puede producir falla por tensión diagonal, que puede ser evitada proporcionando estribos adecuados para resistir las fuerzas cortantes cuando se produzca la máxima flexión sin llegar a fluir. La falla por tensión diagonal ocurre en el apoyo, producto del agrietamiento del concreto que llega a formar un plano potencial de deslizamiento, de este modo la viga pierde progresivamente su capacidad de disipación de energía. Para mejorar la respuesta a la histéresis de la viga se ha establecido que la transferencia de cargas entre muros acoplados se produzca a través de barras diagonales que unan los extremos. Se ha observado que para vigas con relación longitud-peralte entre 3 y 4 este tipo de armado brinda a la viga de gran estabilidad en su respuesta a histéresis. (Paulay y Taylor, 1981:131)[7]

Dada la característica de la asunción de alturas mínimas de entrepiso ya sea para edificios de muros de corte o EMDL, se restringe el uso de vigas peraltadas, por lo que la función de acoplamiento es adoptada por la losa.

2.3. Losas de Acoplamiento

En la Figura 2.5(a) se muestra una parte de losa típica de edificios de muros de corte. Debido a que los muros son afectados por carga horizontal, estos tienden a flexionarse provocando la rotación de los muros. La losa es forzada a rotar y flexionarse fuera del plano donde ésta conecta rígidamente a los muros (Fig.2.5(b)). Debido al gran peralte del muro se producen considerables efectos de corte sobre la losa, la cual desarrolla reacciones transversales para resistir la deformación de los muros (Fig.2.5(c)), además induce fuerzas axiales de tensión y compresión en los muros. Debido al gran brazo de palanca, pequeñas

fuerzas axiales pueden dar lugar a momentos sustanciales de resistencia, de ese modo se reducen grandemente los momentos sísmicos en los muros y se incrementa la rigidez lateral de la estructura. Una situación similar surge si la deformación vertical relativa de los muros y los efectos en la losa son similares a los producidos por la rotación paralela de los muros causado por flexión (Fig.2.5(d) y (e)). En ese caso la transferencia de momento de los muros a las losas dan lugar a fuerzas de corte continuamente distribuidas a lo largo de la conexión. (Coull y Wong, 1983:110-112) [8]

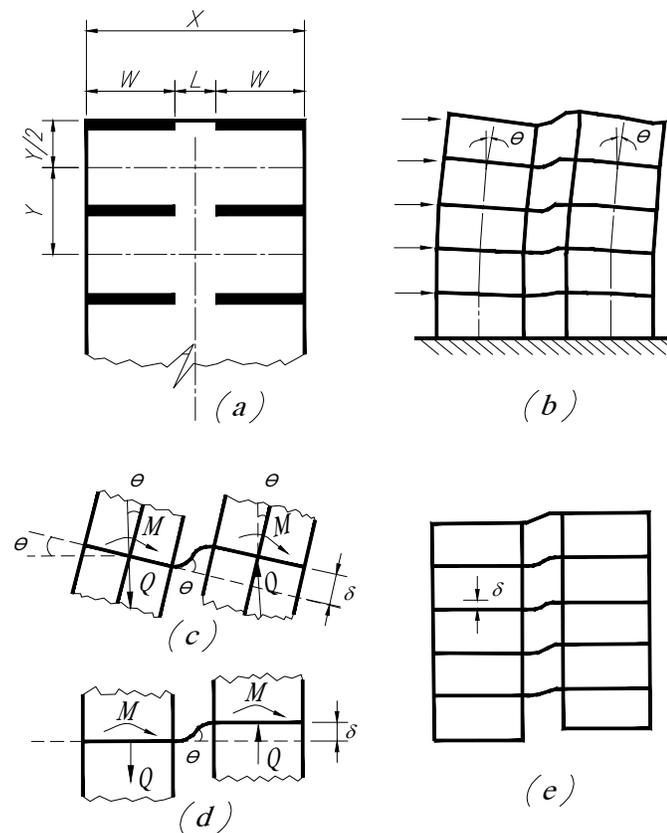


Figura 2.5: Acción estructural de muros de corte acoplados por losas sujetos a carga lateral o desplazamientos verticales diferenciales.(Fuente: Coull y Wong, 1983)

El análisis de estructuras de muros de corte acoplados se puede realizar utilizando técnicas existentes, Issani (2012:9-10)[9] realizó una breve descripción de varias investigaciones previas que se centraron en la búsqueda del ancho efectivo y la resistencia de la losa a flexión:

Barnard y Schwaighofer (1967) utilizaron la teoría Rossman (1964) para resolver las esfuerzos en las losas que conectan muros, con la asunción de tomar todo el ancho de la losa como ancho efectivo, sus resultados fueron validados mediante análisis teóricos y modelos de prueba. Sin embargo, tras la discusión del mismo paper, Choudury(1968) concluyó que tomar todo el ancho de la losa como efectivo puede conducir a errores en la estimación de esfuerzos.

Choudhury (1968) probó modelos de losas de acoplamiento de muros y encontró que sólo el 25% del ancho es efectivo, validó sus resultados a través de modelos de elementos finitos.

Qadeer y Smith (1969) analizaron la losa con el método de diferencias finitas y lo validaron mediante resultados experimentales. Desarrollaron un conjunto de curvas relacionando parámetros geométricos, tales como el ancho de la losa, la longitud de la losa, el ancho de la abertura y el ancho eficaz. Se encontró que las relaciones L/X y Y/X tiene efecto significativo sobre Y_e . A partir de ellas, Michael(1969) presentó una única curva para Y_e .

Huq (1974) el ancho efectivo de la losa fue evaluada en función de la abertura entre muros y se encontró que éste aumenta con el incremento de L/X . Un modelo hecho de micro concreto fue probado y se encontró que la deformación y como consecuencia el esfuerzo de la losa no era consistente bajo carga lateral. Además se concluyó que el ancho efectivo decrece con el incremento de la carga.

Tso y Mahmoud (1977) usaron elementos finitos para analizar los esfuerzos con acoplamiento lineal, en T y muros de caja de ascensor para obtener la rigidez del sistema de muros acoplados por losas. Se encontró que el efecto de la rigidez adicional de la losa de acoplamiento es significativa sólo cuando la abertura del muro es pequeño comparado con el largo del muro.

2.3.1. Rigidez a Flexión de Losas de Acoplamiento de Muros de Corte

Las Figuras 2.6 y 2.7 muestra la simulación del del comportamiento a flexión del sistema de muros de corte acoplados por losas (Hossain,2003). Los muros de corte acoplados resisten carga lateral debido a la flexión y rotación de las losas que generan momentos resistentes debido a fuerzas de tensión y compresión en los muros. En la figura se ilustra la distribución de momento en la losa mediante el diagrama M/EI , donde E e I representan el módulo de elasticidad del material y el segundo momento de área de la losa respectivamente. Se muestra que el momento tiende a cero en el punto de contraflexión en el centro de la abertura entre muros desde el máximo valor en el centro del muro.

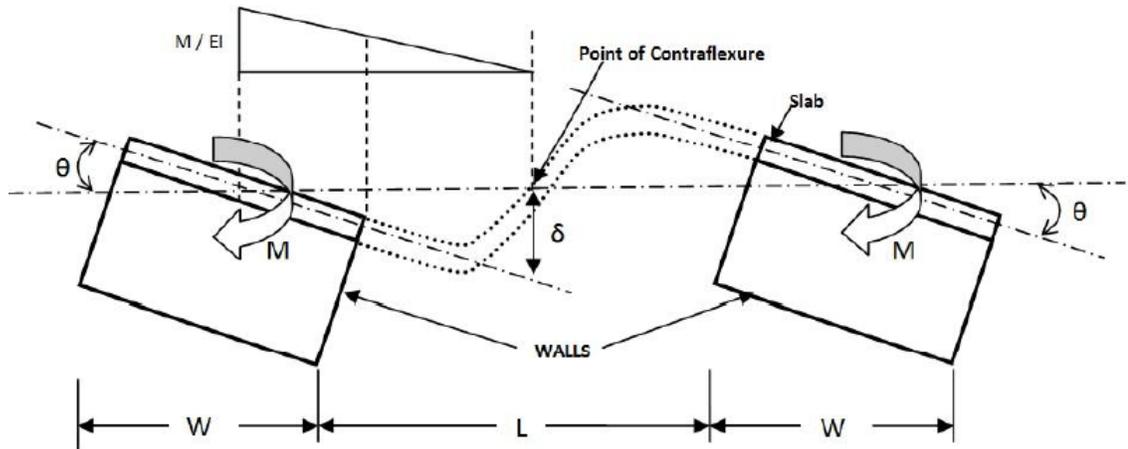


Figura 2.6: Reacción de muros de corte acoplados bajo carga lateral.(Fuente: Coull y Wong,1983)

Coull y Wong (1981)[8] y Hossain (2003)[6] analizaron el esfuerzo de flexión a través del ancho de la losa y la respuesta $M - \theta$ del sistema mediante un modelo de elementos finitos basados en investigaciones experimentales. La rigidez a flexión de la losa de acoplamiento puede ser definida como rigidez rotacional o traslacional. Por conveniencia ambas rigideces pueden ser definidas por:

$$k = \frac{M}{\theta D} \quad (2.1)$$

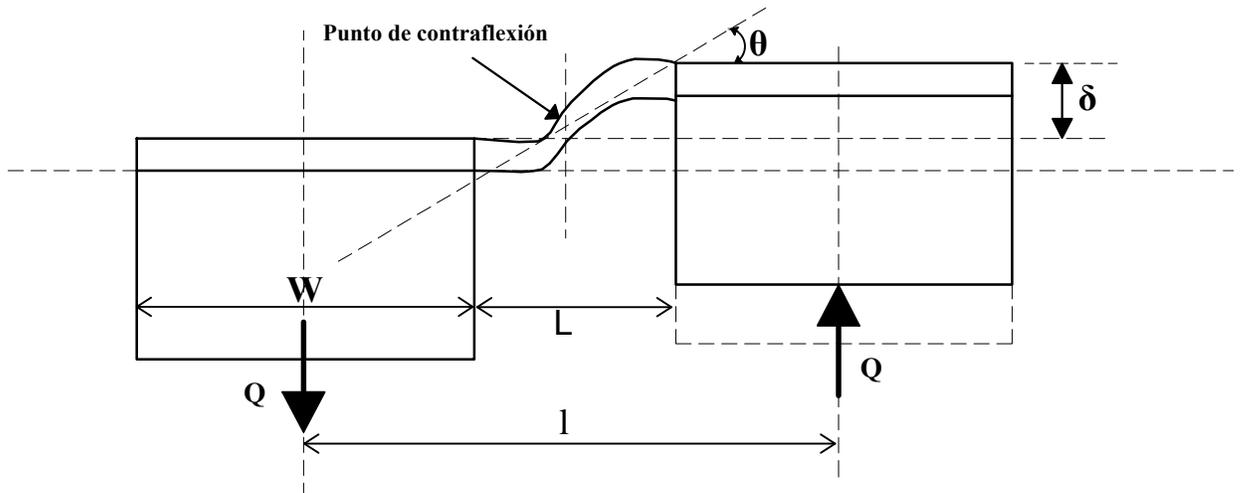


Figura 2.7: Reacción de muros de corte acoplados bajo carga vertical.(Fuente: Coull y Wong,1983)

Fuente: Coull y Wong (1983)

$$k_{\delta} = \frac{VL^2}{\delta D} \quad (2.2)$$

Donde, t es el espesor de la losa, ν es la relación de Poisson para el material de la losa y D es la rigidez a flexión de la losa, definida por:

$$D = \frac{Et^2}{12(1 - \nu^2)} \quad (2.3)$$

De la Figura 2.6,

$$\theta = \frac{\delta}{\left(\frac{L+W}{2}\right)} = \frac{2\delta}{L+W} \quad (2.4)$$

Considerando la losa como una viga de sección equivalente,

$$\delta = \frac{M}{12EI} \frac{L^3}{L+W} \quad (2.5)$$

Respecto de las Figuras 2.6 y 2.7, la fuerza de corte por piso es: $Q = \frac{M}{L+W}$. Sustituyendo los valores de V y Q en la ecuación anterior,

$$V = \frac{12EI\delta}{L^3} = \frac{M}{L+W} \quad (2.6)$$

$$\frac{V}{\delta} = \frac{12EI}{L^3} \quad (2.7)$$

Reemplazando la ecuación anterior,

$$k_\delta = \frac{12EI}{L^3} \frac{L^2}{D} = \frac{12EI}{LD} \quad (2.8)$$

$$\frac{M}{\theta} = \frac{6EI(L+W)^2}{L^3} \quad (2.9)$$

Sustituyendo éstos valores en la Ecuación, se obtiene:

$$k = \frac{6EI(L+W)^2}{L^3D} \quad (2.10)$$

Donde, I es el segundo momento de área de losa de acoplamiento expresada como $\frac{Y_e t^3}{12}$ y t el espesor de la losa.

Paulay y Taylor (1981:139-140)[7] tras su estudio experimental concluyeron que la reducción de rigidez de la losa es significativa cuando se incrementa el desplazamiento y como consecuencia el incremento de la demanda de ductilidad durante la carga cíclica invertida. La rigidez observada en la etapa final del experimento fue menor al 10% de la rigidez encontrada en el primer ciclo de carga.

2.3.2. Ancho Efectivo de Losas de Acoplamiento

Surumi, et al.(2012)[1] Los modelos de dos dimensiones para el análisis de muros de corte asumen que los muros están conectados por vigas. Sin embargo cuando los muros están conectados sólo por losas la verdadera rigidez de una viga equivalente es menor que la rigidez total de la losa considerando todo el ancho. Por conveniencia ésta puede ser asumida como una parte de la losa, denominada “Ancho efectivo”

Para evaluar el ancho efectivo de la losa varios investigadores han estudiado la naturaleza de la interacción entre los muros de carga lateral las losas de acoplamiento, los estudios fueron experimentales y analíticos.

El ancho efectivo de las losas de acoplamiento pueden ser expresadas en términos de características geométricas y materiales del sistema de muros de corte acoplados como una viga equivalente, por las ecuaciones, en términos de rigidez rotacional y traslacional.

Para rigidez rotacional:

$$\frac{Y_e}{Y} = \frac{k}{6(1 - \nu^2)} \left(\frac{L}{Y} \right) \left(\frac{L}{L + W} \right)^2 \quad (2.11)$$

Para rigidez traslacional:

$$\frac{Y_e}{Y} = \frac{k_\delta}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{L}{Y} \right) \quad (2.12)$$

Ambas ecuaciones fueron usadas en la búsqueda del ancho efectivo por muchos investigadores en el pasado. La influencia de la geometría de muros y losas en el ancho efectivo de la losa fue el principal problema de muchos investigadores. El ancho efectivo Y_e es establecido con respecto al ancho de losa Y , y la relación Y_e/Y es expresada como una función de L/Y y $L(L+W)$. El ancho efectivo incrementa con el incremento del ancho de la losa, como la losa es amplia debería proporcionar mayor restricción que las estrechas contra la acción de la flexión en la estructura de muros de corte acoplados. La influencia

resultante de la losa es más fuerte cuando Y/X , es más pequeña que L/X . Cuando Y/X es más grande que L/X , la influencia del ancho de la losa tiende a reducirse. Cuando Y/X llega a ser tres veces L/X , el ancho de la losa no tiene efecto en el ancho efectivo de la losa.

Hossain (2003)[6] presentó curvas para evaluar $\frac{Y_e}{Y}$ y concluyó que la influencia de ancho de la losa es mayor cuando Y/X es menor que L/X , pero cuando Y/X es mayor que L/X , la influencia decrece rápidamente. Se concluyó además que la influencia del extremo externo del muro puede ser ignorada.

La investigación de Hossain incluyó el comportamiento no lineal de la losa de acoplamiento a través de elementos finitos, cuyos resultados fueron validados experimentalmente. Se desarrolló un programa de elementos finitos no lineal teniendo en cuenta que el concreto reforzado es un material no lineal, por lo que la rigidez a flexión y el ancho efectivo de la losa son afectados por el agrietamiento del concreto y la fluencia del acero.

La discretización de elementos finitos usada se muestra en la Figura 2.8, el principal objetivo fue simular el comportamiento de las losas en la resistencia de la rotación del muro θ debido al momento equivalente en el muro, resultado de la acción estructural de acoplamiento de muros de corte, como se muestra en la Figura 2.9. La rotación θ fue aplicada incrementalmente y en cada incremento de carga tanto como la propagación del agrietamiento, los esfuerzos y deformaciones en el acero y los modos de falla fueron investigados.

Las reacciones en todos los nodos proporcionan el momento equivalente estático en el muro, M , y la fuerza cortante total Q , transferida del muro a la losa cuando el muro fue sometido a la traslación relativa debido a la rotación θ . La rotación del muro fue incrementado gradualmente, proceso en el que el momento en el muro fue evaluado en cada rotación. De este modo la relación $M-\theta$ fue evaluada durante toda la etapa de carga.

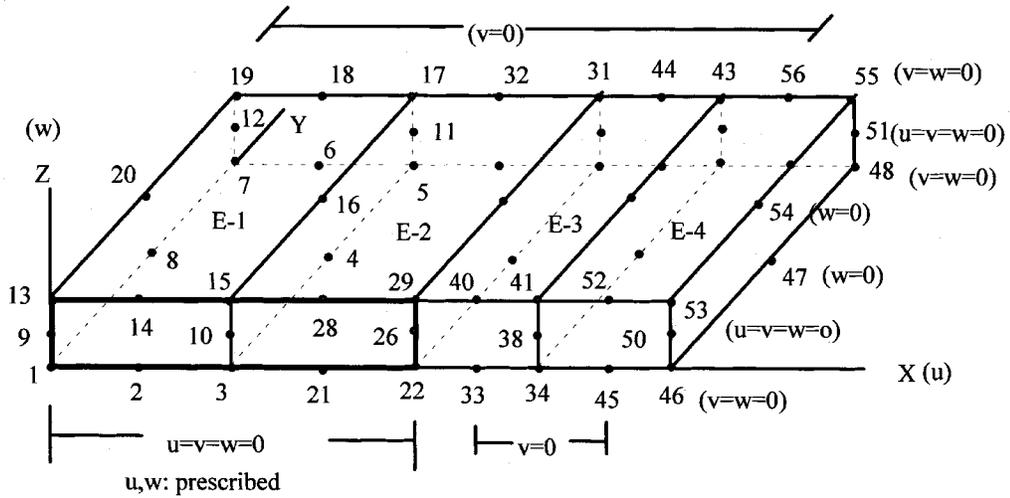


Figura 2.8: Discretización de elementos finitos. (Fuente: Hossain, 2003)

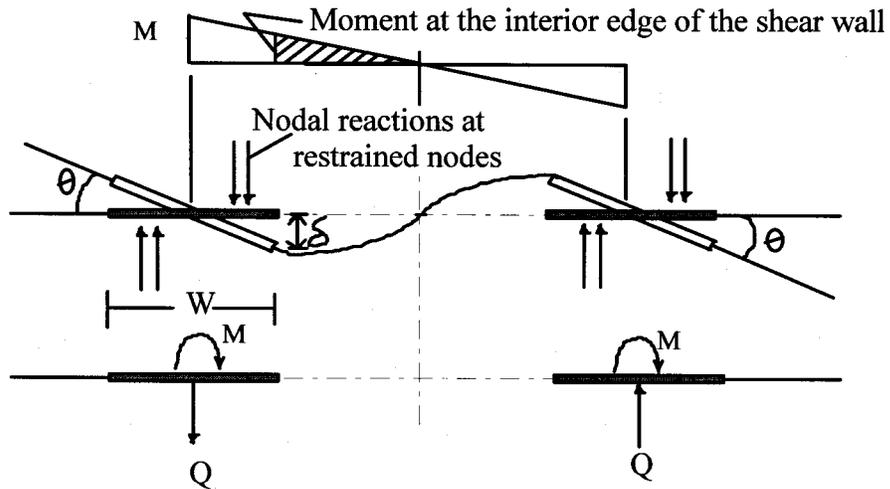


Figura 2.9: Diagrama de carga y momento sobre los muros acoplados. (Fuente: Hossain, 2003)

Usando las ecuaciones 2.1 y 2.11 el parámetro de rigidez a flexión K , el ancho efectivo de las losas y sus variaciones a través del proceso de carga fueron evaluados.

Capítulo 3

Desarrollo de la Investigación

3.1. Metodología

La metodología empleada comprende tres fases: La primera fase es la de identificación de las zonas de acoplamiento mediante el modelamiento previo de un EMDL. Para la segunda fase se ha empleado la metodología de las investigaciones previas, que consiste en:

- Formular la relación entre la rigidez K de la losa de acoplamiento y su ancho efectivo en función de las disposiciones geométricas de los muros acoplados.
- Construir un modelo de elementos finitos de los muros acoplados por losa y someter a los muros al giro θ para obtener la rigidez rotacional $\frac{M}{\theta}$ y finalmente encontrar el valor del parámetro de rigidez a flexión de la losa de acoplamiento K .
- Obtener el valor del ancho efectivo Y_e a partir del parámetro de rigidez a flexión K y las condiciones geométricas.

