



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO DE LA RESPUESTA NUMÉRICA DE LOSAS ACOPLADAS
CON MUROS RECTANGULARES DE HORMIGÓN ARMADO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

CONSUELO FERNANDA HENRÍQUEZ PIZARRO

PROFESOR GUÍA:
FABIÁN ROJAS BARRALES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
LEONARDO MASSONE SÁNCHEZ
AUGUSTO HOLMBERG FUENZALIDA

SANTIAGO DE CHILE

2019

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL
POR: CONSUELO FERNANDA HENRÍQUEZ PIZARRO
FECHA: 2019
PROFESOR GUÍA: FABIÁN ROJAS BARRALES

ESTUDIO DE LA RESPUESTA NUMÉRICA DE LOSAS ACOPLADAS
CON MUROS RECTANGULARES DE HORMIGÓN ARMADO

Una de las estructuraciones utilizadas en edificios de gran altura es la de sistemas de muros de hormigón armado acoplados por losas, la que ha mostrando un comportamiento eficiente ante cargas de sismo y viento, donde los muros al recibir estas cargas producen esfuerzos de corte y momento en las losas, siendo resistidos por una parte de esta.

Varios estudios han analizado el comportamiento de estos sistemas pero se ha puesto poca atención en el análisis post fluencia de las losas y los esfuerzos de flexión y corte que se generan y son capaces de resistir, así como en la influencia de la cantidad y ubicación de la armadura necesaria para resistir estas cargas. Debido a esto y a que en las oficinas de cálculo chilenas se utilizan estos sistemas con refuerzo de losa, surge el interés de estudiar su comportamiento y eficiencia.

Para esto se realizará un estudio paramétrico utilizando modelos numéricos no lineales de ejes resistentes comunes sometidos a un análisis *pushover*, que estarán limitados a una losa de piso y la mitad de la estructura de los muros que se encuentran sobre y bajo la losa, considerando elementos finitos y leyes constitutivas representativas de los materiales para caracterizar la respuesta colineal de estos elementos en la tipología de edificios chilenos, donde se irá variando la armadura de refuerzo utilizando dos tipos de modelos, con armadura concentrada y armadura distribuida, y se analizarán su distribución de momento, esfuerzos transmitidos y ancho efectivo.

De este análisis se ha obtenido que existe una zona capaz de transmitir los esfuerzos, al alejarse de este sector la distribución de momento disminuye bruscamente de la misma forma independiente de la cuantía utilizada y no se aprecia un aporte significativo en la resistencia de momento por parte de las barras de refuerzo. Se deduce de esto que el ancho efectivo no depende de la cuantía utilizada, sino que está en función de la geometría del sistema como se ha mencionado en estudios anteriores, y que resulta más eficiente utilizar armadura del tipo concentrada, ya que pasado de la zona mencionada no se produce un aumento importante en el acoplamiento y por lo tanto se estará perdiendo armadura.

A mis viejitas, un beso al cielo...

Agradecimientos

En este trabajo que da fin a mi etapa universitaria no puedo dejar de agradecer a todas las personas que han estado conmigo en este proceso, ya sea con su apoyo y ayuda o simplemente con su compañía para hacer más llevadero el día a día en la universidad.

Quiero agradecerle a mi familia, padres y hermanos, que me han apoyado en todo lo que me he propuesto, quienes me incentivaron desde pequeña en mis estudios y a cumplir mis metas, y para lo cual han estado aguantando mis enojos y momentos de estrés durante todos estos años.

También quisiera agradecerle a mis distintos amigos, algunos pasan y otros quedan, pero de cierta forma todos han aportado a mi llegada hasta aquí. Agradecerle principalmente a Paula y Vanessa, con las cuales llevo una amistad desde el colegio y el destino nos mantuvo juntas en la universidad, de seguro esta no hubiese sido igual sin ustedes; a Pipon, Susana y Javiera, que aunque no compartamos mucho se que siempre puedo contar con ellos; a Melissa con la que al tener un tema parecido de investigación compartí frustraciones y alegrías durante este año; a Jose con el que he compartido desde el primer año y ha sido mi fiel compañero de trabajos en grupo; y a Esteban que pese a todo lo que hemos pasado siempre ha estado ahí dándome su apoyo y alentándome.

Finalmente agradecerle a Raquel y al grupo de danza árabe, que se convirtió en una escapatoria a mitad de semana del estrés de la u, lo que me permitía relajarme y llenarme de energías, y donde además en todos estos años conocí un montón de gente linda.