Como tercera fase, se calcularon los anchos efectivos para todas las zonas de acoplamiento que se presentan en el edificio estudiado aplicando el procedimiento de la fase dos, éstos

anchos calculados fueron incluidos en el modelo propuesto del edificio como vigas del ancho calculado y de peralte igual a la losa. En la cuarta y última fase, tras el análisis del modelo final del edificio, se obtuvieron los valores de momento flector y fuerza cortante en las losas de acoplamiento, para los cuales se planteó el refuerzo local y alternativas de solución ante el sobre-esforzamiento.

3.2. Identificación de las Zonas de Acoplamiento

De las investigaciones anteriores se puede calcular el ancho efectivo de una losa que acopla dos muros de igual longitud, por ejemplo, mediante las curvas obtenidas por Hossain(2003)[6]. Sin embargo, en un EMDL se presentan diferentes disposiciones geométricas de muros acoplados por la losa, es por ello que se identificaron las zonas típicas de acoplamiento para el edificio empleado como caso de estudio en la presente investigación. A continuación se describen brevemente las características del edificio y las consideraciones adoptadas para el análisis previo del edificio en la fase de identificación de zonas de acoplamiento.

3.3. Caso de Estudio: Edificio Multifamiliar de Muros de Ductilidad Limitada

3.3.1. Descripción

El edificio en estudio pertenece a un condominio de edificios destinados al uso de viviendas multifamiliares económicas. El área por planta es de $619m^2$ y el área total techada es de $3714m^2$. La planta típica comprende una longitud de 42.5 m por un ancho de 17.65 m.

3.3.2. Ubicación

El proyecto está ubicado en la Av. Garcilazo de la Vega s/n, el distrito de Challapampa, provincia de Cerro Colorado, departamento de Arequipa. La zona en la que se encuentra pertenece a la zona 4 según la zonificación sísmica de la normativa peruana.

3.3.3. Arquitectura

La planta de arquitectura se muestra en la Figura 3.1. Ésta planta de arquitectura tiene la distribución típica de un EMDL en el que se adoptan las áreas mínimas reglamentadas para cada ambiente. El edificio cuenta con 8 departamentos por nivel, cada departamento cuenta con tres habitaciones, la principal con baño incluido, un baño de visitas, estar, sala-comedor y cocina. La altura de piso típico es 2.50 m y en total el edificio tienen 15.0m. de altura. En el Anexo II se muestran la planta y elevación del edificio.

3.3.4. Estructuración

Muros En la Figura 3.2 se muestran los muros que serán estructurales de espesor 0.10 m, dimensión que cumple con el requisito de espesores mínimos de la Norma E-060. Como se muestra, los muros de arquitectura en su mayoría son estructurales.

Losas Se consideraron losas de 0.10 m. en todos los ambientes, optando por la opción de tuberías colgadas y cubiertas con cielo raso en zona de baños.

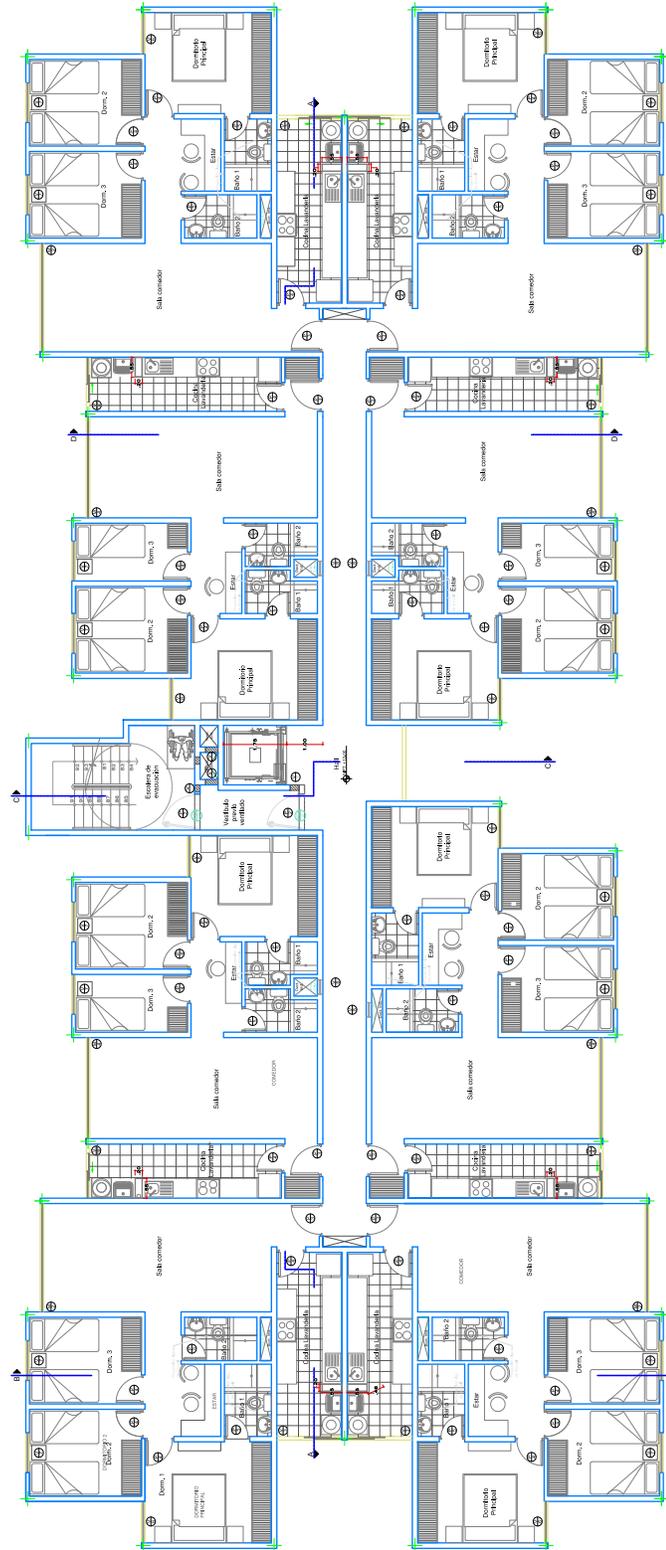


Figura 3.1: Planta de arquitectura

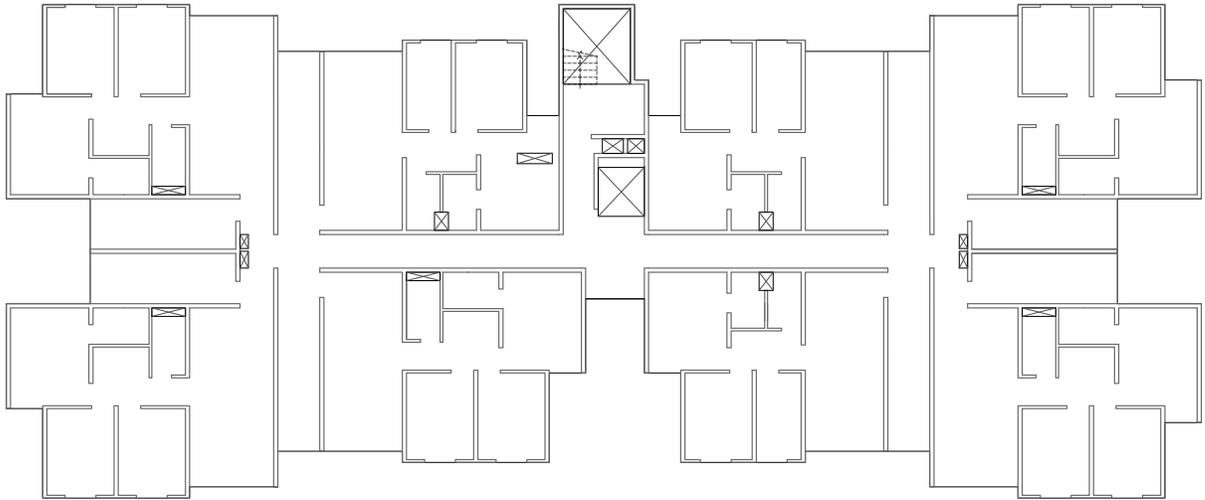


Figura 3.2: Estructuración (Elaboración propia)

3.3.5. Cargas

Cargas de Gravedad

- Carga Muerta: Compuesta por el peso propio de la losa y el peso de los acabados. Para EMDL se asumieron $50Kg/m^2$ de acabados por tratarse de vivienda económica.
- Carga Viva: Según la Norma E-020 de la NTP, la sobrecarga para viviendas es de $200 Kg/m^2$ en todos los niveles excepto en la azotea, donde se consideró $100Kg/m^2$.

Carga Sísmica

Según la Norma E-030 de la NTP los parámetros sísmicos son los siguientes:

- Factor de zona : $Z=0.45$
- Factor de uso : $U=1.0$
- Coeficiente de Reducción: $R=4$
- Suelo : Tipo 2

Para un suelo tipo 2 y zona 4 los parámetros de sitio según las tablas N° 3 y 4 de la Norma Sismo-resistente son:

- Parámetro de suelo : $S=1.05$
- Periodos : $T_p=0.6$ y $T_L=2.0$

Factores por Irregularidad

- Irregularidad en planta: El edificio presenta esquinas entrantes cuyas dimensiones no superan el 20 % de longitud o ancho total de la planta, y las discontinuidades del diafragma se presentan en pequeños ductos que no representan un área mayor al 50 % del área total de la planta. Por lo que se descarta la irregularidad en planta.
- Irregularidad en altura: no se presenta ningún caso por ser de plantas iguales para todos los pisos.

Por lo tanto el Edificio se califica como Regular.

Espectro Sísmico

El espectro de Pseudoaceleraciones resultante de los factores descritos previamente se muestran en la Figura 3.9.

3.3.6. Modelamiento Previo del Edificio

Se ha modelado el edificio en Etabs bajo las características estructurales mencionadas, debido a que el edificio tiene distribución casi simétrica se ha modelado solo la mitad. En ésta etapa el objetivo fue identificar las zonas de acoplamiento, por lo que como modelo previo al análisis del edificio se emplearon losas del tipo *Shell – thin*. El elemento

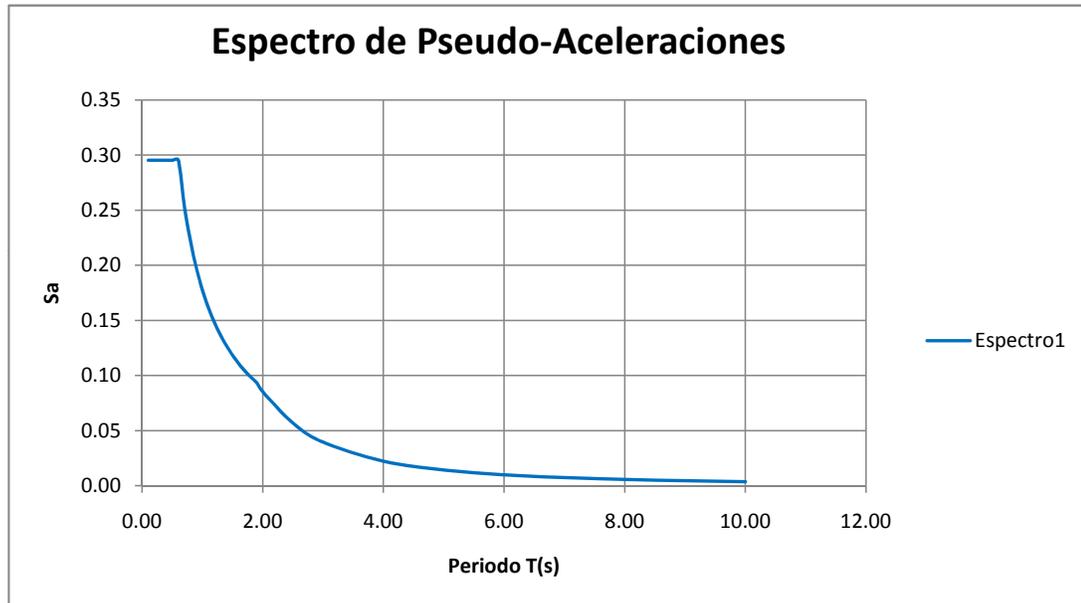


Figura 3.3: Espectro de Pseudoaceleraciones (Elaboración propia)

Shell–thin nos permite observar el diagrama de momentos flectores en la losa ocasionado por la deformación de muros por efecto de la fuerza sísmica.

Las zonas de acoplamiento se identificaron mediante los diagramas de momentos flectores que se reflejan en las figuras que siguen: Las Figuras 3.4 y 3.5 muestran los diagramas de momentos flectores M_{xx} y M_{yy} respectivamente para el sismo en dirección X y las Figuras 3.6 y 3.7 muestran los diagramas de momentos flectores M_{xx} y M_{yy} para el sismo en dirección Y.

3.3.7. Disposiciones Típicas de Acoplamiento

Del análisis previo se identificaron tres disposiciones de muros en los que la losa cumple la función de acoplamiento.

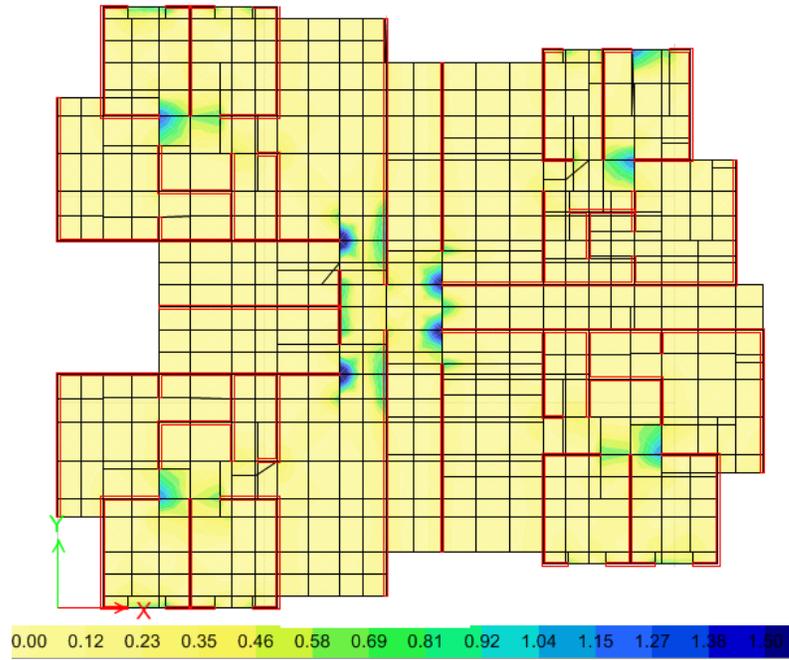


Figura 3.4: Diagrama de momentos M_x-x debido al Sismo en dirección X (Elaboración propia)

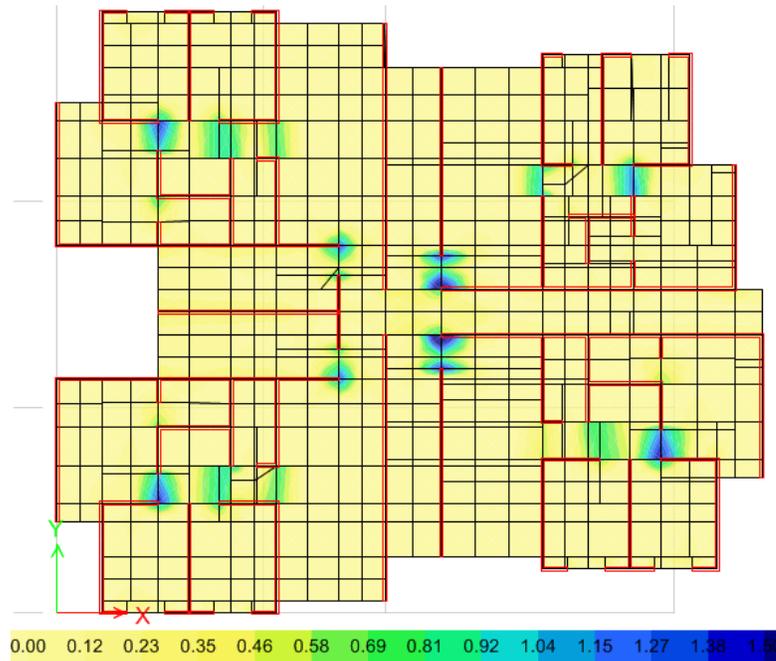


Figura 3.5: Diagrama de momentos M_y-y debido al Sismo en dirección X (Elaboración propia)

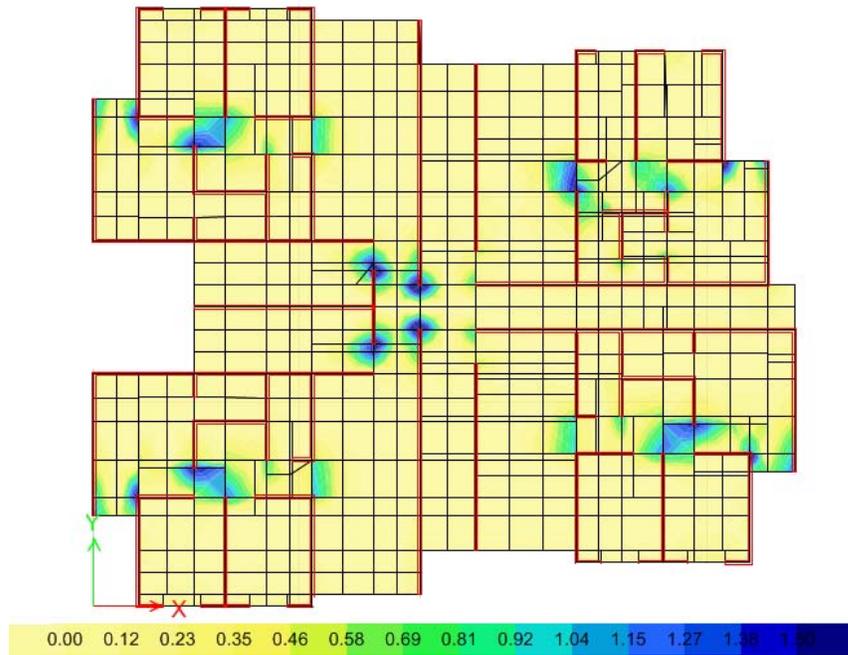


Figura 3.6: Diagrama de momentos M_x-x debido al Sismo en dirección Y (Elaboración propia)

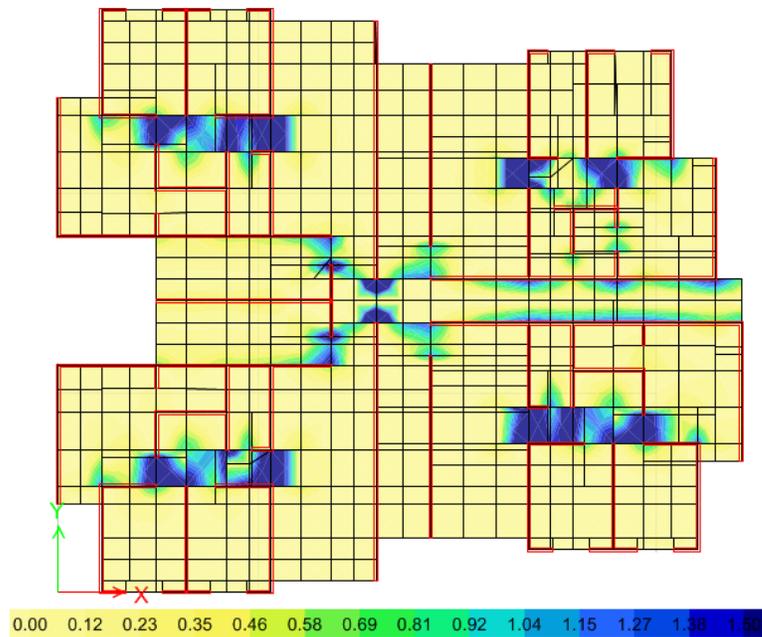


Figura 3.7: Diagrama de momentos M_y-y debido al Sismo en dirección Y (Elaboración propia)

Acoplamiento Tipo 1

En ésta disposición los muros acoplados están ubicados linealmente y la losa se ve afectada por el desplazamiento vertical de ambos muros debido a las fuerza sísmica en la dirección de los mismos, ver Figura 3.8.

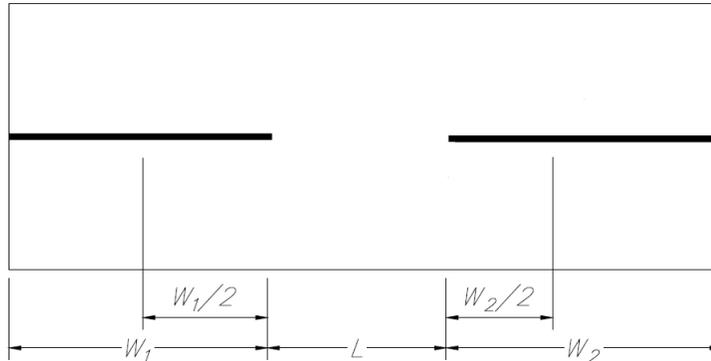


Figura 3.8: Acoplamiento tipo 1 (Elaboración propia)

Acoplamiento Tipo 2

La ubicación de muros en ésta disposición es ortogonal, en la que la losa es más afectada por la deformación del muro colineal con la longitud de la losa de acoplamiento, ver Figura 3.9.

Acoplamiento Tipo 3

En ésta disposición los muros también están ubicados ortogonalmente, sin embargo la losa se ve más afectada por la deformación del muro perpendicular a la longitud de la losa de acoplamiento. Ver Figura 3.10.

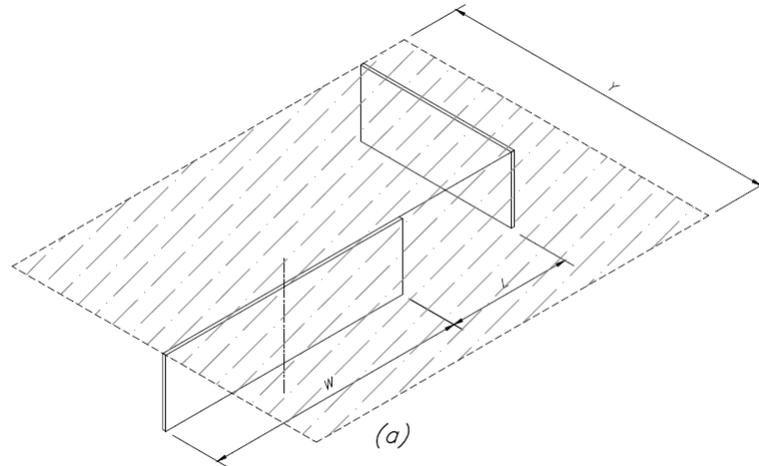


Figura 3.9: Acoplamiento tipo 2 (Elaboración propia)

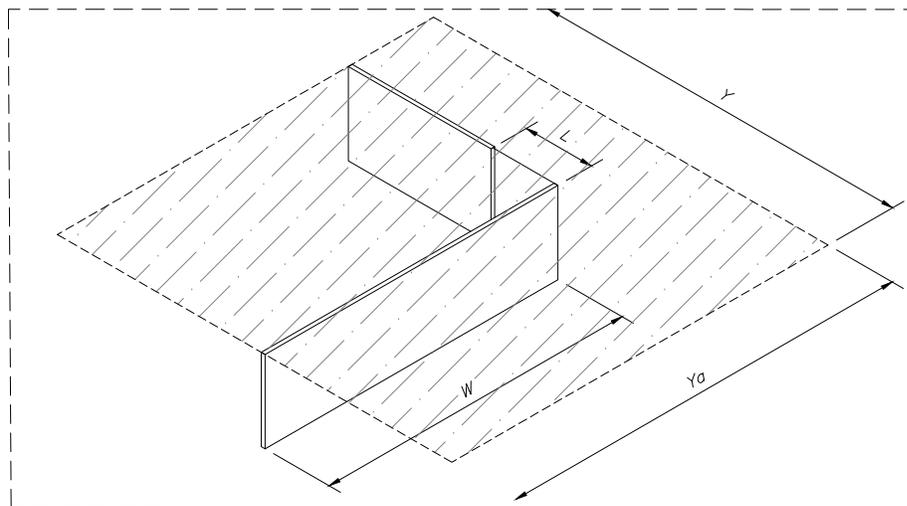


Figura 3.10: Acoplamiento tipo 3 (Elaboración propia)

3.4. Construcción del modelo matemático

Las formulaciones que se presentan a continuación están basadas en las investigaciones previas de Mahmoud(1976), Coull y Wong (1983 y 1985)[8][2], Hosssain(2003)[6] e Issani (2012)[9]. Quienes establecieron la formulación de la rigidez adimensional de la losa de acoplamiento y su ancho efectivo en función de las relaciones entre la longitud del vano o abertura entre muros L , la longitud total del pórtico acoplado y la distancia Y del pórtico a los próximos en la misma dirección. Las formulaciones se desarrollaron para cada tipo

de disposición de acoplamiento como sigue:

3.4.1. Disposición Tipo 1

Los muros acoplados sujetos a carga lateral deforman lateral y rotacionalmente en la misma medida por estar unidos mediante el diafragma rígido. La rotación de los muros es en la misma dirección, por lo que se producen deformaciones diferenciales en los extremos de cada muro perpendiculares a la losa, éste hecho a su vez produce momentos flexionantes y fuerzas cortantes en la losa. La porción de losa que actúa como viga que conecta los muros y que es efectiva en la resistencia de los momentos es denominada ancho efectivo de la losa Y_e . La rigidez de la losa es definida por su rigidez rotacional $\frac{M}{\theta}$ y rigidez flexural D . En la Figura 3.11, se muestra la deformación del muro que produce el giro y deformación

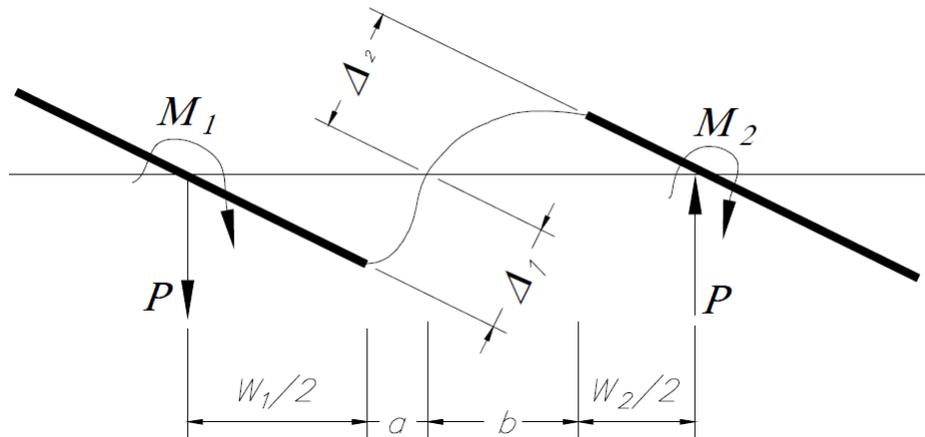


Figura 3.11: Deformación de la losa de acoplamiento tipo 1 debido a la rotación de los muros (Fuente: Hossain, 2003)

diferencial en la losa, la misma que puede ser representada por una viga con brazos rígidos simplemente apoyada y con dos grados de libertad al giro en el punto medio de cada muro. Para ésta idealización se conoce la matriz de rigidez mostrada en la ecuación 3.1, en la

que se desprecia el efecto del corte.

$$k = \begin{bmatrix} \frac{4L^2+6W_1L+3W_1^2}{L^3} & \frac{2L^2+3(W_1+W_2)L+3W_1W_2}{L^3} \\ \frac{2L^2+3(W_1+W_2)L+3W_1W_2}{L^3} & \frac{4L^2+6W_2L+3W_2^2}{L^3} \end{bmatrix} EI \quad (3.1)$$

Considerando que el giro en ambos muros es el mismo la rigidez al giro para cada muro está definida por:

$$k_1 = \frac{3EI}{L^3}(L + W_1)(2L + W_1 + W_2) \quad (3.2)$$

$$k_2 = \frac{3EI}{L^3}(L + W_2)(2L + W_1 + W_2) \quad (3.3)$$

Siendo I el momento de inercia de la losa de acoplamiento, $I = \frac{Y_e t^3}{12}$. La rigidez de la losa se representará por un valor adimensional obtenido de la relación entre la rigidez rotacional y flexural de la losa:

$$K = \frac{M}{\theta D} \quad (3.4)$$

Reemplazando la rigidez rotacional, la rigidez de la losa queda expresada como:

$$K_1 = \frac{3EI}{L^3 D}(L + W_1)(2L + W_1 + W_2) \quad (3.5)$$

$$K_2 = \frac{3EI}{L^3 D}(L + W_2)(2L + W_1 + W_2) \quad (3.6)$$

De las ecuaciones 3.5 y 3.6 se obtiene el ancho efectivo en función de la longitud de cada muro:

$$Y e_1 = \left[\frac{K_1}{3(1 - \nu^2)} \right] \left[\frac{L^3}{(L + W_1)(2L + W_1 + W_2)} \right] \quad (3.7)$$

$$Y e_2 = \left[\frac{K_2}{3(1 - \nu^2)} \right] \left[\frac{L^3}{(L + W_2)(2L + W_1 + W_2)} \right] \quad (3.8)$$

Para el caso de muros de igual longitud se obtiene la ecuación planteada por Coull y Wong

y Hossain

$$Y_e = \left[\frac{K}{6(1-\nu^2)} \right] \left[\frac{L^3}{(L+W_2)^2} \right] \quad (3.9)$$

La ecuación anterior ha sido expresada en relación al ancho tributario de la losa Y , debido a que del análisis de elementos finitos, los investigadores previos observaron que éste valor tienen influencia sobre el ancho efectivo de la losa.

$$\frac{Y_e}{Y} = \frac{k}{6(1-\nu^2)} \left(\frac{L}{Y} \right) \left(\frac{L}{L+W} \right)^2 \quad (3.10)$$

3.4.2. Disposición Tipo 2

El momento en la losa es producido únicamente por la rotación θ del muro colineal con la longitud de acoplamiento. El segundo muro es perpendicular a ambos, por lo que su rotación puede ser despreciada por no ser significativa respecto de la deformación que causa el muro colineal con la losa de acoplamiento, ver Figura 3.12. Como en el caso anterior, la

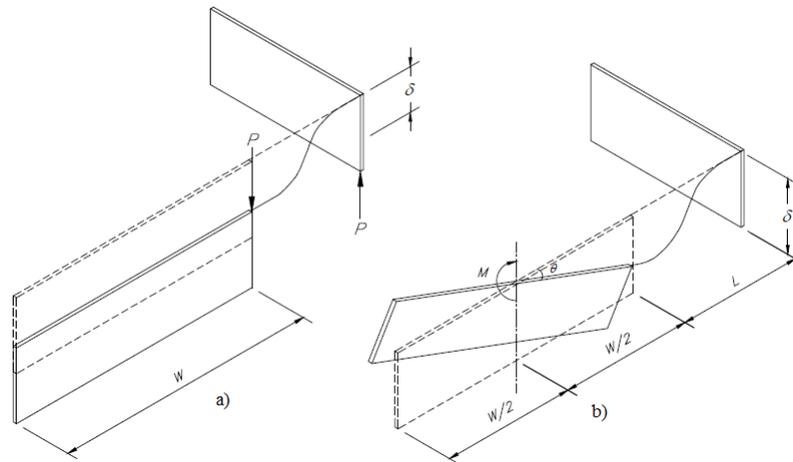


Figura 3.12: Disposición de muros Tipo2. a) Deformación de la losa debido a la traslación. b) Deformación de la losa debido a la rotación (Elaboración propia)

rigidez de la losa es definida por su rigidez rotacional, cuya relación con el ancho efectivo puede deducirse de la ecuación 3.7. Despreciando el espesor del muro que representa la longitud del segundo muro de la disposición tipo 1, la rigidez y ancho efectivo de la losa

se expresan como:

$$K = \frac{3EI}{L^3 D} (W + L) (W + 2L) \quad (3.11)$$

$$Y_e = \left[\frac{K}{3(1 - \nu^2)} \right] \left[\frac{L^3}{(L + W_1)(2L + W_1)} \right] \quad (3.12)$$

3.4.3. Disposición Tipo 3

El momento en la losa es producido por la rotación θ del muro perpendicular a la longitud de la losa de acoplamiento. El segundo muro es colineal con la misma, sin embargo la deformación que produce la carga lateral sobre el primer muro es mayor a la deformación producida por la carga lateral en dirección del segundo muro. Como en los caso anteriores, la rigidez de la losa es definida por su rigidez rotacional, cuya relación con el ancho efectivo puede deducirse de la Figura 3.13.

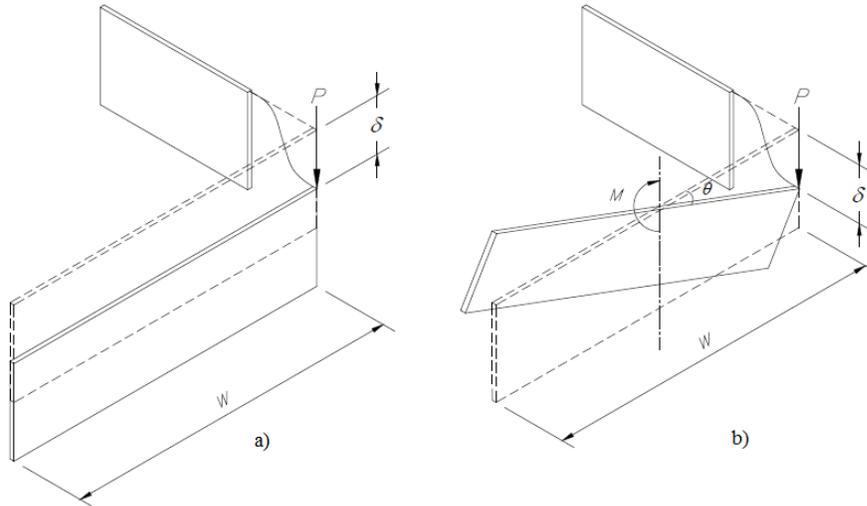


Figura 3.13: Disposición de muros Tipo3. a) Deformación de la losa debido a la traslación. b) Deformación de la losa debido a la rotación (Elaboración propia)

La deformación vertical se expresa como: $\delta = \theta \left(\frac{W}{2} \right)$

La relación entre el momento equivalente a la carga P de la Figura 3.13 se define como:

$$M = P \left(\frac{W}{2} \right)$$

La rigidez de la viga ante el desplazamiento vertical es: $k = \frac{12EI}{L^3}$

Por lo tanto la carga P que produce el desplazamiento δ se define como:

$$P = \frac{12EI}{L^3} \delta \quad (3.13)$$

Reemplazando las expresiones anteriores en la ecuación 3.13 se tiene: $\frac{2M}{W} = \frac{12EI}{L^3} \theta \left(\frac{W}{2}\right)$, de donde se obtiene la rigidez rotacional:

$$\frac{M}{\theta} = \frac{3EI}{L^3} W^2 \quad (3.14)$$

Con lo que la rigidez adimensional $K = \frac{M}{\theta D}$ está definida por:

$$K = \frac{3EI}{L^3 D} W^2 \quad (3.15)$$

Donde I es el momento de inercia de la sección efectiva expresada como $I = \frac{Y_e t^3}{12}$ y D es la rigidez flexural de la losa definida por: $D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$ Finalmente, de la ecuación 3.15, se deduce el ancho efectivo:

$$Y_e = \left[\frac{K}{3(1-\nu^2)} \right] \left[\frac{L^3}{W^2} \right] \quad (3.16)$$

3.5. Análisis de Elementos Finitos

Se desarrolló el análisis de elementos finitos en 2-D con el programa ETABS. El elemento finito usado para el modelamiento de las losas fue un cuadrilátero del tipo *shell – thin*, el cual considera la rigidez de la losa y desprecia las deformaciones por corte. Las características de la losa son:

- Espesor de losa: 0.10 m
- Calidad del concreto: $f_c = 210 \text{Kg/cm}^2$

- Módulo de elasticidad del concreto: $E = 217370.6\text{m}^2$
- Módulo de Poisson: $\nu = 0.2$

El mallado empleado fue similar al usado por Hossain(2003), sin embargo se modeló el acoplamiento incluyendo la simetría. Se dividió cada zona en cuatro elementos como se muestra en la Figura 3.14. Cada elemento finito consta de 4 nodos con 6 grados de libertad en cada uno, a excepción de los nodos externos, que fueron restringidos de movimiento en Y.

Los muros fueron idealizados por vigas de alta rigidez con apoyos en medio que permiten el giro uniforme de la vigas al aplicar un momento flector en los apoyos.

Se modelaron varios prototipos de acoplamiento para cada caso y relación Y/X:

3.5.1. Acoplamiento Tipo 1

Se realizaron varios modelos de elementos finitos para las relaciones Y/X iguales a 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8 con el objetivo de construir curvas de relación entre el ancho efectivo relativo de la losa de acoplamiento (Y_e/Y) y la relación de la longitud de acoplamiento entre la longitud total del pórtico acoplado (L/X).

La Figura 3.14 muestra el modelo empleado para la disposición tipo 1, cada cuadrilátero fue dividido en 9 elementos finitos habiendo utilizado la opción de mallado de ETABS, de dividir cada cuadrilátero en 3x3 elementos.

Se modelaron 49 disposiciones diferentes de acoplamiento tipo 1, los datos para cada relación Y/X se muestran en los cuadros 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5.

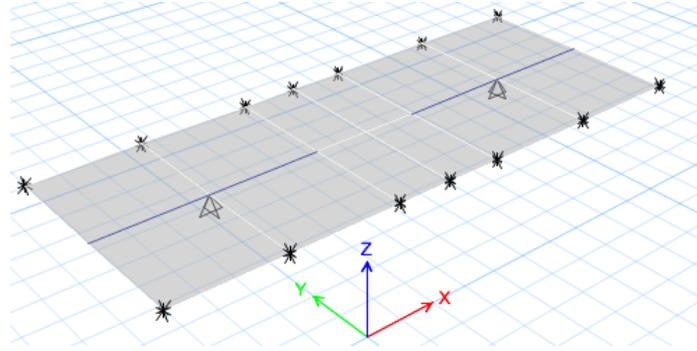


Figura 3.14: Modelo de elementos finitos en ETABS para el acoplamiento tipo 1 (Elaboración propia)

Cuadro 3.1: Datos de modelos de acoplamiento tipo 1 para $Y/X=0.1$

Y/X	Nombre del modelo	L/X	X	L	Y	W
0.1	1_1	0.025	30.00	0.75	3.00	14.63
	1_2	0.050	18.00	0.90	1.80	8.55
	1_3	0.075	16.00	1.20	1.60	7.40
	1_4	0.1	15.00	1.50	1.50	6.75
	1_5	0.2	9.00	1.80	0.90	3.60
	1_6	0.3	7.00	2.10	0.70	2.45
	1_7	0.4	6.00	2.40	0.60	1.80
	1_8	0.5	5.60	2.80	0.56	1.40
	1_9	0.6	5.00	3.00	0.50	1.00

Cuadro 3.2: Datos de modelos de acoplamiento tipo 1 para $Y/X=0.2$

Y/X	Nombre del modelo	L/X	X	L	Y	W
0.2	2_1	0.025	30.00	0.75	6.00	14.63
	2_2	0.050	18.00	0.90	3.60	8.55
	2_3	0.075	16.00	1.20	3.20	7.40
	2_4	0.1	15.00	1.50	3.00	6.75
	2_5	0.2	9.00	1.80	1.80	3.60
	2_6	0.3	7.00	2.10	1.40	2.45
	2_7	0.4	6.00	2.40	1.20	1.80
	2_8	0.5	5.60	2.80	1.12	1.40
	2_9	0.6	5.00	3.00	1.00	1.00

Cuadro 3.3: Datos de modelos de acoplamiento tipo 1 para $Y/X=0.4$

Y/X	Nombre del modelo	L/X	X	L	Y	W
0.4	4.1	0.075	12.00	0.90	4.80	5.55
	4.2	0.1	10.00	1.00	4.00	4.50
	4.3	0.2	7.50	1.50	3.00	3.00
	4.4	0.3	7.00	2.10	2.80	2.45
	4.5	0.4	5.50	2.20	2.20	1.65
	4.6	0.5	4.80	2.40	1.92	1.20
	4.7	0.6	4.25	2.55	1.70	0.85

Cuadro 3.4: Datos de modelos de acoplamiento tipo 1 para $Y/X=0.6$

Y/X	Nombre del modelo	L/X	X	L	Y	W
0.6	6_1	0.08	8.75	0.70	5.25	4.03
	6_2	0.1	8.00	0.80	4.80	3.60
	6_3	0.2	7.50	1.50	4.50	3.00
	6_4	0.3	7.00	2.10	4.20	2.45
	6_5	0.4	5.50	2.20	3.30	1.65
	6_6	0.5	4.60	2.30	2.76	1.15
	6_7	0.6	4.25	2.55	2.55	0.85

Cuadro 3.5: Datos de modelos de acoplamiento tipo 1 para $Y/X=0.8$

Y/X	Nombre del modelo	L/X	X	L	Y	W
0.8	8_1	0.05	14.00	0.70	8.40	6.65
	8_2	0.08	8.75	0.70	7.00	4.03
	8_3	0.1	7.00	0.70	5.60	3.15
	8_4	0.2	4.50	0.90	3.60	1.80
	8_5	0.3	4.00	1.20	3.20	1.40
	8_6	0.4	3.75	1.50	3.00	1.13
	8_7	0.5	3.60	1.80	2.88	0.90

Como ejemplo para la explicación a detalle se ha tomado el modelo 4_3, el cual tiene como datos: $L=1.5$ m. $Y=3.0$ m. y $W=3.0$ m. Con relación $Y/X=0.4$.

Para el cálculo de rigidez, se indujo 1.0 T-m de momento flector a cada muro, es decir en los apoyos. Ver Figura 3.15

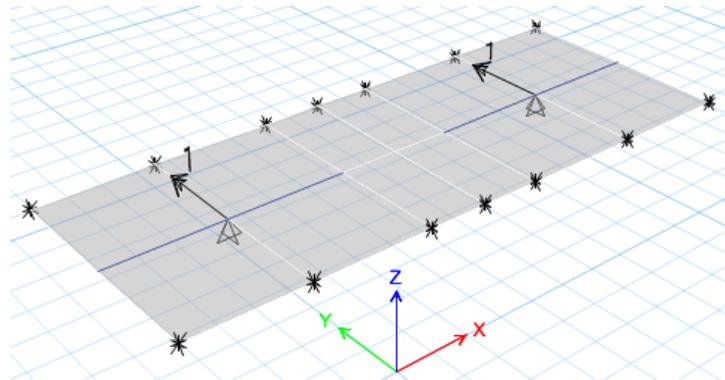


Figura 3.15: Inducción de momentos flectores - Acoplamiento tipo 1 (Elaboración propia)

El momento aplicado genera un giro θ en los muros, que en el modelo está indicado como rotación en Y (R_y). En la Figura 3.16 se observa la rotación θ de 1.29×10^{-4} radianes causado por el momento flector $M = 1.0T - m$.