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1. Introducción general	1
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivos generales	5
1.2.2. Objetivos específicos	5
1.3. Alcance	5
1.4. Organización	6
2. SAFE-ToolBox	7
2.1. Descripción del programa	7
2.2. Leyes constitutivas de los materiales	8
2.2.1. Hormigón	8
2.2.2. Acero	11
3. Tipología de edificios chilenos	14
3.1. Características típicas de losas y muros	14
3.1.1. Geometría de los elementos	14
3.1.2. Cuantías de los elementos	16
4. Modelamiento de sistemas de muros acoplados por losas	20
4.1. Dimensiones y cuantías	20
4.2. Modelos en SAFE-Toolbox	23
5. Análisis <i>pushover</i>	27
5.1. Cargas	27
5.1.1. Carga vertical	27
5.1.2. Carga horizontal	28
5.2. Algoritmo de solución y método de convergencia	32
5.3. Parámetros de estudio	33
5.3.1. Distribución de momento y rotación	33

5.3.2.	Esfuerzos transmitidos	33
5.3.3.	Ancho efectivo	35
5.3.4.	Grado de acoplamiento	36
5.4.	Resultados de la comparación de modelos de 1 piso y 10 pisos	37
5.4.1.	Distribución de momento y rotación	37
5.4.2.	Concentración de corte y momento	39
5.4.3.	Ancho efectivo	41
6.	Estudio paramétrico	43
6.1.	Variaciones respecto al modelo base	43
6.2.	Resultados modelo de 1 piso con armadura 6 ϕ 16	45
6.2.1.	Respuesta <i>pushover</i>	45
6.2.2.	Distribución de momento y rotación	45
6.2.3.	Esfuerzos resultantes	49
6.2.4.	Deformación resultante	50
6.2.5.	Deformaciones unitarias	50
6.2.6.	Concentración de corte y momento	52
6.2.7.	Ancho efectivo	53
6.3.	Comparación de modelos de 1 piso con armadura concentrada	54
6.3.1.	Distribución de momento y rotación	54
6.3.2.	Concentración de corte y momento	56
6.3.3.	Ancho efectivo	57
6.4.	Comparación de modelos de 1 piso con armadura distribuida	58
6.4.1.	Distribución de momento y rotación	58
6.4.2.	Concentración de corte y momento	60
6.4.3.	Ancho efectivo	61
7.	Conclusión	62
	Glosario	64
	Bibliografía	65
A.	Propiedades de los materiales	67
B.	Representación del comportamiento de la losa	68
B.1.	Modelo de estudio	68
B.2.	Resultados	69
B.2.1.	Conservación de esfuerzos	69
B.2.2.	Momento de fluencia	70

B.2.3. Distribución de momento	71
C. Resultados modelo de 1 piso con muros elásticos	73
C.1. Respuesta <i>pushover</i>	73
C.2. Distribución de momento y rotación	74
C.3. Esfuerzos resultantes	77
C.4. Deformación resultante	77
C.5. Deformaciones unitarias	78
C.6. Concentración de corte y momento	79
C.7. Ancho efectivo	80
D. Resultados modelo de 10 pisos	81
D.1. Respuesta pushover	81
D.2. Grado de acoplamiento	81
D.3. Distribución de momento y rotación	82
D.4. Esfuerzos resultantes	90
D.5. Deformación resultante	92
D.6. Deformaciones unitarias	93
D.7. Concentración de corte y momento	99
D.8. Ancho efectivo	103
E. Resultados modelos de 1 piso	107
E.1. Respuesta pushover	107
E.2. Distribución de momento y rotación	108
E.3. Esfuerzos resultantes	116
E.4. Deformación resultante	118
E.5. Deformaciones unitarias	119
E.6. Concentración de corte y momento	125
E.7. Ancho efectivo	129

Índice de tablas

4.1. Geometría modelo de 10 pisos.	21
4.2. Armadura losa.	22
4.3. Propiedades vigas.	24
6.1. Casos de refuerzo de losa.	44
A.1. Propiedades del hormigón.	67
A.2. Propiedades del acero.	67