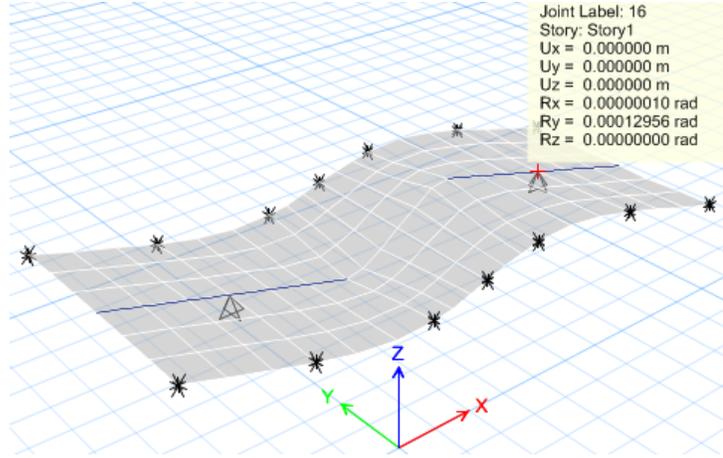


Figura 3.16: Giro θ de muros para el acoplamiento tipo 1 (Elaboración propia)

Reemplazando éstos datos en la ecuación 3.4, se obtuvo la rigidez adimensional de acoplamiento K:

$$K = \frac{1.0}{1.29 \times 10^{-4} D} = 40.90 \quad (3.17)$$

Dónde $D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} = 188.7T - m$.

Finalmente, reemplazando la rigidez K en la ecuación 3.9 se obtuvo el ancho de acoplamiento:

$$Y_e = \left[\frac{40.90}{6(1-0.2^2)} \right] \left[\frac{1.5^3}{(1.5+3.0)^2} \right] = 1.18m. \quad (3.18)$$

Para su ubicación en las curvas de relación L/X Vs. Y_e/Y el calculo final fue:

$$\frac{Y_e}{Y} = \frac{1.18}{3} = 0.39 \quad (3.19)$$

Se desarrolló el procedimiento detallado para cada prototipo planteado, cuyos resultados fueron empleados para construir las curvas para el cálculo de ancho efectivo en el acoplamiento tipo 1. La misma que se muestra en la figura 3.20.

3.5.2. Acoplamiento Tipo 2

El modelo para el acoplamiento Tipo 2 ha sido modelado de acuerdo a lo mostrado en la Figura 3.9. De los resultados obtenidos en los primeros modelos se concluyó que la medida de a no tiene implicancia importante en el ancho efectivo de acoplamiento, por lo que se asumió una dimensión constante de 2.0 m. Por el contrario, el valor de Y , como en el acoplamiento tipo 1 es útil en la construcción de curvas de relación para el cálculo del ancho efectivo por su determinante influencia.

En la Figura 3.17 se observan los elementos usados para el modelamiento, cada cuadrilátero fue dividido en 3×3 elementos finitos con 6 grados de libertad en cada nodo. Los puntos del extremo de la longitud a fueron restringidos de desplazamiento en las direcciones Y y Z , así se simula la existencia de un pórtico paralelo al muro transversal al pórtico de acoplamiento. Los demás puntos fueron restringidos de desplazamiento en Y solamente a excepción de los puntos del eje central del muro W que se restringieron de desplazamiento en Y y Z por ser el eje de giro.

Al igual en el acoplamiento tipo 1 se emplearon vigas de gran rigidez simulando los muros, se sometió a momento flector de 1.0 T-m solamente al muro de longitud W (En algunos casos se indujo un momento de 2.0 T-m para facilitar la lectura de decimales del giro).

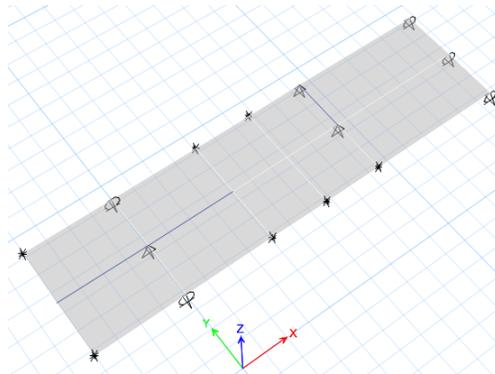


Figura 3.17: Modelo de elementos finitos en ETABS para el acoplamiento tipo 2 (Elaboración propia)

Se modelaron 27 disposiciones diferentes de acoplamiento, formando curvas para cada valor de Y/X . Los datos de cada modelo se detallan en los cuadros 3.6

Cuadro 3.6: Datos de modelos de acoplamiento tipo 2 para $Y/X=0.2$

Y/X	Nombre del modelo	L/X	X	L	Y	W
0.2	2_1	0.05	16.00	0.80	3.20	15.20
	2_2	0.1	15.00	1.50	3.00	13.50
	2_3	0.2	9.00	1.80	1.80	7.20
	2_4	0.3	7.00	2.10	1.40	4.90
	2_5	0.4	6.25	2.50	1.25	3.75
	2_6	0.5	5.60	2.80	1.12	2.80
	2_7	0.6	5.00	3.00	1.00	2.00

Cuadro 3.7: Datos de modelos de acoplamiento tipo 2 para $Y/X=0.4$

Y/X	Nombre del modelo	L/X	X	L	Y	W
0.4	4_1	0.07	10.00	0.70	4.00	9.30
	4_2	0.1	8.00	0.80	3.20	7.20
	4_3	0.2	5.00	1.00	2.00	4.00
	4_4	0.3	4.00	1.20	1.60	2.80
	4_5	0.4	3.25	1.30	1.30	1.95
	4_6	0.5	3.00	1.50	1.20	1.50
	4_7	0.6	3.00	1.80	1.20	1.20

Cuadro 3.8: Datos de modelos de acoplamiento tipo 2 para $Y/X=0.6$

Y/X	Nombre del modelo	L/X	X	L	Y	W
0.6	6_1	0.07	10.00	0.70	6.00	9.30
	6_2	0.1	8.00	0.80	4.80	7.20
	6_3	0.2	5.00	1.00	3.00	4.00
	6_4	0.3	4.00	1.20	2.40	2.80
	6_5	0.4	3.25	1.30	1.95	1.95
	6_6	0.5	3.00	1.50	1.80	1.50
	6_7	0.6	3.00	1.80	1.80	1.20

Como ejemplo para la explicación a detalle se ha tomado el modelo 4_5, el cual tiene como datos: $L=1.3$ m. $Y=1.3$ m. y $W=1.95$ m. Con relación $Y/X=0.4$.

Para el cálculo de rigidez, se indujo 1.0 T-m de momento flector en el apoyo del muro en dirección del acoplamiento, el que se asume la dirección del sismo. Ver Figura 3.18

Cuadro 3.9: Datos de modelos de acoplamiento tipo 2 para Y/X=0.8

Y/X	Nombre del modelo	L/X	X	L	Y	W
0.8	8_1	0.1	7.00	0.70	5.60	6.30
	8_2	0.2	4.50	0.90	3.60	3.60
	8_3	0.3	4.00	1.20	3.20	2.80
	8_4	0.4	3.75	1.50	3.00	2.25
	8_5	0.5	2.40	1.20	1.92	1.20
	8_6	0.6	1.50	0.90	1.20	0.60

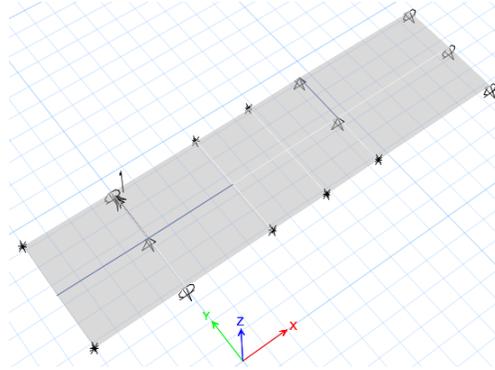


Figura 3.18: Inducción de momento flector - Acoplamiento tipo 2 (Elaboración propia)

El momento aplicado genera un giro θ en los muros, que en el modelo está indicado como rotación en Y (R_y). En la Figura 3.19 se observa la rotación θ de 1.086×10^{-4} radianes

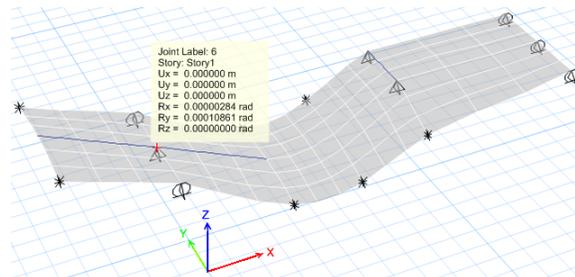


Figura 3.19: Giro θ de muros para el acoplamiento tipo 1 (Elaboración propia)

causado por el momento flector $M = 1.0T - m$.

Reemplazando éstos datos en la ecuación 3.4, se obtuvo la rigidez adimensional de acoplamiento K:

$$K = \frac{1.0}{1.29 \times 10^{-4} D} = 11.31 \tag{3.20}$$

Dónde $D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} = 188.7T - m$.

Finalmente, reemplazando la rigidez K en la ecuación 3.12 se obtuvo el ancho de acoplamiento:

$$Y_e = \left[\frac{11.31}{3(1 - 0.2^2)} \right] \left[\frac{1.3^3}{(1.3 + 1.95)(2(1.5) + 1.3)} \right] = 0.58m \quad (3.21)$$

Para su ubicación en las curvas de relación L/X Vs. Ye/Y el calculo final fue:

$$\frac{Y_e}{Y} = \frac{0.58}{1.3} = 0.45 \quad (3.22)$$

Se desarrolló el procedimiento detallado para cada prototipo planteado, cuyos resultados fueron empleados para construir las curvas para el cálculo de ancho efectivo en el acoplamiento tipo 1. La misma que se muestra en la figura 3.20.

En el edificio analizado se encontró solo un caso de acoplamiento tipo 3, además los anchos tributarios de ambos muros y la relación entre ellos influye notablemente en el ancho efectivo de la losa de acoplamiento. Es decir, según la Figura 3.10, el ancho efectivo de la losa de acoplamiento varía de acuerdo a Y1/X, Y2/X y Y1/Y2. Debido a esto la construcción de curvas se tornó variante, por lo que se calculó solamente el ancho efectivo para el caso en estudio encontrado.

3.5.3. Cálculo del Ancho Efectivo de la Losa de Acoplamiento

Para calcular el ancho efectivo de la losa usando las curvas de las Figuras 3.20 y 3.21 es necesario conocer la longitud de los muros acoplados W y la longitud del acoplamiento L, con los que se puede calcular la longitud del pórtico acoplado X; además estimar la distancia media a los pórticos en la misma dirección Y a ambos lados del muro Y. Con la relación L/X se interseca la curva que corresponde según la relación Y/X, en caso de no tener un valor establecido en la curva se deberá interpolar entre las curvas más

cercanas (inferior y superior). La abscisa del punto interpolado es el valor de Y_e/Y , que multiplicado por Y resulta el ancho efectivo de la losa de acoplamiento.

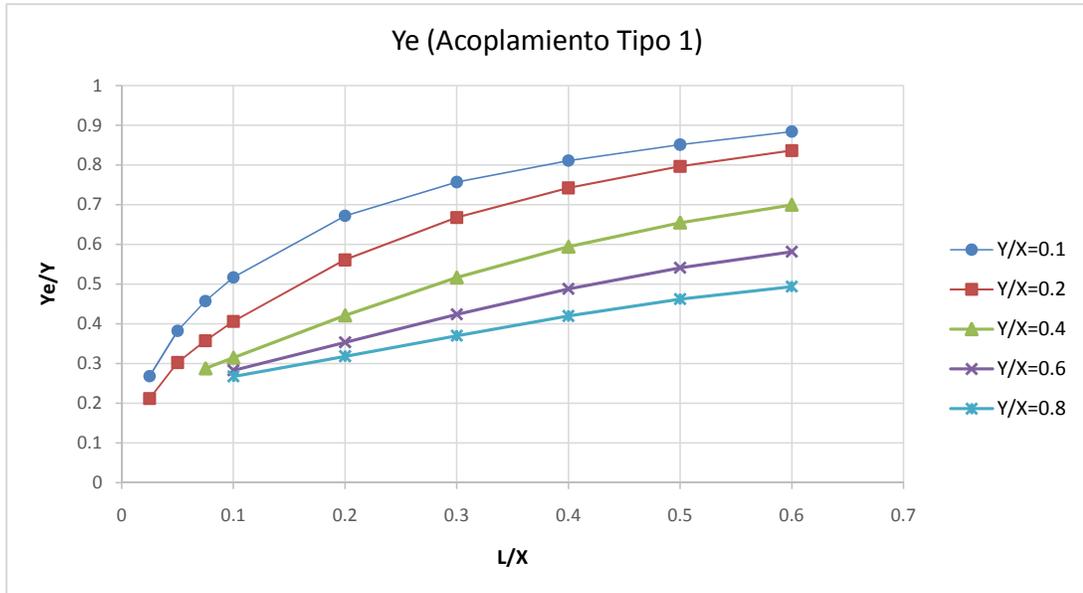


Figura 3.20: Curvas para el cálculo del ancho efectivo para acoplamiento tipo 1 (Elaboración propia)

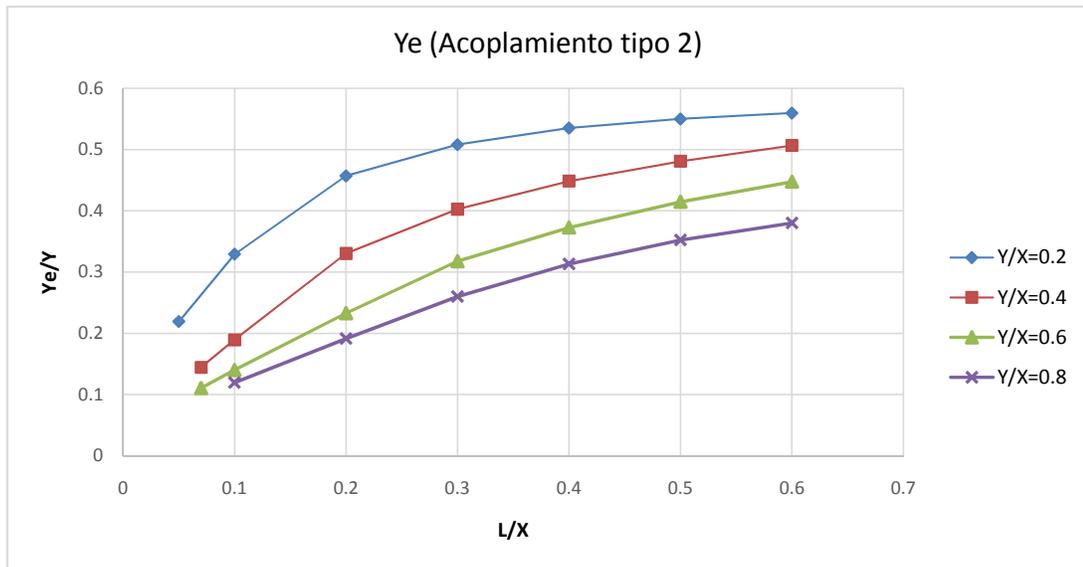


Figura 3.21: Curvas para el cálculo del ancho efectivo para acoplamiento tipo 2 (Elaboración propia)

Para calcular los anchos efectivos de las losas de acoplamiento se siguieron los pasos a

continuación:

- Primero se identificaron los acoplamientos de acuerdo al tipo según la disposición de muros. En la Figura 3.22 los tipos de acoplamiento están indicados con el número de tipo de acoplamiento para cada caso. En el plano P-02 en el Anexo I se encuentra el plano de identificación de acoplamientos del edificio completo.

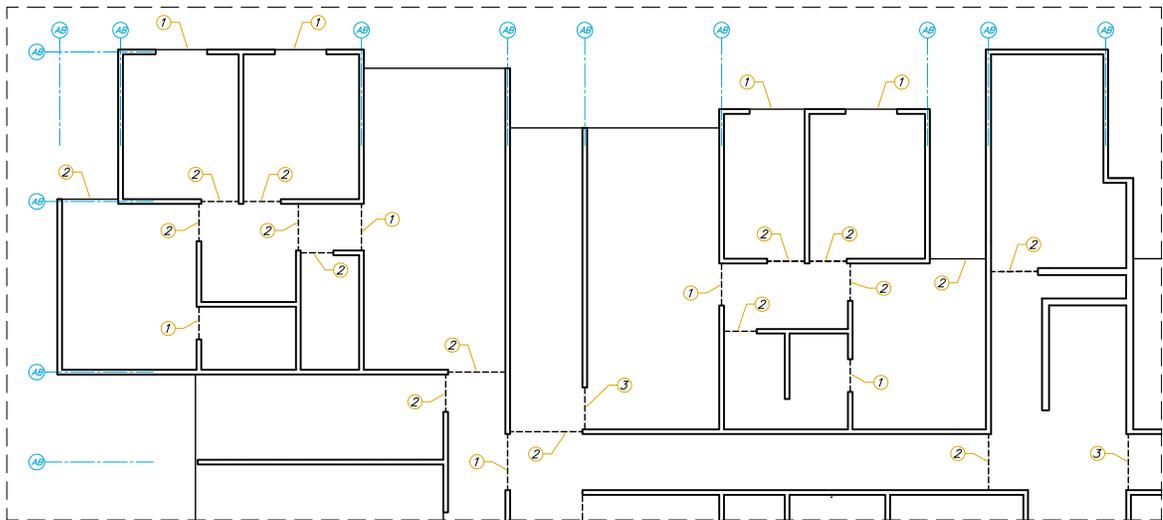


Figura 3.22: Identificación de tipos de acoplamiento en el Edificio

- Posteriormente se midieron los parámetros geométricos L, X e Y, como ejemplo de toma de datos para los tres tipos de acoplamiento se muestra la Figura 3.23. Bajo el mismo concepto se obtuvieron los datos para todos los casos de acoplamiento del edificio. En la Figura 3.24, los casos de acoplamiento fueron enumerados y las dimensiones indicadas están en metros. Ver plano del edificio completo en el Plano P-03 del Anexo I.
- Finalmente, con los datos obtenidos se calcularon los anchos efectivos de todos los casos con la metodología ya expuesta. En la Figura se muestran los anchos efectivos calculados. Ver plano del edificio completo en el Plano P-04 del Anexo I.