Índice de ilustraciones

1.1. Acción de los muros ante cargas laterales. (Basado en Coull [6])	1
1.2. Configuración muro-losa para el cálculo del ancho efectivo. (Basado en Tapia [4])	3
2.1. Representación del elemento conformado por capas de secciones membrana.(Rojas [9])	7
2.2. Modelo constitutivo para el hormigón a compresión utilizando la curva de Thorenfeldt. (Rojas [10])	8
2.3. Modelo constitutivo para el hormigón a tracción utilizando la curva de Belarbi y Hsu. (Rojas [10])	9
2.4. Reglas de histéresis para el modelo del hormigón. (Rojas [10])	10
2.5. Modelo constitutivo de Manegotto-Pinto para el acero. (Rojas [10])	12
3.1. Geometría de la losa.	15
3.2. Histograma geometría de muro.	16
3.3. Histogramas cuantía armadura distribuía de la losa.	17
3.4. Histogramas armadura de refuerzo.	17
3.5. Histogramas armadura distribuida de muro.	18
3.6. Histogramas armadura de borde de muro.	19
4.1. Plano modelo de 10 pisos.	21
4.2. Plano de la losa.	22
4.3. Orientación de la armadura de refuerzo de la losa.	22
4.4. Plano modelo de 1 piso.	23
4.5. Longitud elemento de borde.	24
4.6. Mallado modelo de 10 pisos.	25
4.7. Mallado modelo de 1 piso.	26
4.8. Mallado losa.	26
5.1. Aplicación carga vertical.	28
5.2. Esquema método SSAP (Barrera [17]).	29

5.3. Patrón de carga horizontal para el modelo de 10 pisos.	30
5.4. Distribución de la carga horizontal a lo alto del edificio de 10 pisos.	31
5.5. Aplicación carga horizontal.	32
5.6. Elementos utilizado en el análisis de distribución de momento y rotación. . .	33
5.7. Corte transferido.	34
5.8. Momento transferido.	34
5.9. Ancho efectivo.	35
5.10. Fuerzas resistentes en figuras acopladas. (Barrera [17])	36
5.11. M11 a lo largo y ancho de la losa, para una rotación de 0.005 (rad), M1P y M10P.	37
5.12. R11 a lo largo y ancho de la losa, para una deriva de 0.50 %, M1P y M10P. .	38
5.13. Concentración del corte en la zona de acoplamiento, M1P y M10P.	39
5.14. Concentración del momento en la zona de acoplamiento, M1P y M10P. . . .	40
5.15. b_{eff} , M1P y M10P.	41
5.16. b_{eff}/e_{losa} M1P y M10P.	42
6.1. Histéresis modelo $6\phi 16$	45
6.2. M11 a lo largo y ancho de la losa, modelo $6\phi 16$	46
6.3. M22 a lo largo y ancho de la losa, modelo $6\phi 16$	47
6.4. R11 a lo largo y ancho de la losa, modelo $6\phi 16$	48
6.5. R22 a lo largo y ancho de la losa, modelo $6\phi 16$	48
6.6. Momento de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo $6\phi 16$	49
6.7. Deformación de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo $6\phi 16$	50
6.8. Deformaciones unitarias de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo $6\phi 16$. .	51
6.9. Concentración del corte en la zona de acoplamiento, modelo $6\phi 16$	52
6.10. Concentración del momento en la zona de acoplamiento, modelo $6\phi 16$	52
6.11. Ancho efectivo, modelo $6\phi 16$	53
6.12. M11 a lo largo y ancho de la losa, para una deriva de 0.50 %, modelos con armadura concentrada.	54
6.13. M11 a lo largo y ancho de la losa, para una rotación de 0.005 (rad), modelos con armadura concentrada.	55
6.14. R11 a lo largo y ancho de la losa, para una deriva de 0.50 %, modelos con armadura concentrada	55
6.15. Concentración del corte en la zona de acoplamiento, modelos con armadura concentrada.	56
6.16. Concentración del momento en la zona de acoplamiento, modelos con arma- dura concentrada.	56
6.17. Ancho efectivo, modelos con armadura concentrada.	57

6.18. M11 a lo largo y ancho de la losa, para una deriva de 0.50%, modelos con armadura distribuida.	58
6.19. M11 a lo largo y ancho de la losa, para una rotación de 0.005 (rad), modelos con armadura distribuida.	59
6.20. R11 a lo largo y ancho de la losa, para una deriva de 0.50%, modelos con armadura distribuida.	59
6.21. Concentración del corte en la zona de acoplamiento, modelos con armadura distribuida.	60
6.22. Concentración del momento en la zona de acoplamiento, modelos con armadura distribuida.	60
6.23. Ancho efectivo, modelos con armadura distribuida.	61
B.1. Modelo de verificación del comportamiento de la losa.	68
B.2. Comparación de fuerza aplicada y reacción en el apoyo.	69
B.3. Comparación de momento aplicado y momento en el apoyo.	69
B.4. Momento-Curvatura.	70
B.5. Comparación momentos de fluencia.	70
B.6. Momento a lo largo de la losa para distintos desplazamientos.	71
B.7. Momento a lo ancho de la losa en el empotramiento para un desplazamiento de 10 [mm].	71
B.8. Distribución de momento en la losa para un desplazamiento de 10 [mm].	72
C.1. Histéresis modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.	73
C.2. M11 a lo largo y ancho de la losa, modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.	74
C.3. M22 a lo largo y ancho de la losa, modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.	75
C.4. R11 a lo largo y ancho de la losa, modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.	76
C.5. R22 a lo largo y ancho de la losa, modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.	76
C.6. Momento de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.	77
C.7. Deformación de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.	77
C.8. Deformaciones unitarias de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.	78
C.9. Concentración del corte en la zona de acoplamiento, modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.	79
C.10. Concentración del momento en la zona de acoplamiento, modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.	79
C.11. Ancho efectivo, modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.	80
D.1. Histéresis.	81

D.2. Grado de acoplamiento.	81
D.3. M11 vs X.	82
D.4. M11 vs Y.	83
D.5. M22 vs X.	84
D.6. M22 vs Y.	85
D.7. R11 vs X.	86
D.8. R11 vs Y.	87
D.9. R22 vs X.	88
D.10.R22 vs Y.	89
D.11.M11 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo de 10 pisos.	90
D.12.M22 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo de 10 pisos	91
D.13.Deformación de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo de 10 pisos.	92
D.14.E11 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo de 10 pisos.	93
D.15.E22 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo de 10 pisos.	94
D.16.E12 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo de 10 pisos.	95
D.17.R11 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo de 10 pisos.	96
D.18.R22 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo de 10 pisos.	97
D.19.R12 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo de 10 pisos.	98
D.20.Corte vs Deriva, modelo de 10 pisos.	99
D.21.Corte vs R11 modelo de 10 pisos.	100
D.22.Momento vs Deriva, modelo de 10 pisos.	101
D.23.Momento vs R11 modelo de 10 pisos.	102
D.24. b_{eff} vs Deriva, modelo de 10 pisos.	103
D.25. b_{eff} vs R11 modelo de 10 pisos.	104
D.26. b_{eff}/e_{losa} vs Deriva, modelo de 10 pisos.	105
D.27. b_{eff}/e_{losa} vs R11 modelo de 10 pisos.	106
E.1. Histéresis, modelos de 1 piso.	107
E.2. M11 vs X.	108
E.3. M11 vs Y.	109
E.4. M22 vs X.	110
E.5. M22 vs Y.	111
E.6. R11 vs X.	112
E.7. R11 vs Y.	113
E.8. R22 vs X.	114
E.9. R22 vs Y.	115
E.10.M11 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.	116
E.11.M22 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.	117

E.12. Deformación de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.	118
E.13. E11 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.	119
E.14. E22 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.	120
E.15. E12 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.	121
E.16. R11 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.	122
E.17. R22 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.	123
E.18. R12 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.	124
E.19. Corte vs Deriva, modelos de 1 piso.	125
E.20. Corte vs R11, modelos de 1 piso.	126
E.21. Momento vs Deriva, modelos de 1 piso.	127
E.22. Momento vs R11, modelos de 1 piso.	128
E.23. b_{eff} vs Deriva, modelos de 1 piso.	129
E.24. b_{eff} vs R11, modelos de 1 piso.	130
E.25. b_{eff}/e_{losa} vs Deriva, modelos de 1 piso.	131
E.26. b_{eff}/e_{losa} vs R11, modelos de 1 piso.	132

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción general

En el mundo ha aumentado considerablemente la densidad de población y la escasez de espacio en las zonas urbanas, lo que ha generado un problema en los países en desarrollo, y ha llevado a la construcción de edificios de gran altura. Este tipo de edificios tiene como característica que las cargas del viento y las cargas sísmicas se hacen más pronunciadas con el aumento en la altura, siendo una de las posibles estructuraciones utilizadas en estas construcciones el sistema de muros de hormigón armado acoplados por losas, la cual ha demostrado una buena resistencia y rigidez ante las cargas laterales mencionadas.

Al someter un muro a cargas laterales, se producen esfuerzos de flexión los cuales al transmitirse de este a otro muro genera esfuerzos de corte y momento los cuales son transmitidos a las losas (Figura 1.1), definiendo de esta forma el sistema de acoplamiento, donde estos esfuerzos no son resistidos por toda la losa sino por una parte de ella denominada ancho efectivo.