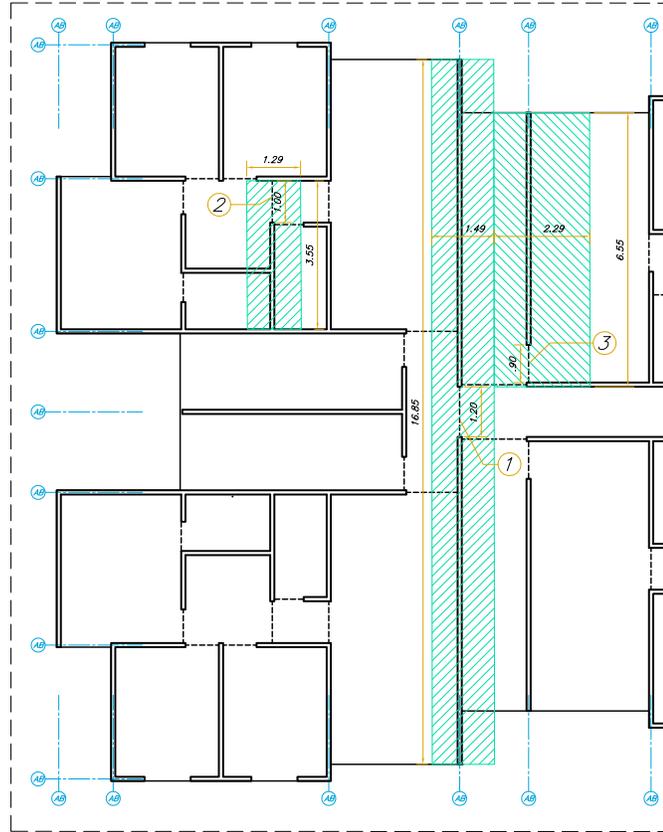


Figura 3.23: Ejemplo de extracción de datos geométricos del acoplamiento (Elaboración propia)

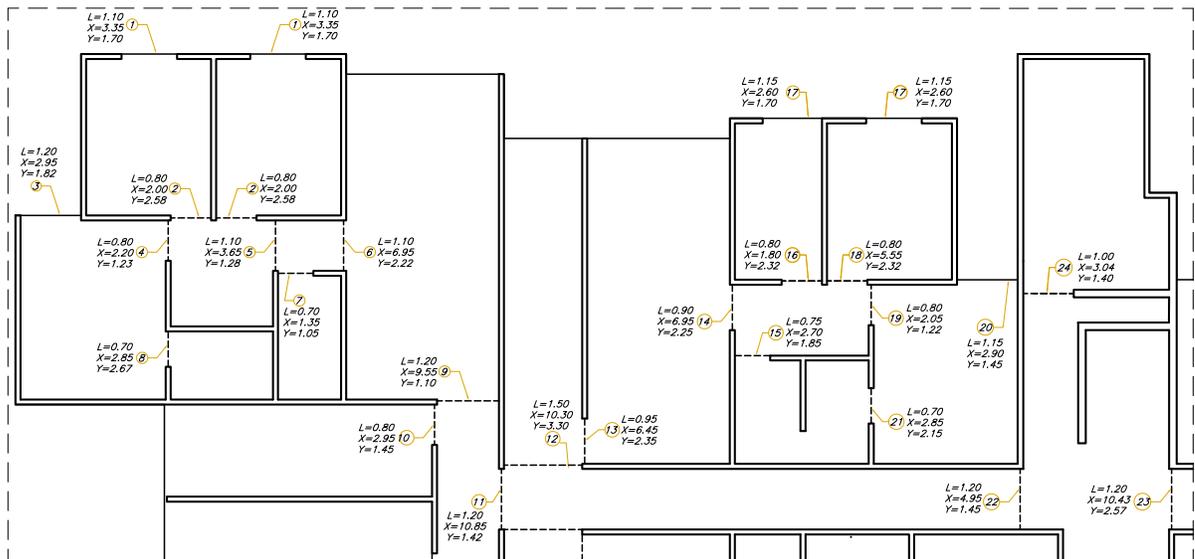


Figura 3.24: Datos de casos de acoplamiento en el edificio (Elaboración propia)

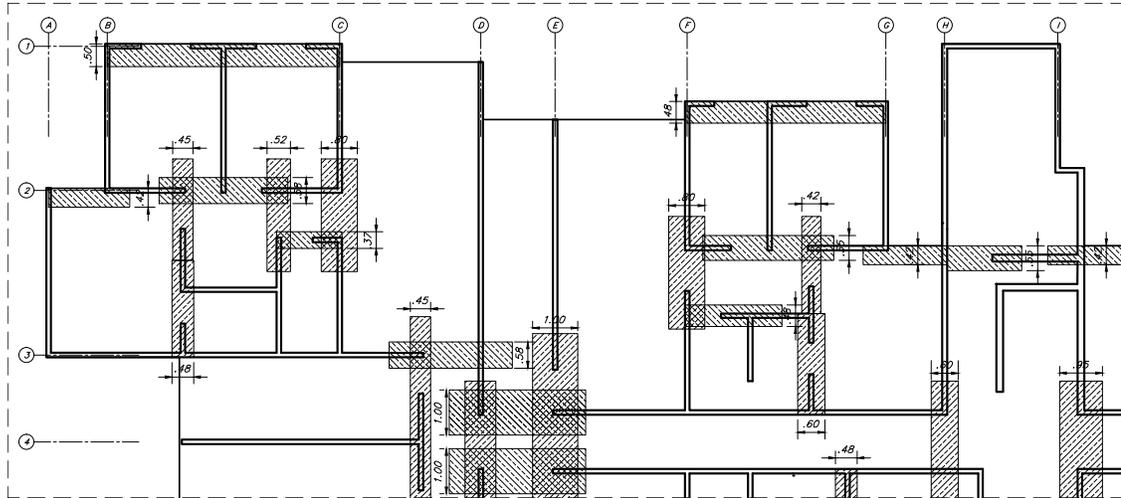


Figura 3.25: Ancho efectivo de losas de acoplamiento (Elaboración propia)

De éste modo se calcularon los anchos efectivos de las losas de acoplamiento del edificio en estudio, con lo que se construyó el modelo final de elementos finitos del edificio.

3.6. Modelamiento del Edificio

Con el fin de cuantificar la influencia de la consideración del aporte la losa de acoplamiento en la rigidez lateral del edificio se han elaborado dos modelos, el modelo convencional en el que no se considera el aporte de las losas de acoplamiento y el modelo propuesto en la presente investigación.

3.6.1. Modelo Convencional

A diferencia del modelo previo se emplearon losas de tipo membrana, elemento que trabaja como diafragma rígido y reparte las cargas de gravedad triangular o trapezoidalmente. Este elemento no aporta rigidez a la estructura y es el recomendado en estructuras aporricadas y de muros de corte. Para la adecuada transmisión de carga de losa a los muros se emplearon vigas del tipo *None*, las cuales no aportan rigidez ni peso a la estructura.

En las Figuras 3.26 y 3.27 se muestran la planta típica del modelo convencional y la vista 3D del modelo.

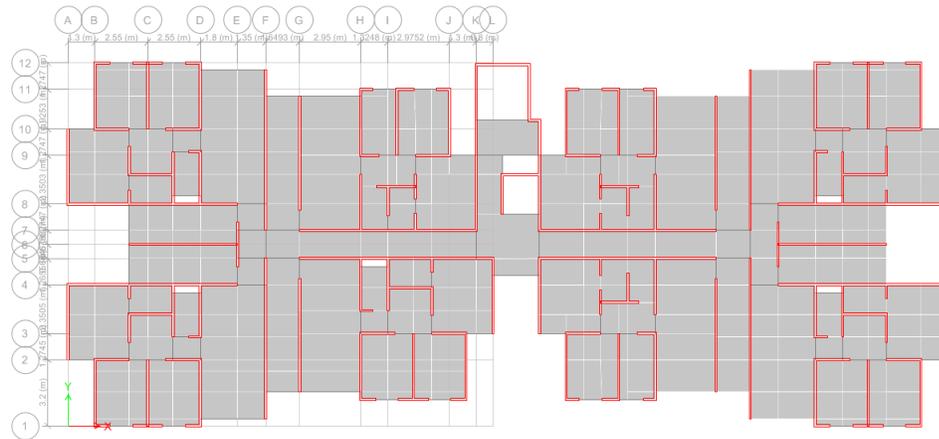


Figura 3.26: Planta típica del modelo convencional (Elaboración propia)

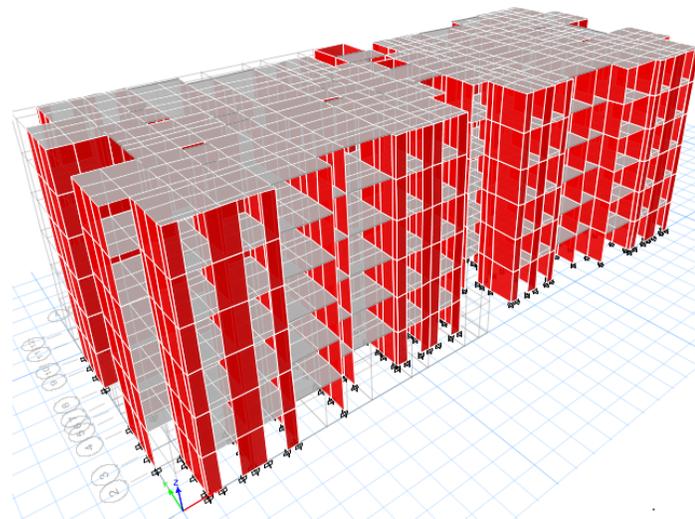


Figura 3.27: Vista 3D del modelo del edificio en ETABS (Elaboración propia)

Análisis Estático

Previo al análisis dinámico se realizó el análisis estático para el cálculo de la cortante basal estática. Peso total del edificio:

- Carga muerta: 2 441.13 T.

- Carga Viva : 689.21 T.

Con lo que el peso considerado para el análisis sísmico es 2613.43 T, que es el producto de incrementar el 25 % de la carga viva a la carga muerta como corresponde al edificio de viviendas perteneciente a la Categoría C de edificaciones, según la NTP E.020 [10, 2006].

Cálculo de la Fuerza cortante basal estática:

$$V_E = \frac{ZUSC}{R} P = \frac{(0.45)(1)(1.05)(2.5)}{4} (2613.43)$$

$$V_E = 771.75 \text{ Toneladas}$$

Fuerza Cortante Basal mínima: $0.8V_E = 617.4$ Toneladas

Para optimizar resultados se realiza el análisis dinámico modal espectral. Es posible además realizar el análisis dinámico tiempo-historia, sin embargo según la N.T.P. E.030 este análisis se puede emplear como verificación pero en ningún caso será impuesta por sobre el análisis modal espectral o el análisis estático.

Análisis Dinámico

Del análisis modal-espectral resultaron fuerzas cortantes basales menores al 80 % de la fuerza cortante basal estática. La norma E-030 especifica en este caso que se deben factorizar las fuerzas más no las deformaciones. A continuación las características del edificio producto del análisis del modelo convencional, en el cuadro 3.10

3.6.2. Modelo Propuesto

En el modelo propuesto en ésta investigación se tomó como base el modelo convencional, al que se le incluyó vigas en las zonas de acoplamiento (Ver figura 3.28). Estas vigas tienen como sección el ancho efectivo de la losa de acoplamiento y peralte igual a la losa. En el plano P-04 del Anexo II se muestran los anchos efectivos de todas las losas

Cuadro 3.10: Resultados del análisis del modelo convencional del edificio.

PISO	Rigidez Lateral (Ton/m)		Fuerza Cortante (Ton)		Desplazamientos Inelásticos (cm)		Derivas	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
6°	391638.1	282851.2	158.8	169.7	0.77	0.91	0.00055	0.00076
5°	777699.0	525663.2	323.2	335.0	0.63	0.72	0.00059	0.00077
4°	1095833.4	739719.2	443.4	451.9	0.43	0.45	0.00061	0.00074
3°	1455178.1	1001932.1	530.7	535.4	0.29	0.29	0.00057	0.00065
2°	1996541.0	1473348.2	589.5	590.9	0.17	0.16	0.00048	0.00049
1°	3736372.9	2812410.3	617.6	617.5	0.06	0.05	0.00027	0.00023

de acoplamiento. De éste modo se incluye la participación de la rigidez de la losa de acoplamiento en la rigidez lateral del edificio.

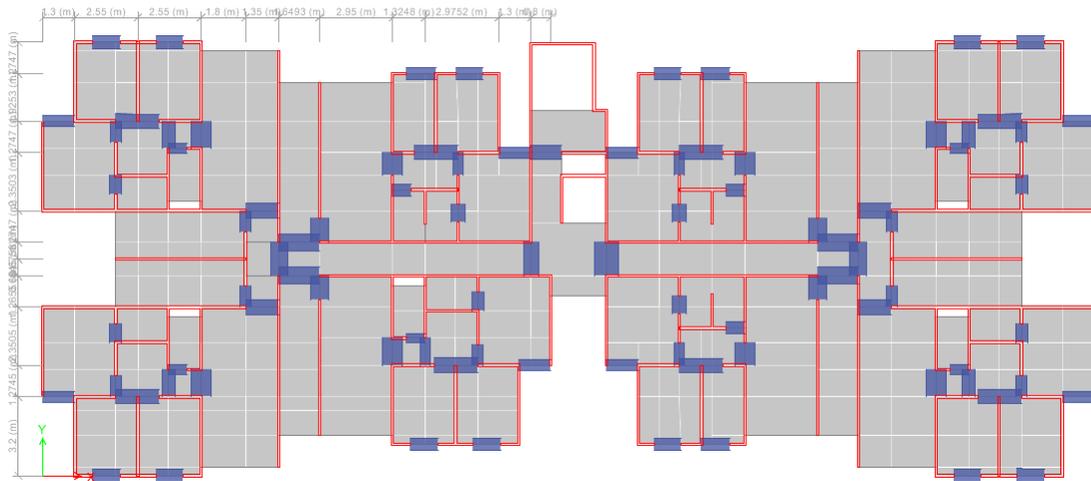


Figura 3.28: Planta típica del modelo propuesto (Elaboración propia)

Al igual que en el modelo convencional se factorizó el espectro sísmico para obtener la fuerza cortante basal mínima. Los datos mostrados en el Cuadro 3.11 muestran los resultados obtenidos tras la factorización, excepto las deformaciones y distorsiones como indica la NTP E.030.

Cuadro 3.11: Resultados del análisis del modelo propuesto del edificio.

PISO	Rigidez Lateral (Ton/m)		Fuerza Cortante (Ton)		Desplazamientos Inelásticos (cm)		Derivas	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
6°	414771.8	327727.7	157.2	167.5	0.72	0.80	0.00050	0.00064
5°	819954.7	607147.8	321.3	332.8	0.59	0.64	0.00054	0.00066
4°	1149600.3	843835.4	442.2	450.6	0.46	0.47	0.00057	0.00065
3°	1515827.0	1126433.9	530.1	534.9	0.32	0.31	0.00054	0.00058
2°	2061495.2	1628633.9	589.3	590.9	0.18	0.17	0.00046	0.00045
1°	3812674.9	3039597.3	617.5	617.5	0.07	0.05	0.00026	0.00022

3.6.3. Modelo Simplificado

Del cálculo de los anchos efectivos de las losas de acoplamiento se observó que en su mayoría varían entre 0.37 m. y 0.58 m. Además que solamente los acoplamientos con $L/X < 0.2$ para los tres tipos, tienen un ancho efectivo mayor 0.60 m. Debido a ello se construyó un modelo simplificado, asumiendo un ancho promedio de 0.50 m. para todos los casos de anchos efectivos menores a 0.60 m. y manteniendo el ancho efectivo calculado para los demás casos.

En la Figura 3.29 se observan los anchos efectivos asumidos para el modelo simplificado.

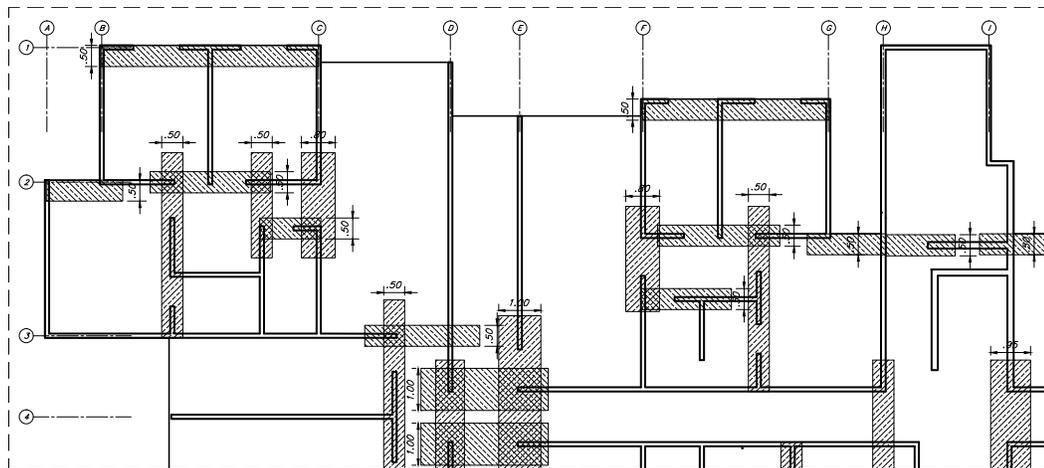


Figura 3.29: Anchos efectivos de losas de acoplamiento-Modelo simplificado (Elaboración propia)

Del análisis del modelo simplificado se obtuvieron los datos detallados en el Cuadro 4.1.

Cuadro 3.12: Resultados del análisis del modelo simplificado del edificio.

PISO	Rigidez Lateral (Ton/m)		Fuerza Cortante (Ton)		Desplazamientos Inelásticos (cm)		Derivas	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
6°	414555.5	328612.2.7	157.2	167.5	0.72	0.79	0.00050	0.00064
5°	819561.0	608756.0	321.3	332.8	0.59	0.63	0.00054	0.00066
4°	1149106.2	845876.9	442.2	450.6	0.46	0.47	0.00056	0.00064
3°	1515280.5	1128837.9	530.1	534.9	0.32	0.31	0.00054	0.00058
2°	2060979.5	1631534.4	589.3	590.9	0.18	0.17	0.00046	0.00044
1°	3812183.2	3042965.7	617.5	617.5	0.07	0.05	0.00026	0.00022

Los datos obtenidos son similares a los datos del modelo propuesto, es decir, el modelo simplificado es equivalente al modelo propuesto. Se extrajeron los datos de momentos flectores de las losas de acoplamiento del modelo simplificado, se muestran en la Figura 3.30

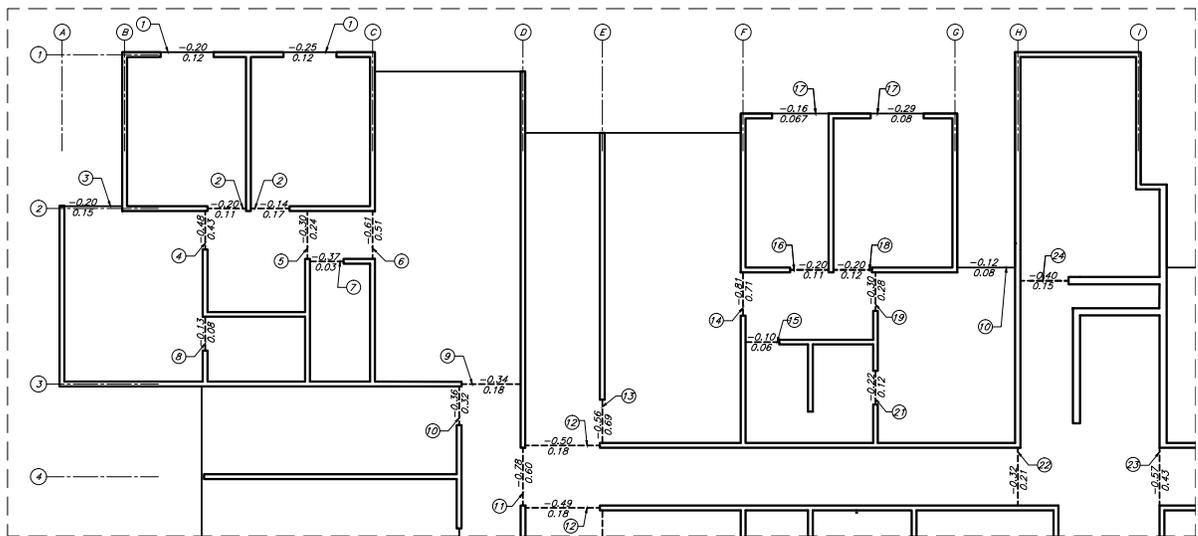


Figura 3.30: Diagrama de momentos flectores en dirección X-X por combinación de gravedad (Elaboración propia)

Los valores de momentos flectores de la Figura anterior son semejantes a los momentos flectores calculados del modelo propuesto, por lo que se usaron estos datos para el cálculo del refuerzo concentrado de las losas de acoplamiento.

Debido a que los EMDL tienen una configuración de ambientes típica, el modelamiento

simplificado resulta útil en la reducción del tiempo de análisis del edificio, reduciéndose el cálculo de anchos efectivos a zonas específicas.

La identificación de las zonas específicas que deben ser calculadas, ya sea mediante la metodología o las curvas de cálculo expuestas en la presente tesis, se puede llevar a cabo mediante las Figuras 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7. En tales figuras se puede observar que los acoplamientos número 6, 9, 11, 14 y 23 son los más esforzados de acuerdo al diagrama de momentos. Este es un indicador de que los acoplamientos más esforzados requieren de análisis puntual.

3.7. Diseño de la Losa Típica

3.7.1. Diseño Convencional de la Losa Típica

En el diseño convencional de la losa, se considera únicamente las cargas de gravedad. Los resultados del análisis de gravedad obtenido en el modelo para las dos direcciones principales se presentan en las figuras 3.31 y 3.32.

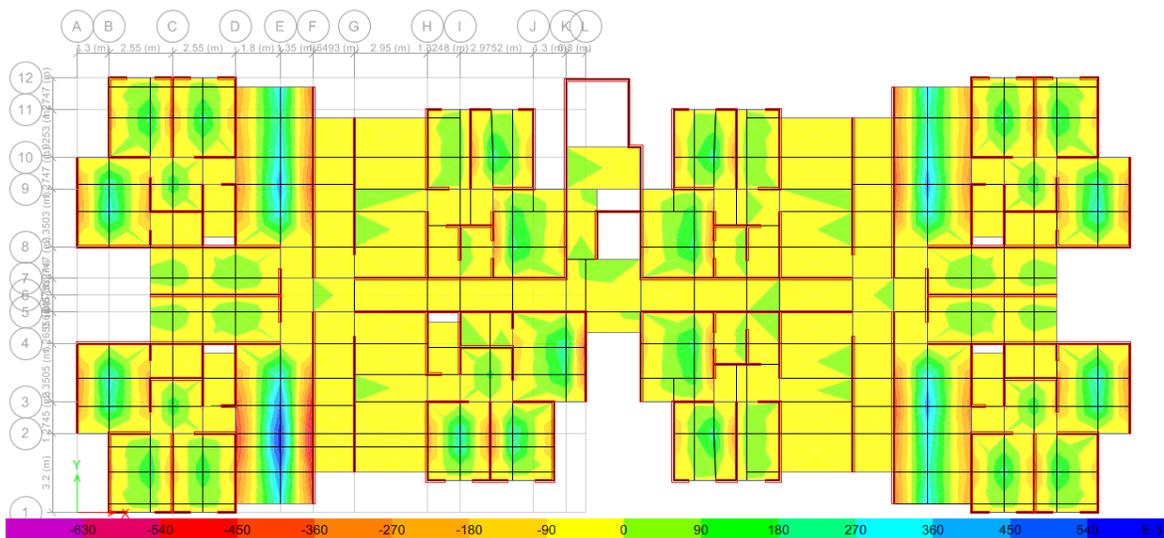


Figura 3.31: Diagrama de momentos flectores en dirección X-X por combinación de gravedad (Elaboración propia)

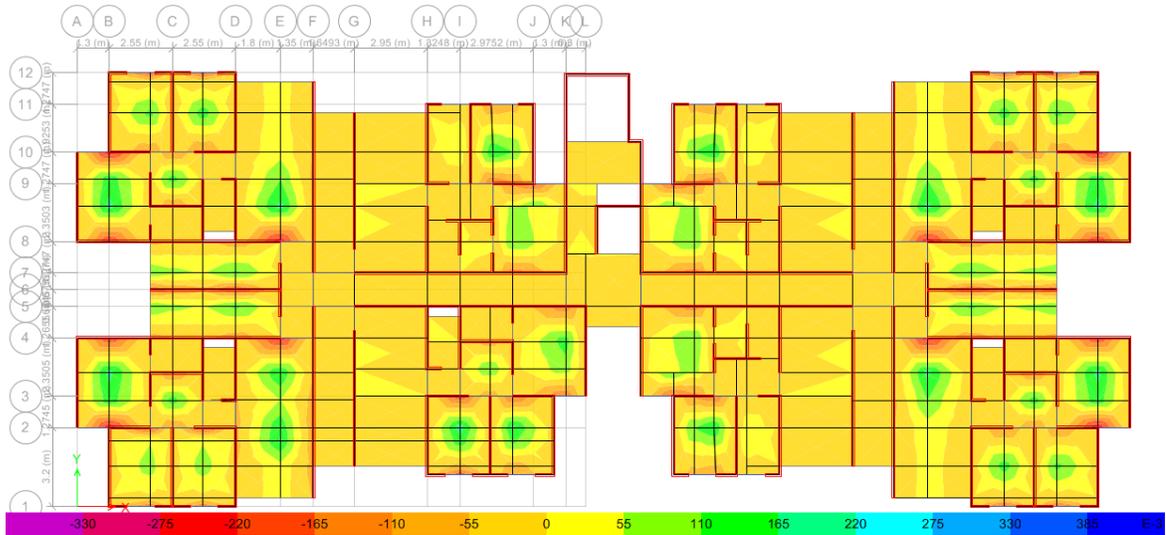


Figura 3.32: Diagrama de momentos flectores en dirección Y-Y por combinación de gravedad (Elaboración propia)

La cuantía mínima de acero requerida por temperatura establecida en la Norma E-060 [11] es 0.0018, considerando que la separación del refuerzo no debe ser mayor a 3 veces el espesor de la losa ni mayor a 45 cm. Bajo estas condiciones, la malla corrida de las losas debe ser $1.8\text{cm}^2/\text{m}$, el cual repartido en una sola malla inferior resulta el acero de $\phi 8\text{mm}@.275$. El refuerzo superior se colocó sólo en las zonas de flexión con cuantía mínima de 0.0012 equivalente al refuerzo de $\phi 6\text{mm}@.20$

3.7.2. Diseño de Losas a Acoplamiento por Flexión

Para el diseño por flexión se extrajeron los datos de momentos flectores en todas las losas de acoplamiento. La figura 3.33 muestra los datos de una porción del edificio. Ver datos de todo el edificio en el plano P-05 del Anexo I.

El mayor momento flector se presentó en el caso número 14 de la figura anterior, con una magnitud de 0.82 T-m de momento flector negativo y 0.68 T-m de momento flector positivo. El acero requerido fue calculado con la sección efectiva de la losa de acoplamiento, considerando un peralte efectivo de 7.0 cm. En la Figura 3.34 se muestran las áreas de

3.7.3. Control de Cortante en Losas de Acoplamiento

En todas las secciones de losa de acoplamiento se comprobó que la fuerza cortante resistente del concreto fuera mayor a la fuerza cortante última. Esta condición se debe cumplir debido a que el espesor de 0.10 m. de la losa no da cabida al uso de estribos.

En el mismo caso número 14 se presenta el mayor esfuerzo cortante, el ancho efectivo es de 80 cm y la fuerza cortante es de 1.90 Ton, que resulta en un esfuerzo cortante último de $2.38Kg/cm^2$. El esfuerzo cortante admisible para un concreto de resistencia $210Kg/cm^2$ es de $6.52Kg/cm^2$, cumpliéndose que el esfuerzo último es menor que el esfuerzo admisible.

En el caso de no cumplirse es recomendable modificar las condiciones geométricas de la abertura entre muros, es decir incrementar la longitud de la losa de acoplamiento.

Para fines de mostrar el caso en el que la resistencia del concreto no sea suficiente en la resistencia de la cortante debida al sismo se modificó el modelo del edificio para un caso extremo. Se incrementó el número de pisos a 8 y se consideró que el edificio tiene irregularidad por torsión extrema, es decir el factor de reducción sísmica $R=4$ fue afectado por el coeficiente 0.6. Dicha consideración incrementó la fuerza sísmica en un 66.7%.

El tramo de acoplamiento que se analizó se encuentra en el eje D (Ver Figura 3.35) asumiendo el ancho efectivo de 50 cm. La resistencia a cortante del concreto para esta sección de acoplamiento es: $\phi V_c = \phi 0.53\sqrt{f'_c}(bd) = 2.28\text{Ton}$

La fuerza cortante a la que esta afectada la sección con la longitud inicial de acoplamiento $L=1.35$ m. es: 3.03 Ton (Ver Figura 3.36).

Para disminuir la fuerza cortante actuante se incrementó la longitud de la losa de acoplamiento en 20 cm, con lo que luego del análisis resultó una fuerza cortante actuante de 2.26 Ton (Ver Figura 3.37).

Se logró que la fuerza cortante actuante sea menor a la resistencia del concreto, sin embargo se realizó una iteración más considerando un recorte de muros de 0.20 m a

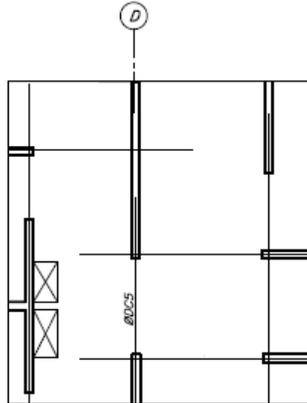


Figura 3.35: Ejemplo de control de cortante en losas de acoplamiento (Elaboración propia)

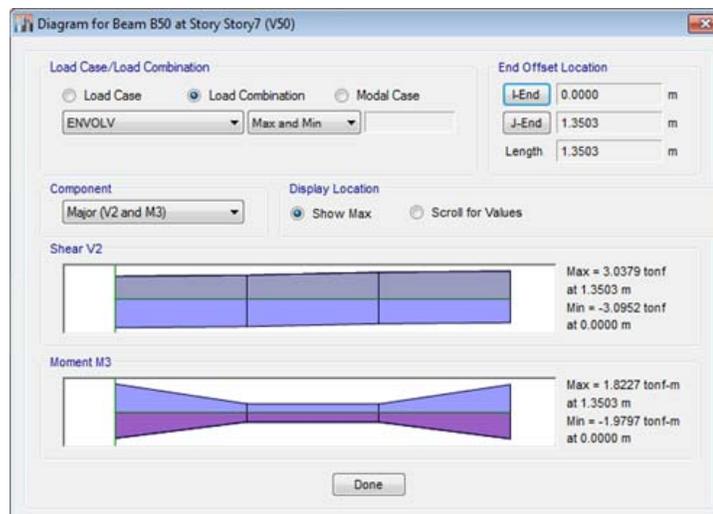


Figura 3.36: Fuerza Cortante y Momentos flectores en acoplamiento con $L=1.35\text{m}$ (Elaboración propia)

cada lado, es decir se incrementó la longitud de acoplamiento a 1.75m . Los resultados de esta iteración se muestran en la Figura 3.38.

El diseñador debe controlar los esfuerzos cortantes iterando la longitud de la losa de acoplamiento hasta que el concreto resista la fuerza cortante última. Este procedimiento también puede ser efectuado en el diseño por flexión en los casos en los que se requieran de altas cantidades de refuerzo concentrado que no puedan ser repartidos en el ancho efectivo de la losa de acoplamiento. En el ejemplo mostrado el máximo momento que puede resistir la sección de acoplamiento analizada es de 1.20 Ton-m , sin embargo en la

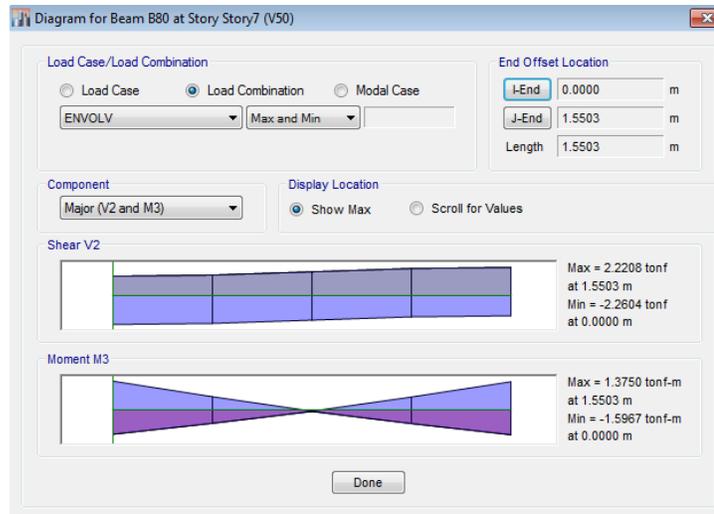


Figura 3.37: Fuerza Cortante y Momentos flectores en acoplamiento con $L=1.55\text{m}$ (Elaboración propia)

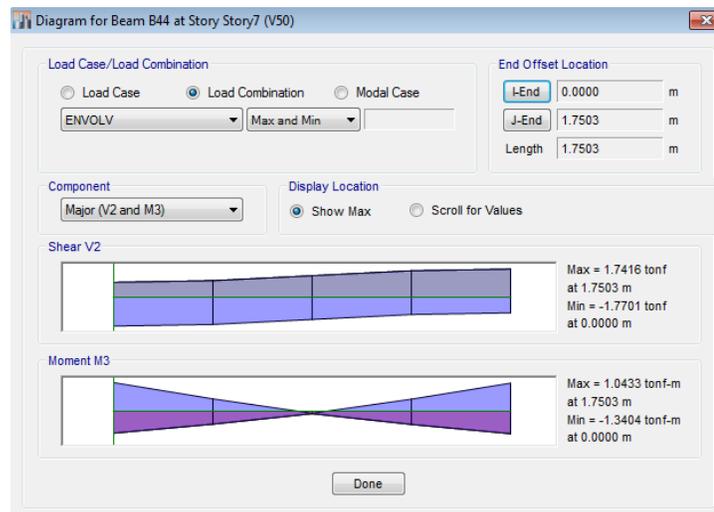


Figura 3.38: Fuerza Cortante y Momentos flectores en acoplamiento con $L=1.75\text{m}$ (Elaboración propia)

Figura 3.36 se observa que el momento actuante es de 1.98 Ton-m. Tras el incremento de la longitud de acoplamiento el momento actuante se redujo a 1.34 Ton-m, valor que todavía es mayor al momento resistente de la sección de acoplamiento. En este caso se debería seguir iterando hasta obtener un momento actuante menor al resistente.

Al incrementar la longitud de acoplamiento se reduce la longitud de los muros estructurales, el tramo reducido debe ser sustituido por tabiquería.

Capítulo 4

Resultados y Discusión

4.1. Resultados del Análisis

4.1.1. Curvas de Ancho Efectivo

De la formulación matemática y el análisis de elementos finitos para diferentes disposiciones de muros se obtuvieron curvas para el cálculo del ancho efectivo en función de L/X para diferentes casos de Y/X tal como las curvas propuestas por Hossain(2003). Para el primer caso de acoplamiento se obtuvieron las curvas mostradas en la Figura 3.20. Cada curva representa la relación Y/X , el ancho efectivo relativo Y_e/Y se puede calcular a partir de la relación L/X en la que X es la longitud total del pórtico sin importar que las longitudes de muros no sean iguales.

Para el segundo caso de acoplamiento se obtuvieron las curvas mostradas en la Figura 3.21, al igual que en el primer caso las curvas representan distintos valores para Y/X .

4.1.2. Modelos Convencional y Propuesto

Del cálculo del ancho efectivo para todas las zonas de acoplamiento de muros del edificio se obtuvieron como mínimo el ancho de 0.17 m. y como máximo de 0.90 m. con los cuales se idealizaron las losas de acoplamiento en el modelo propuesto. En los cuadros 3.10 y 3.11 se mostraron los resultados del análisis para el EMDL modelado de forma convencional y para el modelo propuesto respectivamente, de los cuales se puede estimar la contribución de las losas de acoplamiento en la rigidez lateral del edificio en cada nivel, como se puede observar en los Cuadros 4.1 y 4.2.

Cuadro 4.1: Contribución de las losas de acoplamiento en la rigidez lateral del edificio en dirección X

Piso	Rigidez Lateral Ton/m		Porcentaje de participación
	Modelo Convencional(K_{Lc})	Modelo Propuesto(K_{Lp})	
6°	391638.1	414771.8	5.9 %
5°	777699.0	819954.7	5.4 %
4°	1095833.4	1149600.3	4.9 %
3°	1455178.1	1515827.0	4.2 %
2°	1996541.0	2061495.2	3.3 %
1°	3736372.9	3812674.9	2.0 %

Cuadro 4.2: Contribución de las losas de acoplamiento en la rigidez lateral del edificio en dirección Y

Piso	Rigidez Lateral Ton/m		Porcentaje de participación
	Modelo Convencional (K_{Lc})	Modelo Propuesto (K_{Lp})	
6°	28251.2	327727.7	15.9 %
5°	525663.2	607147.8	15.5 %
4°	739719.2	843835.4	14.1 %
3°	1001932.1	1126433.9	12.4 %
2°	1473348.2	1628633.9	10.5 %
1°	2812410.3	3039597.3	8.1 %

La influencia de las losas de acoplamiento en la rigidez lateral de edificio varia entre el 2.0 % y 5.9 % en la dirección X y entre 8.1 % y 15.9 % en la dirección Y.

Respecto del modelo simplificado, la influencia de las losas de acoplamiento en la rigidez lateral del edificio en la dirección X es de la misma magnitud que la del modelo propuesto. En la dirección Y, en cambio, varía entre 8.2 % y 16.2 % en la dirección Y.

4.1.3. Refuerzo de losas de acoplamiento

Se calculó el refuerzo por flexión ϕ_{ac} en todas las zonas de acoplamiento, reforzando como mínimo con una varilla de $\phi 3/8''$ en el centro del acoplamiento y como máximo con 3 varillas de $\phi 1/2''$ manteniendo una varilla en el centro del muro, las varillas adicionales pueden colocarse a una distancia de 10 cm entre varillas.

En el Anexo II se encuentra el Plano E-02 de refuerzos concentrados en losas de acoplamiento .

4.2. Validación

- Del análisis previo del edificio se evidenció que ante un evento sísmico se producen esfuerzos de flexión y cortante en las losas por efecto de la deformación de los muros, tal como fue planteado en la hipótesis de la presente investigación. Los tramos esforzados son denominados losas de acoplamiento que al tener momentos flexionantes adicionales a los producidos por carga de gravedad requieren de refuerzo adicional concentrado.
- Al modelar las losas de acoplamiento como vigas se pudo obtener los esfuerzos promediados a los que está sometida, esta idealización permitió la obtención de datos para la sección efectiva en el acoplamiento.

- Del modelamiento del edificio se pudo cuantificar la contribución de la rigidez de las losas de acoplamiento en la rigidez lateral del edificio, variando entre el 2.0% y 15.9%.
- Para el refuerzo adicional por flexión se colocó refuerzo longitudinal concentrado. Respecto de la resistencia a cortante se comprobó en todos los casos que la resistencia a cortante del concreto fue suficiente para resistir los esfuerzos debidos al sismo. Además se mostró que incrementar la longitud de acoplamiento es una buena alternativa en el caso de que la cortante resistente del concreto no sea suficiente en la resistencia de los esfuerzos cortantes producidos por fuerza sísmica.

4.3. Contrastación de Hipotesis

Se modelaron las diferentes disposiciones de acoplamiento estudiadas por Hossain (2003) [6], Coull y Wong [8] mediante la idealización en 2-D planteada en la presente investigación para contrastar los resultados de obtenidos. En el Anexo III se indican los datos que usaron los investigadores previos y los resultados obtenidos mediante el modelamiento realizado en esta investigación. En las Figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 se muestran los datos obtenidos en contraste con los resultados analíticos de los investigadores de referencia para cada valor de Y/X .

La contrastación de resultados entre los obtenidos por Coull y Wong (Modelo 1), Hossain (Modelo 2) y en la presente investigación (Modelo 3) se muestran en el cuadro 4.3.

La desviación estándar entre los datos hallados por los tres investigadores para cada punto de las diferentes curvas no es mayor a 0.05, siendo factible afirmar que el análisis de elementos finitos y la idealización establecida en la presente investigación es valida confiable.

Cuadro 4.3: Contrastación de resultados

Nombre del modelo	Modelo 1 Coull y Wong	Modelo 2 Hossain	Modelo 3 FEM	Ye/Y	σ
C1_1	0.57	0.47	0.50	0.51	0.05
C1_2	0.75	0.71	0.71	0.72	0.02
C1_3	0.85	0.81	0.81	0.82	0.03
C1_4	0.88	0.83	0.86	0.86	0.03
C1_5	0.92	0.83	0.89	0.88	0.05
C1_6	0.93	0.88	0.92	0.91	0.02
C2_1	0.29	0.35	0.35	0.33	0.04
C2_2	0.56	0.54	0.58	0.56	0.02
C2_3	0.72	0.67	0.70	0.70	0.02
C2_4	0.79	0.75	0.77	0.77	0.02
C2_5	0.83	0.78	0.81	0.81	0.02
C2_6	0.85	0.78	0.84	0.83	0.04
C4_1	0.21	0.22	0.20	0.21	0.01
C4_2	0.36	0.35	0.39	0.36	0.02
C4_3	0.50	0.45	0.52	0.49	0.03
C4_4	0.58	0.53	0.60	0.57	0.04
C4_5	0.64	0.59	0.67	0.63	0.04
C4_6	0.71	0.67	0.71	0.70	0.02
C6_1	0.15	0.17	0.16	0.16	0.01
C6_2	0.28	0.29	0.28	0.28	0.01
C6_3	0.38	0.38	0.39	0.39	0.01
C6_4	0.47	0.45	0.48	0.47	0.02
C6_5	0.52	0.51	0.55	0.53	0.02
C6_6	0.58	0.57	0.59	0.58	0.01

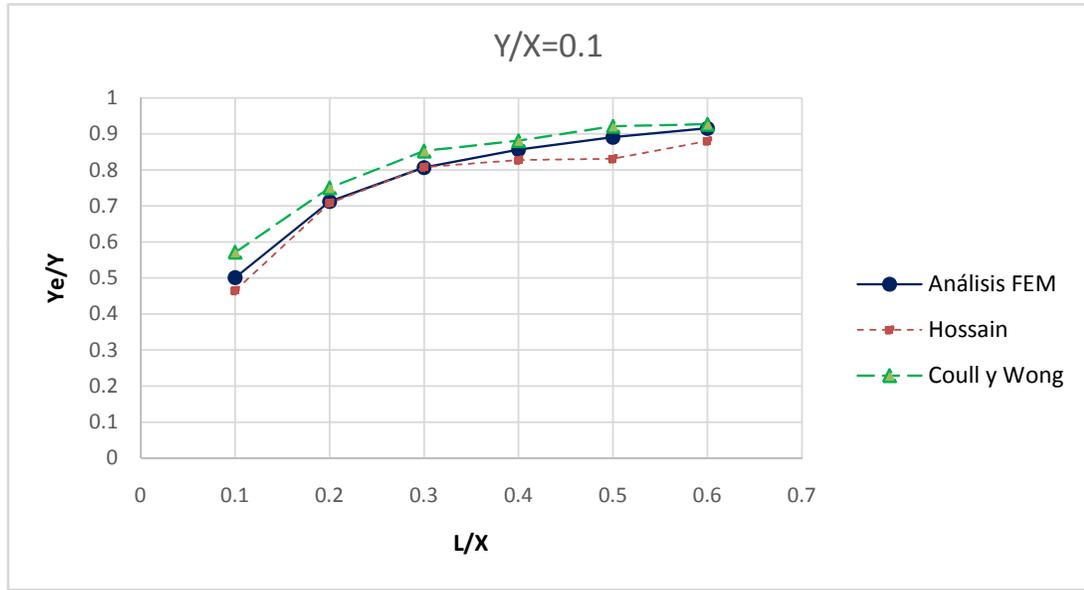


Figura 4.1: Comparación del ancho efectivo para $Y/X=0.1$ (Elaboración propia)