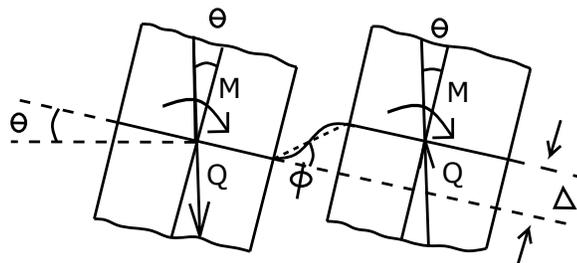


Figura 1.1: Acción de los muros ante cargas laterales. (Basado en Coull [6])

Entre los estudios para determinar el ancho efectivo se encuentra el de Qadeer y Smith en 1969, en el cual según lo indicado en “Reinforced Concrete Structural Wall-Floor Slab Connection-State of the Art. Indian Society of Earthquake Technology” [8], realizaron una investigación teórica y experimental sobre la rigidez a flexión de la losa contra la rotación de pares de muros. De este análisis determinaron la fuerza de la losa y la razón momento/rotación, con lo cual obtuvieron una expresión para determinar el ancho efectivo (Y_e) de esta en función del ancho total (Y), el largo (W) y la distancia entre los muros (L), el momento (M), la rotación (θ), la rigidez de la losa por unidad de ancho (D) y el módulo de Poisson (ν), como se muestra en la Ecuación 1.2.

$$K = \frac{M}{D\theta}, \quad (1.1)$$

$$\frac{Y_e}{Y} = \frac{KL/(L+W)^2}{6(1-\nu^2)\left(\frac{Y}{L}\right)} \quad (1.2)$$

Si bien la investigación de Qadeer y Smith entrega un método para calcular el ancho efectivo de la losa, no explica que pasa con esta al momento de que se agrieta, por lo que, Schwaighofer y Collins [7] estudiaron la respuesta de la losa, de forma de poder explicar los procedimientos para el cálculo de la rigidez inicial, la rigidez agrietada, la resistencia al corte y a la flexión, donde obtuvieron que la rigidez inicial de la losa de acoplamiento no agrietada se puede predecir utilizando la sección bruta de la losa y un ancho efectivo de la mitad de la abertura del pasillo, mientras que la rigidez agrietada puede predecirse asumiendo un ancho efectivo de la mitad de la abertura del pasillo y utilizando el momento de inercia de la sección agrietada.

Entre los estudios más actuales en Chile realizados para obtener el ancho efectivo se encuentran el de Tapia [4], quién a partir de una modelación lineal de muros acoplados de elementos finitos y marcos equivalentes obtuvo una expresión para determinar este parámetro llegando a que se tiene una dependencia lineal con la variable de separación entre los muros, como se muestra en la Ecuación 1.3 y Figura 1.2 (L corresponde al largo del pasillo, M_i al largo del ala, e al espesor de la losa y el 0.1 se encuentra en metros).

$$b_{eff} = L + 0.1 \frac{M_i}{e} \quad (1.3)$$

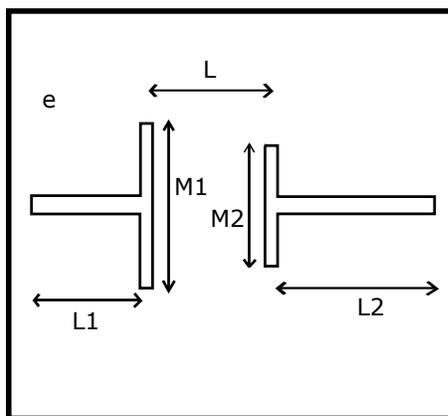


Figura 1.2: Configuración muro-losa para el cálculo del ancho efectivo. (Basado en Tapia [4])

Otro punto importante que considerar en un sistema de muros acoplados es el de las cargas a las cuales están sometidos y la resistencia de los elementos que lo componen. Se ha observado que en estos sistemas el medio de acoplamiento resiste la acción de flexión desarrollando un esfuerzo de corte en la losa e induciendo fuerzas axiales en los muros. En la losa, las tensiones no son uniformes a lo largo de su ancho, tendiéndose a concentrar en los bordes de los muros. Con el fin de poder diseñar de forma segura, es necesario conocer la magnitud y distribución de tensiones en ella.

Para determinar los esfuerzos en la losa, Coull y Wong [6], realizaron un análisis elástico de elementos finitos de los momentos de flexión y fuerzas de corte en una losa de acople de un par de muros de corte cargados lateralmente, el cual proporcionó los valores resultantes de los esfuerzos de momento, torsión y corte en todos los nodos de un cuadrante de losa, y se observó que, debido a la acción de acoplamiento, se inducen momentos y cortes muy grandes en la losa alrededor del extremo acoplado del muro, pero alejándose de esta región crítica, los esfuerzos resultantes disminuyen rápidamente tanto en la dirección longitudinal como transversal.

Con estos resultados, los momentos y fuerzas de corte se calcularon para desplazamientos arbitrarios, de forma de poder expresarlos como factores no dimensionales en función del ancho del pasillo (L), la rigidez (D), anchura efectiva (Y_e) y la rotación (ϕ) o desplazamiento relativo ($\delta = L\phi$) del muro, para así facilitar el cálculo de las tensiones resultantes debido a cualquier otro desplazamiento.

Considerando M y Q como el momento de flexión y la fuerza de corte en la losa, los correspondientes factores se pueden definir como:

$$\bar{M}_i = \frac{M_i L}{D\phi}, \quad (1.4)$$

$$\bar{Q}_i = \frac{Q_i L^2}{D\phi} \quad (1.5)$$

En donde ϕ puede expresarse como:

$$\phi = \frac{QL^2}{12(1 - \nu^2)DY_e} \quad (1.6)$$

Existen otros estudios de análisis lineales para determinar el ancho efectivo de la losa y su respectiva rigidez, además de su comportamiento y diseño en forma global, pero se ha puesto poca atención en el análisis post fluencia de las losas y los esfuerzos de flexión y corte que se generan y son capaces de resistir, así como en la influencia de la cantidad y ubicación de la armadura necesaria para resistir estas cargas.

Hoy en día la mayoría de las oficinas de cálculo chilenas suelen utilizar refuerzos de losas, surgiendo así el interés de estudiar su comportamiento en estos sectores y la eficiencia de su estructuración, es por esto que en este trabajo de título se estudiará el efecto de las losas de acoplamiento de muros rectangulares en las zonas de vanos de puertas y pasillos, en la respuesta, tanto en la capacidad de resistencia como deformación, lo cual se desarrollará a través de la plataforma SAFE-ToolBox en el programa computacional Matlab, en donde se harán modelos numéricos no lineales de ejes resistentes comunes, que estarán limitados a una losa de piso y la mitad de la estructura de los muros que se encuentran sobre la losa y la mitad de los muros que se encuentran por debajo de esta, realizando estos según la tipología de edificios chilenos, con el fin de generar recomendaciones de diseño y limitaciones mínimas y máximas para las armaduras de los refuerzos de losa, para lo cual se estudiarán principalmente los parámetros, corte y momento en la zona de acople transmitido por el muro a las losas, y el ancho efectivo de esta.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos generales

Evaluar el acoplamiento y la respuesta no-lineal (capacidad de resistencia, concentración de esfuerzos, rigidez y capacidad de deformación) de las losas de vanos de puertas o pasillos que acoplan muros rectangulares de hormigón armado, considerando parámetros tales como cantidad y distribución de las barras de acero.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar (dimensiones, cuantías de refuerzo) la tipología de las losas de acople en las zonas de vanos de puertas o pasillos y de los muros rectangulares acoplados en la edificación chilena.
- Generar modelos numéricos del sistema acoplado, uno de 10 pisos y otro de 1 piso representado por una losa de piso y la mitad de la estructura de los muros rectangulares que se encuentran sobre la losa y la mitad de los muros que se encuentran por debajo de la losa, ambos considerando las características comunes en la tipología de edificios chilenos y usando elementos finitos y leyes constitutivas representativas de los materiales (hormigón y barras de refuerzo).
- Verificar a través de un estudio comparativo según su comportamiento ante un análisis estático no lineal tipo *pushover*, si el modelo de un piso es capaz de representar a uno de mayor cantidad de pisos.
- Considerando el modelo de 1 piso, realizar un estudio paramétrico de la respuesta global y local esperada en las losas de acoplamiento de muros, mediante análisis estáticos no lineales tipo *pushover* de los modelos numéricos.
- Generar recomendaciones de diseño (distribución del refuerzo) para las losas de acople en las zonas de vanos de puertas y pasillos, definir limitaciones mínimas y máximas para las armaduras de refuerzo.

1.3. Alcance

Este estudio es exclusivo para losas que acoplan muros rectangulares de hormigón armado en zonas de vanos de puertas o pasillos, donde estos elementos estén configurados según la tipología típica de edificios chilenos. Para esto, se realizarán modelos numéricos no lineales de ejes resistentes comunes, que estarán limitados a una losa de piso y la mitad de la estructura de los muros que se encuentran sobre la losa y la mitad de los muros que se encuentran por

debajo de esta, y se considerarán elementos finitos y leyes constitutivas representativas de los materiales para caracterizar la respuesta colineal de estos elementos en la tipología de edificios chilenos.