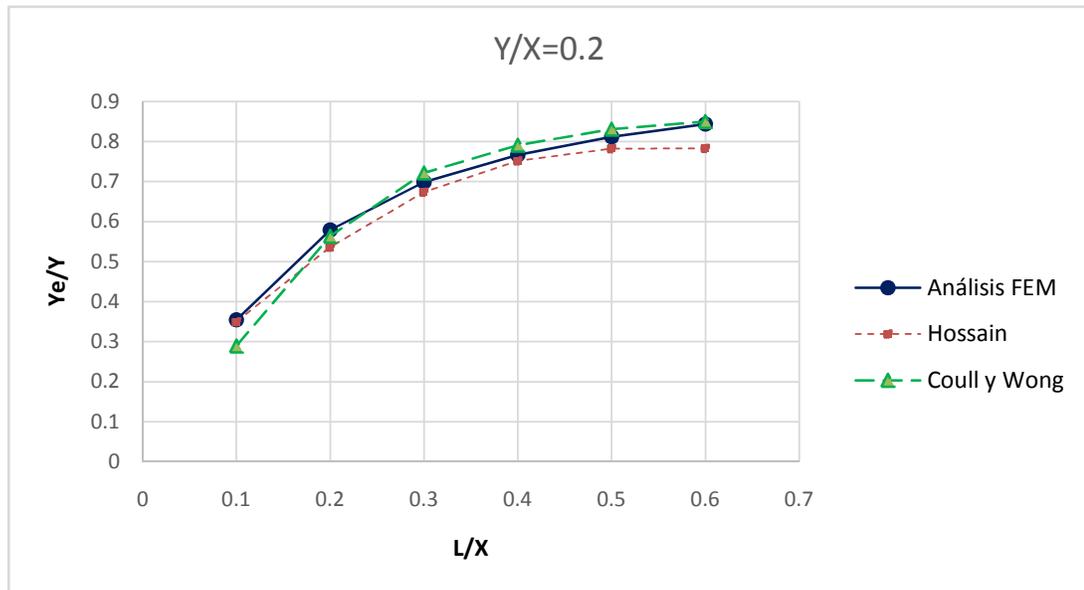


Figura 4.2: Comparación del ancho efectivo para $Y/X=0.2$ (Elaboración propia)

4.4. Discusión de Resultados

Se ha evidenciado la existencia de esfuerzos flexionantes y cortantes en las losas de acoplamiento producidos por fuerza sísmica y tras el análisis de las diferentes disposiciones de acoplamiento se hizo posible encontrar secciones efectivas en el acoplamiento de mu-

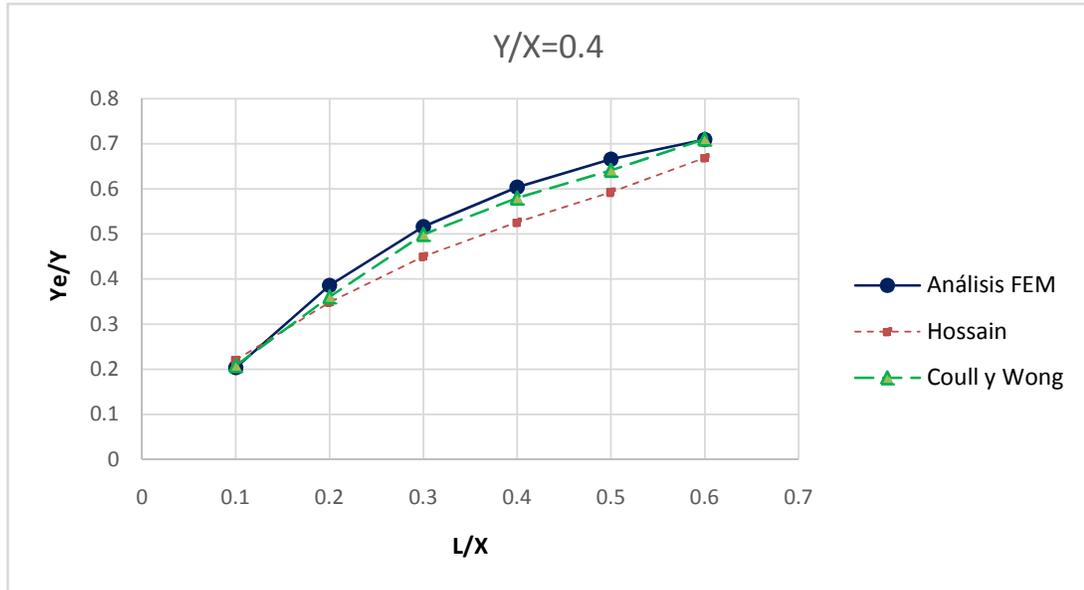


Figura 4.3: Comparación del ancho efectivo para $Y/X=0.4$ (Elaboración propia)

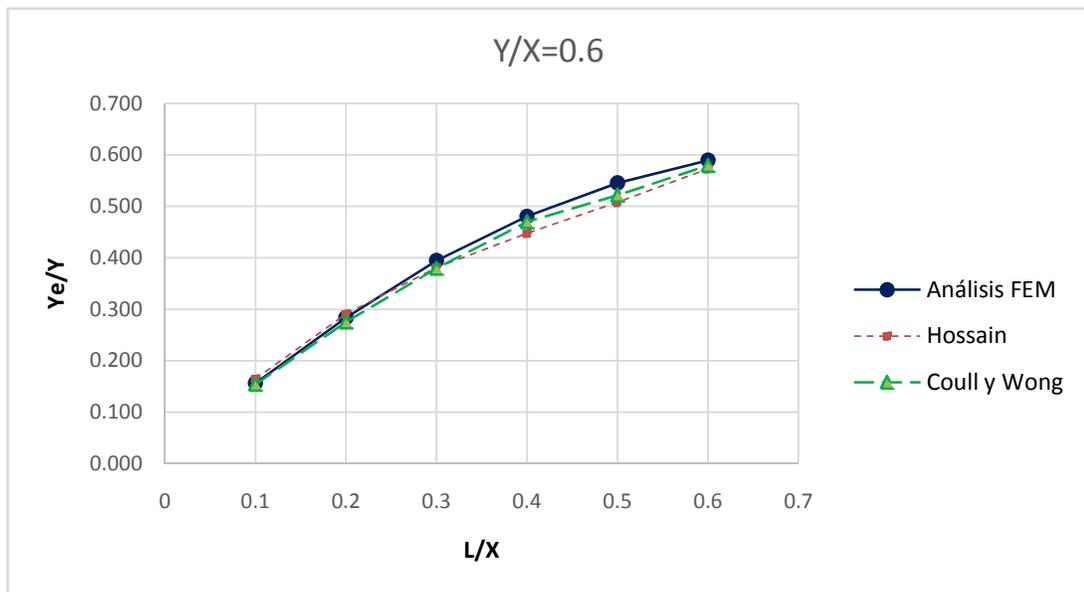


Figura 4.4: Comparación del ancho efectivo para $Y/X=0.6$ (Elaboración propia)

ros. Las secciones efectivas fueron idealizadas como vigas, lo que permitió la obtención de esfuerzos mecánicos para el posterior reforzamiento de las losas de acoplamiento.

En cuanto a la contribución de las losas de acoplamiento en la rigidez lateral del edificio, se obtuvo una contribución del 15% como máximo, lo que confirma la observación

planteada por Surumi et al[1], quienes concluyen que las losas de acoplamiento no tienen participación importante en la rigidez lateral del edificio. Esto sumado a los resultados analíticos y experimentales en el rango no-lineal obtenidos por Hossain(2003)[6] en los que se evidencia la disminución radical de la rigidez de la losa de acoplamiento posterior al agrietamiento y la fluencia del acero conlleva a considerar que para el análisis y diseño de los muros es conservador despreciar la contribución de las losas de acoplamiento en la resistencia lateral del edificio.

Sin embargo tras haber evidenciado que los esfuerzos de flexión en las losas de acoplamiento sí son de considerable magnitud , se considera que estas losas deben ser reforzadas ante los efectos flexionantes con refuerzos concentrados y se deben controlar los esfuerzos cortantes generados por fuerzas sísmicas. Para lo cual, una alternativa útil es el incremento de la longitud de acoplamiento, ya que se ha observado que se logra reducir los esfuerzos de flexion y de corte.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

De los resultados de la presente investigación se pudo concluir que:

- Las fuerzas sísmicas producen esfuerzos de flexión y cortante de considerable magnitud en las zonas denominadas losas de acoplamiento, habiendo provocado el requerimiento de hasta 3 varillas de $\phi 1/2''$ de refuerzo concentrado por flexión.
- El modelamiento de las losas de acoplamiento como vigas facilita la obtención de esfuerzos en las zonas de acoplamiento y de su contribución en la rigidez lateral del edificio.
- Las losas de acoplamiento contribuyeron en la rigidez lateral del edificio analizado entre el 2% y 15%.
- La consideración de las losas de acoplamiento en el modelamiento del edificio tiene implicancia en sus distorsiones máximas, habiendo provocado una reducción de hasta el 13.8% de la distorsión máxima del edificio estudiado, valor que en un caso límite podría contribuir en el control de irregularidades por torsión y hasta en la verificación del cumplimiento de la distorsión máxima permitida por la E-030.

- Se ha comprobado que el modelamiento simplificado considerando el ancho efectivo de 0.50 m. en los acoplamientos con $L/X > 0.2$ es válido por su equivalencia al modelo propuesto. Esto permite disminuir del tiempo de análisis de un EMDL, reduciéndose el cálculo de los anchos efectivos a zonas puntuales.
- Las curvas de ancho efectivo relativo facilitan el cálculo del ancho efectivo de las losas de acoplamiento teniendo las condiciones geométricas del acoplamiento: L, X e Y.
- Las curvas de ancho efectivo revelan que mientras mayor sea la relación L/X menor es la variación de Y_e/Y , y que mientras mayor sea la relación Y/X, menor es la influencia de Y sobre el ancho efectivo de acoplamiento Y_e .
- El incremento de la longitud de acoplamiento contribuye en la reducción de esfuerzos flexionantes y reduce considerablemente los esfuerzos de corte, siendo un método útil para el control de resistencia a fuerzas cortantes de la losa.

Recomendaciones

- Se debe analizar las losas de acoplamiento de un EMDL y brindarle del refuerzo concentrado por flexión, así como controlar la resistencia del concreto frente a la cortante producida por carga sísmica.
- De forma conservadora es recomendable no considerar la rigidez de las losas de acoplamiento en el análisis del edificio para fines de diseño de muros.
- Se recomienda realizar la iteración de recorte de muros en las secciones sobre esforzadas para controlar los esfuerzos de flexión y cortante.

Temas relacionados por investigar

A continuación algunos temas por investigar relacionados con las losas de acoplamiento en EMDL:

- Realizar un estudio experimental de las losas de acoplamiento en EMDL.
- Realizar análisis no lineal de las losas de acoplamiento en EMDL.
- Análisis de las losas de construcciones existentes de EMDL.

Referencias Bibliográficas

- [1] Surumi RS, Jaya KP, Greeshma S. Reinforced Concrete Structural Wall-Floor Slab Connection - State of the Art. ISET Golden Jubilee Symposium, India. 2012;1.
- [2] Coull A, Wong Y. Effect of Local Elastic Wall Deformations on the Interaction between Floor Slabs and Flanged Shear Walls. *Building and Environment*. 1985;20(3):169–179.
- [3] Delgado R, Peña C. Edificios Peruanos Con Muros De Concreto De Ductilidad Limitada [Tesis]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2006.
- [4] Muñoz A. Normas para el diseño de Edificaciones de Ductilidad Limitada en el Perú. In: Foro: Edificio de Muros Delgados de Concreto Armado. Lima; 2004. .
- [5] SENCICO. Normas Para El Diseño De Edificios Con Muros De Ductilidad Limitada; Lima, 2004.
- [6] Hossain KMA. Non-linear performance of slabs in coupled shear wall structures. *Advances in Structural Engineering*. 2003;6(4):339–352.
- [7] Paulay T, Taylor RG. Slab coupling of earthquake-resisting shearwalls. In: *Journal Proceedings*. vol. 2; 1981. p. 130–140.
- [8] Coull A, Wong YC. Design of Floor Slabs Coupling Shear Walls. *Journal of Structural Engineering*. 1983;109(1):109–125.

- [9] Issani RA. Flexural Behaviour of ECC Coupling Slab in Coupled Shear Wall Structure [Tesis]. Canadá : Ryerson University; 2012.
- [10] SENCICO. Norma Técnica de Edificación E-020 Cargas; Lima, 2006.
- [11] SENCICO. Norma Técnica de Edificación E-060 Concreto Armado; Lima, 2009.
- [12] Smyrou E, Sullivan TJ, Priestley MJN, Calvi GM. Study of the Behaviour of Slab-Coupled T-Shaped RC Walls. In: Proceedings of the 14 th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China; 2008. .
- [13] Schwaighofer J, Collins MP. Experimental Study of the Behavior of Reinforced Concrete Coupling Slabs. In: Journal Proceedings. vol. 3; 1977. p. 123–127.
- [14] Gálvez A. Viviendas Económicas de Concreto Con Mallas Electrosoldadas. In: Concurso Graña y Montero. Lima; 2010. .
- [15] SENCICO. Norma Técnica de Edificación E-030 Diseño Sismorresistente; Lima, 2016.
- [16] Los Edificios de Muros Delgados de Concreto y las Nuevas Normas para su Diseño [En línea]. Perú: Instituto Construir; 2005 [cited 2016 Dic 1]. Available from: <http://www.institutoconstruir.org>.

Anexo I: Planos

Anexo II: Planos

Anexo III: Datos y Resultados de Acoplamiento

ACOPLAMIENTO TIPO 1: Y/X=0,1

	Y/X	Y	X	L	L/X	W1	M	theta1	emuro	t	E	D	K1	YE	YE/Y
1	0.1	3	30	0.75	0.025	14.6250	1	0.0000020	0.1	0.1	2173706.51	188.69	2597.89	0.80	0.27
2	0.1	1.8	18	0.9	0.05	8.5500	1	0.0000109	0.1	0.1	2173706.51	188.69	485.77	0.69	0.38
3	0.1	1.6	16	1.2	0.075	7.4000	1	0.0000294	0.1	0.1	2173706.51	188.69	180.45	0.73	0.46
4	0.1	1.5	15	1.5	0.1	6.7500	1	0.0000589	0.1	0.1	2173706.51	188.69	90.05	0.78	0.52
5	0.1	0.9	9	1.8	0.2	3.6000	1	0.0003044	0.1	0.1	2173706.51	188.69	17.41	0.60	0.67
6	0.1	0.7	7	2.1	0.3	2.4500	1	0.0007770	0.1	0.1	2173706.51	188.69	6.82	0.53	0.76
7	0.1	0.6	6	2.4	0.4	1.8000	1	0.0014819	0.1	0.1	2173706.51	188.69	3.58	0.49	0.81
8	0.1	0.56	5.6	2.8	0.5	1.4000	1	0.0024027	0.1	0.1	2173706.51	188.69	2.21	0.48	0.85
9	0.1	0.5	5	3	0.6	1.0000	1	0.0035134	0.1	0.1	2173706.51	188.69	1.51	0.44	0.88

ACOPLAMIENTO TIPO 1: Y/X=0.2

	Y/X	Y	X	L	L/X	W1	M	theta1	emuro	t	E	D	K1	YE	YE/Y
1	0.2	6.0	30.0	0.8	0.0	14.63	1	0.000001	0.1	0.1	2173706.51	188.69	4108.30	1.27	0.21
2	0.2	3.6	18.0	0.9	0.1	8.55	1	0.000007	0.1	0.1	2173706.51	188.69	769.19	1.09	0.30
3	0.2	3.2	16.0	1.2	0.1	7.40	1	0.000019	0.1	0.1	2173706.51	188.69	278.93	1.13	0.35
4	0.2	3.0	15.0	1.5	0.1	6.75	1	0.000037	0.1	0.1	2173706.51	188.69	141.55	1.22	0.41
5	0.2	1.8	9.0	1.8	0.2	3.60	1	0.000182	0.1	0.1	2173706.51	188.69	29.08	1.01	0.56
6	0.2	1.4	7.0	2.1	0.3	2.45	1	0.000440	0.1	0.1	2173706.51	188.69	12.03	0.93	0.67
7	0.2	1.2	6.0	2.4	0.4	1.80	1	0.000809	0.1	0.1	2173706.51	188.69	6.55	0.89	0.74
8	0.2	1.1	5.6	2.8	0.5	1.40	1	0.001283	0.1	0.1	2173706.51	188.69	4.13	0.89	0.80
9	0.2	1.0	5.0	3.0	0.6	1.00	1	0.001857	0.1	0.1	2173706.51	188.69	2.85	0.84	0.84

ACOPLAMIENTO TIPO 1: Y/X=0.4

	Y/X	Y	X	L	L/X	W1	M	theta1	emuro	t	E	D	K1	YE	YE/Y
1	0.4	4.80	12.00	0.90	0.08	5.55	1	0.00001	0.1	0.1	2173706.51	188.69	454.13	1.38	0.29
2	0.4	4.00	10.00	1.00	0.10	4.50	1	0.00002	0.1	0.1	2173706.51	188.69	219.54	1.26	0.31
3	0.4	3.00	7.50	1.50	0.20	3.00	1	0.00012	0.1	0.1	2173706.51	188.69	42.74	1.24	0.41
4	0.4	2.80	7.00	2.10	0.30	2.45	1	0.00028	0.1	0.1	2173706.51	188.69	18.62	1.45	0.52
5	0.4	2.20	5.50	2.20	0.40	1.65	1	0.00050	0.1	0.1	2173706.51	188.69	10.68	1.33	0.61
6	0.4	1.92	4.80	2.40	0.50	1.20	1	0.00078	0.1	0.1	2173706.51	188.69	6.79	1.26	0.65
7	0.4	1.70	4.25	2.55	0.60	0.85	1	0.00111	0.1	0.1	2173706.51	188.69	4.77	1.19	0.70

ACOPLAMIENTO TIPO 1: Y/X=0.6

	Y/X	Y	X	L	L/X	W1	M	theta1	emuro	t	E	D	K1	YE	YE/Y
1	0.6	5.25	8.75	0.70	0.08	4.03	1	0.00001	0.1	0.1	2173706.51	188.69	525.24	1.40	0.27
2	0.6	4.80	8.00	0.80	0.10	3.60	1	0.00002	0.1	0.1	2173706.51	188.69	295.74	1.36	0.28
3	0.6	4.50	7.50	1.50	0.20	3.00	1	0.00010	0.1	0.1	2173706.51	188.69	54.99	1.59	0.35
4	0.6	4.20	7.00	2.10	0.30	2.45	1	0.00023	0.1	0.1	2173706.51	188.69	22.92	1.78	0.42
5	0.6	3.30	5.50	2.20	0.40	1.65	1	0.00041	0.1	0.1	2173706.51	188.69	12.91	1.61	0.49
6	0.6	2.76	4.60	2.30	0.50	1.15	1	0.00063	0.1	0.1	2173706.51	188.69	8.42	1.49	0.54
7	0.6	2.55	4.25	2.55	0.60	0.85	1	0.00088	0.1	0.1	2173706.51	188.69	6.03	1.50	0.59

ACOPAMIENTO TIPO 1: Y/X=0.8

	Y/X	Y	X	L	L/X	W1	M	theta1	emuro	t	E	D	K1	YE	YE/Y
1	0.6	8.40	14.00	0.70	0.05	6.65	1	0.0000030	0.1	0.1	2173706.51	188.69	1778.42	1.96	0.23
1	0.8	7.00	8.75	0.70	0.08	4.03	1	0.0000079	0.1	0.1	2173706.51	188.69	669.15	1.78	0.25
2	0.8	5.60	7.00	0.70	0.10	3.15	1	0.0000142	0.1	0.1	2173706.51	188.69	372.96	1.50	0.27
3	0.8	3.60	4.50	0.90	0.20	1.80	1	0.0000803	0.1	0.1	2173706.51	188.69	66.04	1.15	0.32
4	0.8	3.20	4.00	1.20	0.30	1.40	1	0.0001986	0.1	0.1	2173706.51	188.69	26.68	1.18	0.37
5	0.8	3.00	3.75	1.50	0.40	1.13	1	0.0003579	0.1	0.1	2173706.51	188.69	14.81	1.26	0.42
6	0.8	2.88	3.60	1.80	0.50	0.90	1	0.0005528	0.1	0.1	2173706.51	188.69	9.59	1.33	0.46
7	0.8	2.80	3.50	2.10	0.60	0.70	1	0.0007863	0.1	0.1	2173706.51	188.69	6.74	1.38	0.49

ACOPLAMIENTO TIPO 2: Y/X=0,2

	Y/X	Y	X	L/X	L	W	M	THETA	emuro	t	E	D	K1	Ye	Ye/Y
1	0.2	3.2	16	0.05	0.8	15.2	2	0.00001	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	1059.940699	0.701018981	0.219068432
2	0.2	3	15	0.1	1.5	13.5	2	0.00005082	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	208.5676307	0.98753613	0.32917871
3	0.2	1.8	9	0.2	1.8	7.2	2	0.00026836	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	39.49697046	0.822853551	0.457140862
4	0.2	1.4	7	0.3	2.1	4.9	2	0.00075233	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	14.08877353	0.711212125	0.508008661
5	0.2	1.25	6.3	0.4	2.5	3.75	2	0.0015716	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	6.74434143	0.669081491	0.535265193
6	0.2	1.12	5.6	0.5	2.8	2.8	2	0.002788	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	3.801795908	0.616031744	0.550028343
7	0.2	1	5	0.6	3	2	2	0.004438849	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	2.387872845	0.559657698	0.559657698