1.4. Organización

La distribución de la presente memoria se realiza en los siguientes capítulos, para lograr así los objetivos anteriormente señalados:

Capítulo 2: SAFE-ToolBox

Se explican las características del programa SAFE-ToolBox, en el cual se realizan los modelos, de forma que se detallarán los elementos a utilizar y sus restricciones, las leyes constitutivas de los materiales y los valores de ciertos parámetros considerados en la modelación.

Capítulo 3: Tipología de edificios chilenos

De la revisión de planos se obtuvieron las características típicas de los sistemas de acoplamiento con muros rectangulares en edificios chilenos, las que son presentadas en este capítulo, detallando la geometría y cuantías de losas y muros.

Capítulo 4: Modelamiento de sistemas de muros acoplados por losas

Se presentan las cuantías, geometría y propiedades de los materiales del modelo de 1 piso, el cual se considerará como el caso base, y del modelo de 10 pisos, además de otras consideraciones a realizar en el programa SAFE-ToolBox.

Capítulo 5: Análisis *pushover*

En este capítulo se presenta en qué consiste el análisis *pushover*, las cargas aplicadas en los modelos, tanto verticales como horizontales y se explican como se calculan los parámetros estudiados en los modelos. Se entrega también el análisis comparativo de los modelos de 1 y 10 pisos.

Capítulo 6: Estudio paramétrico

Se realiza un estudio paramétrico realizando variaciones en la armadura de refuerzo de la losa, utilizando armadura concentrada y distribuida, donde se comparan su distribución de esfuerzos y deformaciones, la concentración de corte y momento, y el ancho efectivo.

Capítulo 7: Conclusión

Se plantean las conclusiones a partir de la discusión realizada de los resultados, presentando también recomendaciones para la modelación y diseño de las losas de acople.

Capítulo 2

SAFE-ToolBox

Los modelos por analizar serán realizados a través de un *framework* de elementos finitos programado en MATLAB, SAFE-ToolBox, que es capaz de reproducir el comportamiento real de la estructura al modelar objetos de hormigón armado considerando materiales no lineales.

2.1. Descripción del programa

El programa SAFE-TB – Structural Analysis by Finite Elements ToolBox consiste en un *framework* de elementos finitos programado en Matlab, el cual ha sido desarrollado por Rojas [9] para la representación del comportamiento de piezas de hormigón armado, donde utiliza elementos cuadriláteros tipo *shell* que poseen seis grados de libertad por nodo (tres desplazamientos y tres giros), formando una sección compuesta en donde se superponen capas de tal forma de poder modelar la interacción del hormigón y el acero de refuerzo (Figura 2.1).

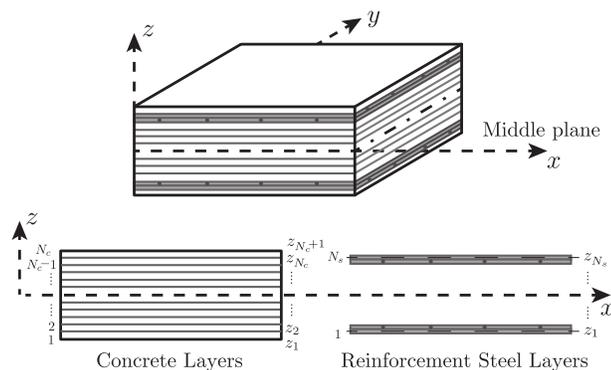


Figura 2.1: Representación del elemento conformado por capas de secciones membrana. (Rojas [9])

Al modelar por capas es posible incluir distintos comportamientos en el elemento, los que pueden variar debido al cambio de material y perfiles, de esta forma, teniendo en cuenta

las leyes constitutivas del hormigón y el acero empleados en esta plataforma, ha sido posible considerar la interacción entre estos para así apreciar los efectos que produce el agrietamiento del hormigón, en donde se traspassa la carga a tracción totalmente al acero.

2.2. Leyes constitutivas de los materiales

2.2.1. Hormigón

Para el hormigón se han utilizado modelos ortotrópicos, con relaciones uniaxiales de esfuerzo-deformación a lo largo de los ejes de ortotropía, asumiendo que estos ejes coinciden con los ejes principales de deformación.

En esta investigación se ha utilizado el modelo propuesto por Massone [12], el cual está considerado para cargas estáticas, y se ha ampliado para incluir el efecto de histéresis. El comportamiento a compresión de este hormigón está definido por la curva de Thorenfeldt (Figura 2.2), determinada por la Ecuación 2.1, utilizando $k = 1$ tanto para los casos confinados como no confinados y para n valores de 3.1 y 2.1 para los casos confinados y no confinados respectivamente.