ACOPLAMIENTO TIPO 2: Y/X=0.4

	Y/X	Y	X	L/X	L	W	M	THETA	emuro	t	E	D	K1	Ye	Ye/Y
1	0.4	4	10	0.07	0.7	9.3	2	0.00002042	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	519.0698821	0.577754963	0.144438741
2	0.4	3.2	8	0.1	0.8	7.2	2	0.00004419	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	239.859855	0.605706704	0.189283345
3	0.4	2	5	0.2	1	4	2	0.00018565	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	57.09349309	0.660804318	0.330402159
4	0.4	1.6	4	0.3	1.2	2.8	1	0.00023727	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	22.33617185	0.64431265	0.402695406
5	0.4	1.3	3.3	0.4	1.3	1.95	1	0.00046871	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	11.30699899	0.583297567	0.448690436
6	0.4	1.2	3	0.5	1.5	1.5	1	0.00079684	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	6.650900426	0.577335106	0.481112589
7	0.4	1.2	3	0.6	1.8	1.2	1	0.00122548	0.1	0.1	2173706.512	188.6898014	4.324594033	0.608146036	0.506788363

ACOPLAMIENTO TIPO 1: Y/X=0.6

	Y/X	Y	X	L/X	L	W	M	THETA	emuro	t	E	D	K1	Ye	Ye/Y
1	0.6	6	10	0.07	0.7	9.3	1.00	0.0000	0.1000	0.1	2173706.512	188.6898014	596.1421255	0.663540852	0.110590142
2	0.6	4.8	8	0.1	0.8	7.2	1.00	0.0000	0.1000	0.1	2173706.512	188.6898014	266.1829983	0.672179289	0.140037352
3	0.6	3	5	0.2	1	4	1.00	0.0001	0.1000	0.1	2173706.512	188.6898014	60.36796327	0.698703279	0.232901093
4	0.6	2.4	4	0.3	1.2	2.8	1.00	0.0002	0.1000	0.1	2173706.512	188.6898014	26.42716414	0.762322042	0.317634184
5	0.6	1.95	3.3	0.4	1.3	1.95	1.00	0.0004	0.1000	0.1	2173706.512	188.6898014	14.09233253	0.726985408	0.37281303
6	0.6	1.8	3	0.5	1.5	1.5	1.00	0.0006	0.1000	0.1	2173706.512	188.6898014	8.600203651	0.746545456	0.414747475
7	0.6	1.8	3	0.6	1.8	1.2	1.00	0.0009	0.1000	0.1	2173706.512	188.6898014	5.728108749	0.805515293	0.447508496

ACOPLAMIENTO TIPO 1: Y/X=0.8

	Y/X	Y	X	L/X	L	W	M	THETA	emuro	t	E	D	K1	Ye	Ye/Y
1	0.8	5.6	7	0.1	0.7	6.3	1.00	0.0000	0.1000	0.1	2173706.512	188.6898014	303.1866988	0.669920105	0.11962859
2	0.8	3.6	4.5	0.2	0.9	3.6	1.00	0.0001	0.1000	0.1	2173706.512	188.6898014	66.13881812	0.688946022	0.191373895
3	0.8	3.2	4	0.3	1.2	2.8	1.00	0.0002	0.1000	0.1	2173706.512	188.6898014	28.8702048	0.832794369	0.26024824
4	0.8	3	3.8	0.4	1.5	2.25	1.00	0.0003	0.1000	0.1	2173706.512	188.6898014	15.79973018	0.94046013	0.31348671
5	0.8	1.92	2.4	0.5	1.2	1.2	1.00	0.0005	0.1000	0.1	2173706.512	188.6898014	9.747118914	0.676883258	0.352543363
6	0.8	1.2	1.5	0.6	0.9	0.6	1.00	0.0008	0.1000	0.1	2173706.512	188.6898014	6.489565292	0.45629756	0.380247966

VALIDACIÓN HOSSAIN, COULL Y WONG : Y/X=0.1

	Y/X	Y	X	L	L/X	W1	M	theta1	emuro	l1	t	E	D	K1	YE	
1	0.10	1.20	12	1.2	0.1	5.4	1	0.000008	0.2	31.493		0.2	2173706.51	1482.49	87.26	0.60
2	0.10	1.20	12	2.4	0.2	4.8	1	0.000037	0.2	22.118		0.2	2173706.51	1482.49	18.47	0.85
3	0.10	1.20	12	3.6	0.3	4.2	1	0.000093	0.2	14.818		0.2	2173706.51	1482.49	7.27	0.97
4	0.10	1.20	12	4.8	0.4	3.6	1	0.000179	0.2	9.3312		0.2	2173706.51	1482.49	3.78	1.03
5	0.10	1.20	12	6	0.5	3	1	0.000292	0.2	5.4		0.2	2173706.51	1482.49	2.31	1.07
6	0.10	1.20	12	7.2	0.6	2.4	1	0.000432	0.2	2.7648		0.2	2173706.51	1482.49	1.56	1.10

YE/Y	Hossain	Coull
0.50	0.47	0.57
0.71	0.71	0.75
0.81	0.81	0.85
0.86	0.83	0.88
0.89	0.83	0.92
0.92	0.88	0.93

VALIDACIÓN HOSSAIN, COULL Y WONG : Y/X=0.2

	Y/X	Y	X	L	L/X	W1	M	theta1	emuro	l1	t	E	D	K1	YE	
4	0.200	2.400	12	1.2	0.1	5.4	1	5.46E-06	0.2	31.493		0.2	2173706.51	1482.49	123.54	0.85
5	0.200	2.400	12	2.4	0.2	4.8	1	2.248E-05	0.2	22.118		0.2	2173706.51	1482.49	30.01	1.39
6	0.200	2.400	12	3.6	0.3	4.2	1	5.354E-05	0.2	14.818		0.2	2173706.51	1482.49	12.60	1.68
7	0.200	2.400	12	4.8	0.4	3.6	1	9.972E-05	0.2	9.3312		0.2	2173706.51	1482.49	6.76	1.84
8	0.200	2.400	12	6	0.5	3	1	0.0001603	0.2	5.4		0.2	2173706.51	1482.49	4.21	1.95
9	0.200	2.400	12	7.2	0.6	2.4	1	0.0002343	0.2	2.7648		0.2	2173706.51	1482.49	2.88	2.02

YE/Y	Hossain	Coull
0.35	0.35	0.29
0.58	0.54	0.56
0.70	0.67	0.72
0.77	0.75	0.79
0.81	0.78	0.83
0.84	0.78	0.85

VALIDACIÓN HOSSAIN, COULL Y WONG : Y/X=0.4

	Y/X	Y	X	L	L/X	W1	M	theta1	emuro	l1	t	E	D	K1	YE
1	0.400	4.800	12	1.2	0.1	5.4	1	0.000005	0.2	31.49	0.2	2173706.51	1482.49	142.01	0.98
2	0.400	4.800	12	2.4	0.2	4.8	1	0.000017	0.2	22.12	0.2	2173706.51	1482.49	40.01	1.85
3	0.400	4.800	12	3.6	0.3	4.2	1	0.000036	0.2	14.82	0.2	2173706.51	1482.49	18.61	2.48
4	0.400	4.800	12	4.8	0.4	3.6	1	0.000063	0.2	9.33	0.2	2173706.51	1482.49	10.65	2.90
5	0.400	4.800	12	6	0.5	3	1	0.000098	0.2	5.40	0.2	2173706.51	1482.49	6.90	3.20
6	0.400	4.800	12	7.2	0.6	2.4	1	0.000139	0.2	2.76	0.2	2173706.51	1482.49	4.84	3.40

YE/Y	Hossain	Coull
0.20	0.22	0.21
0.39	0.35	0.36
0.52	0.45	0.50
0.60	0.53	0.58
0.67	0.59	0.64
0.71	0.67	0.71

VALIDACIÓN HOSSAIN, COULL Y WONG : Y/X=0.6

	Y/X	Y	X	L	L/X	W1	M	theta1	emuro	l1	t	E	D	K1	YE	
1	0.600	7.200	12	1.2	0.1	5.4	1	0.000004	0.1	15.75		0.2	2173706.51	1482.49	163.72	1.13
2	0.600	7.200	12	2.4	0.2	4.8	1	0.000015	0.1	11.06		0.2	2173706.51	1482.49	44.15	2.04
3	0.600	7.200	12	3.6	0.3	4.2	1	0.000032	0.1	7.41		0.2	2173706.51	1482.49	21.35	2.84
4	0.600	7.200	12	4.8	0.4	3.6	1	0.000053	0.1	4.67		0.2	2173706.51	1482.49	12.72	3.46
5	0.600	7.200	12	6	0.5	3	1	0.000080	0.1	2.70		0.2	2173706.51	1482.49	8.48	3.93
6	0.600	7.200	12	7.2	0.6	2.4	1	0.000112	0.1	1.38		0.2	2173706.51	1482.49	6.04	4.24

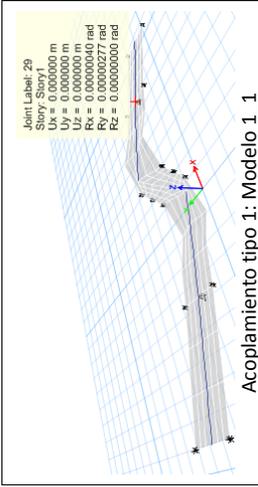
YE/Y	Hossain	Coull y Wong
0.16	0.17	0.15
0.28	0.29	0.28
0.39	0.38	0.38
0.48	0.45	0.47
0.55	0.51	0.52
0.59	0.57	0.58

DATOS DE MODELOS PARA ACOPLAMIENTO CON DISPOSICIÓN TIPO 1

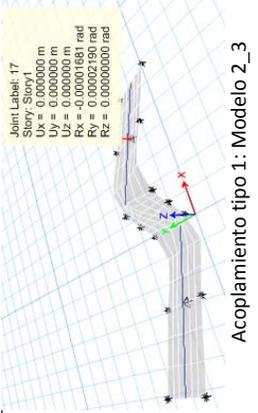
Y/X	Nombre del modelo	L/X	X	L	Y	W
0.1	1_1	0.025	30.00	0.75	3.00	14.63
	1_2	0.050	18.00	0.90	1.80	8.55
	1_3	0.075	16.00	1.20	1.60	7.40
	1_4	0.1	15.00	1.50	1.50	6.75
	1_5	0.2	9.00	1.80	0.90	3.60
	1_6	0.3	7.00	2.10	0.70	2.45
	1_7	0.4	6.00	2.40	0.60	1.80
	1_8	0.5	5.60	2.80	0.56	1.40
	1_9	0.6	5.00	3.00	0.50	1.00
0.2	2_1	0.025	30.00	0.75	6.00	14.63
	2_2	0.050	18.00	0.90	3.60	8.55
	2_3	0.075	16.00	1.20	3.20	7.40
	2_4	0.1	15.00	1.50	3.00	6.75
	2_5	0.2	9.00	1.80	1.80	3.60
	2_6	0.3	7.00	2.10	1.40	2.45
	2_7	0.4	6.00	2.40	1.20	1.80
	2_8	0.5	5.60	2.80	1.12	1.40
	2_9	0.6	5.00	3.00	1.00	1.00
0.4	4_1	0.075	12.00	0.90	4.80	5.55
	4_2	0.1	10.00	1.00	4.00	4.50
	4_3	0.2	7.50	1.50	3.00	3.00
	4_4	0.3	7.00	2.10	2.80	2.45
	4_5	0.4	5.50	2.20	2.20	1.65
	4_6	0.5	4.80	2.40	1.92	1.20
	4_7	0.6	4.25	2.55	1.70	0.85
0.6	6_1	0.08	8.75	0.70	5.25	4.03
	6_2	0.1	8.00	0.80	4.80	3.60
	6_3	0.2	7.50	1.50	4.50	3.00
	6_4	0.3	7.00	2.10	4.20	2.45
	6_5	0.4	5.50	2.20	3.30	1.65
	6_6	0.5	4.60	2.30	2.76	1.15
	6_7	0.6	4.25	2.55	2.55	0.85
0.8	8_1	0.05	14.00	0.70	8.40	6.65
	8_2	0.08	8.75	0.70	7.00	4.03
	8_3	0.1	7.00	0.70	5.60	3.15
	8_4	0.2	4.50	0.90	3.60	1.80
	8_5	0.3	4.00	1.20	3.20	1.40
	8_6	0.4	3.75	1.50	3.00	1.13
	8_7	0.5	3.60	1.80	2.88	0.90
	8_8	0.6	3.50	2.10	2.80	0.70

DATOS DE MODELOS PARA ACOPLAMIENTO CON DISPOSICIÓN TIPO 2

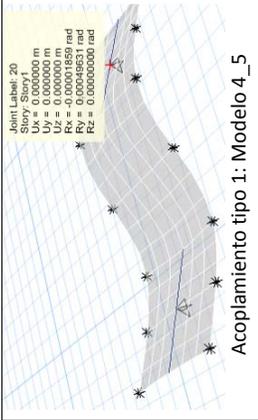
Y/X	Nombre Modelo	L/X	X(m)	L(m)	Y(m)	W(m)
0.2	2_1	0.05	16.00	0.80	3.20	15.20
	2_2	0.1	15.00	1.50	3.00	13.50
	2_3	0.2	9.00	1.80	1.80	7.20
	2_4	0.3	7.00	2.10	1.40	4.90
	2_5	0.4	6.25	2.50	1.25	3.75
	2_6	0.5	5.60	2.80	1.12	2.80
	2_7	0.6	5.00	3.00	1.00	2.00
0.4	4_1	0.07	10.00	0.70	4.00	9.30
	4_2	0.1	8.00	0.80	3.20	7.20
	4_3	0.2	5.00	1.00	2.00	4.00
	4_4	0.3	4.00	1.20	1.60	2.80
	4_5	0.4	3.25	1.30	1.30	1.95
	4_6	0.5	3.00	1.50	1.20	1.50
	4_7	0.6	3.00	1.80	1.20	1.20
0.6	6_1	0.07	10.00	0.70	6.00	9.30
	6_2	0.1	8.00	0.80	4.80	7.20
	6_3	0.2	5.00	1.00	3.00	4.00
	6_4	0.3	4.00	1.20	2.40	2.80
	6_5	0.4	3.25	1.30	1.95	1.95
	6_6	0.5	3.00	1.50	1.80	1.50
	6_7	0.6	3.00	1.80	1.80	1.20
0.8	8_1	0.1	7.00	0.70	5.60	6.30
	8_2	0.2	4.50	0.90	3.60	3.60
	8_3	0.3	4.00	1.20	3.20	2.80
	8_4	0.4	3.75	1.50	3.00	2.25
	8_5	0.5	2.40	1.20	1.92	1.20
	8_6	0.6	1.50	0.90	1.20	0.60



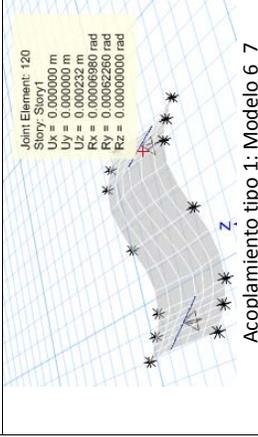
Acoplamiento tipo 1: Modelo 1_1



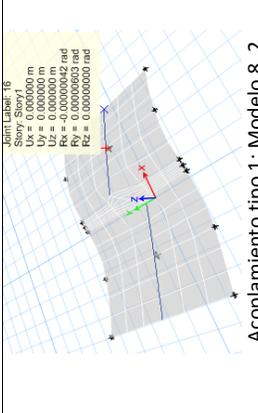
Acoplamiento tipo 1: Modelo 2_3



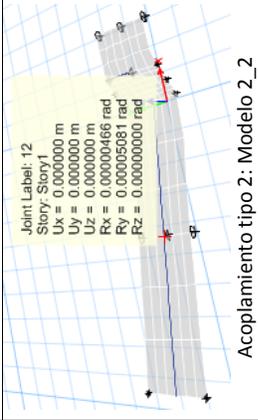
Acoplamiento tipo 1: Modelo 4_5



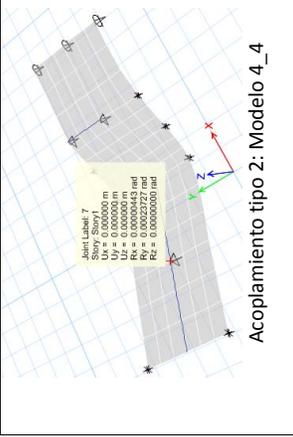
Acoplamiento tipo 1: Modelo 6_7



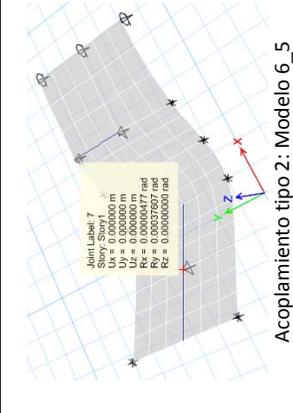
Acoplamiento tipo 1: Modelo 8_2



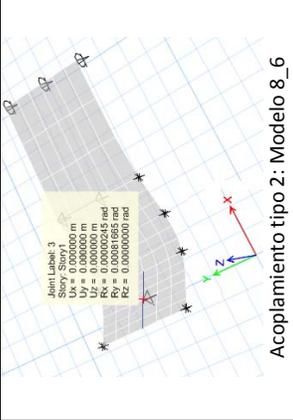
Acoplamiento tipo 2: Modelo 2_2



Acoplamiento tipo 2: Modelo 4_4



Acoplamiento tipo 2: Modelo 6_5



Acoplamiento tipo 2: Modelo 8_6

RESULTADOS DE ACOPLAMIENTO CON DISPOSICIÓN TIPO 1

Y/X	Nombre del modelo	θ (x10-3 Rad)	K	Ye (m)	Ye/Y
0.1	1_1	0.002	2597.89	0.80	0.27
	1_2	0.011	485.77	0.69	0.38
	1_3	0.029	180.45	0.73	0.46
	1_4	0.059	90.05	0.78	0.52
	1_5	0.304	17.41	0.60	0.67
	1_6	0.777	6.82	0.53	0.76
	1_7	1.482	3.58	0.49	0.81
	1_8	2.403	2.21	0.48	0.85
	1_9	3.513	1.51	0.44	0.88
0.2	2_1	0.001	4108.30	1.27	0.21
	2_2	0.007	769.19	1.09	0.30
	2_3	0.022	242.00	0.98	0.31
	2_4	0.037	141.55	1.22	0.41
	2_5	0.182	29.08	1.01	0.56
	2_6	0.440	12.03	0.93	0.67
	2_7	0.809	6.55	0.89	0.74
	2_8	1.283	4.13	0.89	0.80
	2_9	1.857	2.85	0.84	0.84
0.4	4_1	0.012	454.13	1.38	0.29
	4_2	0.024	219.54	1.26	0.31
	4_3	0.124	42.74	1.24	0.41
	4_4	0.285	18.62	1.45	0.52
	4_5	0.496	10.68	1.33	0.61
	4_6	0.781	6.79	1.26	0.65
	4_7	1.110	4.77	1.19	0.70
0.6	6_1	0.010	525.24	1.40	0.27
	6_2	0.018	295.74	1.36	0.28
	6_3	0.096	54.99	1.59	0.35
	6_4	0.231	22.92	1.78	0.42
	6_5	0.411	12.91	1.61	0.49
	6_6	0.630	8.42	1.49	0.54
	6_7	0.879	6.03	1.50	0.59
0.8	8_1	0.003	1778.42	1.96	0.23
	8_2	0.008	669.15	1.78	0.25
	8_3	0.014	372.96	1.50	0.27
	8_4	0.080	66.04	1.15	0.32
	8_5	0.199	26.68	1.18	0.37
	8_6	0.358	14.81	1.26	0.42
	8_7	0.553	9.59	1.33	0.46
	8_8	0.786	6.74	1.38	0.49

RESULTADOS DE ACOPLAMIENTO CON DISPOSICIÓN TIPO 2

Y/X	Nombre Modelo	θ (x10-3 Rad)	K	Ye (m)	Ye/Y
0.2	2_1	0.010	1059.94	0.70	0.22
	2_2	0.051	208.57	0.99	0.33
	2_3	0.268	39.50	0.82	0.46
	2_4	0.752	14.09	0.71	0.51
	2_5	1.572	6.74	0.67	0.54
	2_6	2.788	3.80	0.62	0.55
	2_7	4.439	2.39	0.56	0.56
0.4	4_1	0.020	519.07	0.58	0.14
	4_2	0.044	239.86	0.61	0.19
	4_3	0.186	57.09	0.66	0.33
	4_4	0.237	22.34	0.64	0.40
	4_5	0.469	11.31	0.58	0.45
	4_6	0.797	6.65	0.58	0.48
	4_7	1.225	4.32	0.61	0.51
0.6	6_1	0.009	596.14	0.66	0.11
	6_2	0.020	266.18	0.67	0.14
	6_3	0.088	60.37	0.70	0.23
	6_4	0.201	26.43	0.76	0.32
	6_5	0.376	14.09	0.73	0.37
	6_6	0.616	8.60	0.75	0.41
	6_7	0.925	5.73	0.81	0.45
0.8	8_1	0.017	303.19	0.67	0.12
	8_2	0.080	66.14	0.69	0.19
	8_3	0.184	28.87	0.83	0.26
	8_4	0.335	15.80	0.94	0.31
	8_5	0.544	9.75	0.68	0.35
	8_6	0.817	6.49	0.46	0.38