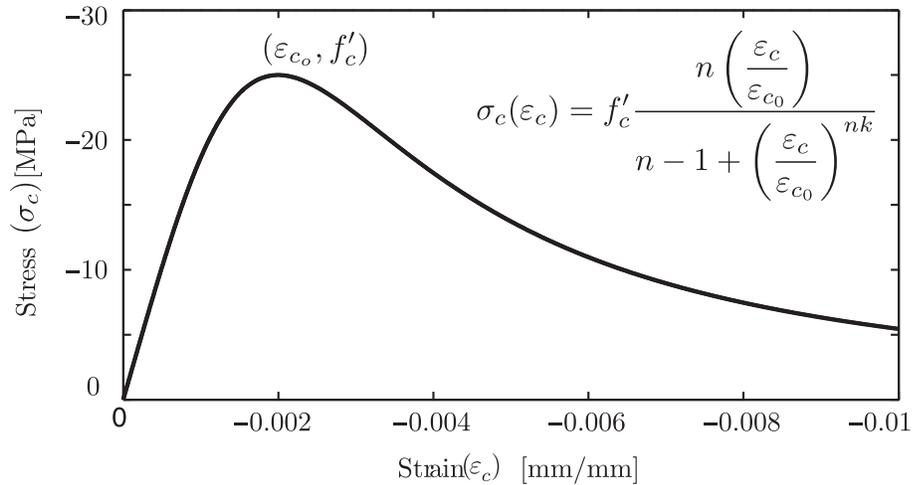


Figura 2.2: Modelo constitutivo para el hormigón a compresión utilizando la curva de Thorenfeldt. (Rojas [10])

$$\sigma_c(\varepsilon_c) = f'_c \frac{n \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c0}} \right)}{n - 1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c0}} \right)^{nk}} \quad (2.1)$$

Para el comportamiento a tracción se ha utilizado la curva propuesta por Belarbi y Hsu (Figura 2.3) la cual se divide en dos secciones, antes y después del agrietamiento, y se de-

termina por la Ecuación 2.2, utilizando valores para el parámetro b de 0.4 y 0.6 para los casos confinados y no confinados respectivamente, una deformación unitaria al momento de la fisura de 0.00008 y su correspondiente esfuerzo de $0.31\sqrt{f'_c}$.

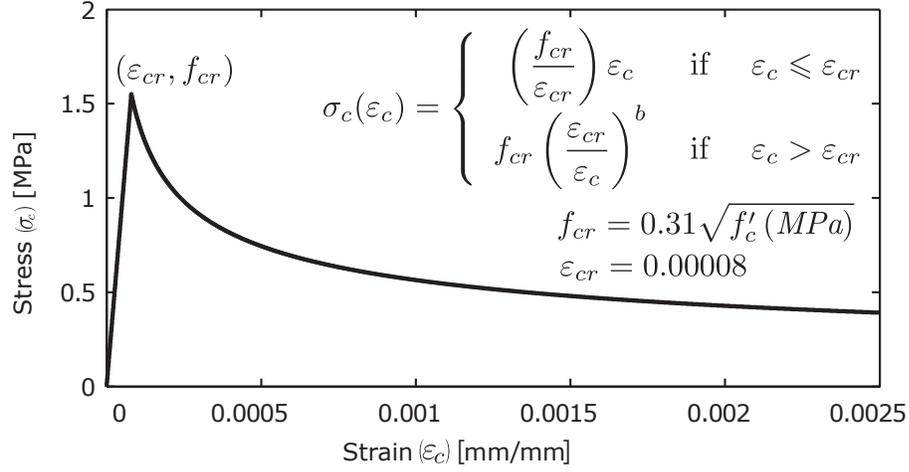


Figura 2.3: Modelo constitutivo para el hormigón a tracción utilizando la curva de Belarbi y Hsu. (Rojas [10])

$$\sigma_c(\varepsilon_c) = \begin{cases} \left(\frac{f_{cr}}{\varepsilon_{cr}}\right) \varepsilon_c, & \varepsilon_c \leq 0 \\ f_{cr} \left(\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_c}\right)^b, & \varepsilon_c > 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

Para considerar el comportamiento de histéresis del hormigón, se realiza una representación lineal gráfica para la carga y descarga de este, en donde inicialmente se tiene una pendiente igual a la rigidez inicial del hormigón (E_{c0}), mientras que en la descarga se utiliza una pendiente de $0.071E_{c0}$ (Figura 2.4). Esta zona estará limitada según las deformaciones plásticas remanente a compresión (Ecuación 2.3) y tracción (Ecuación 2.4), en las cuales ε_m^c y ε_m^t son las deformaciones máximas para estos casos, y donde los coeficientes α_c y α_t toman los valores de 0.32 y 0.08 respectivamente.

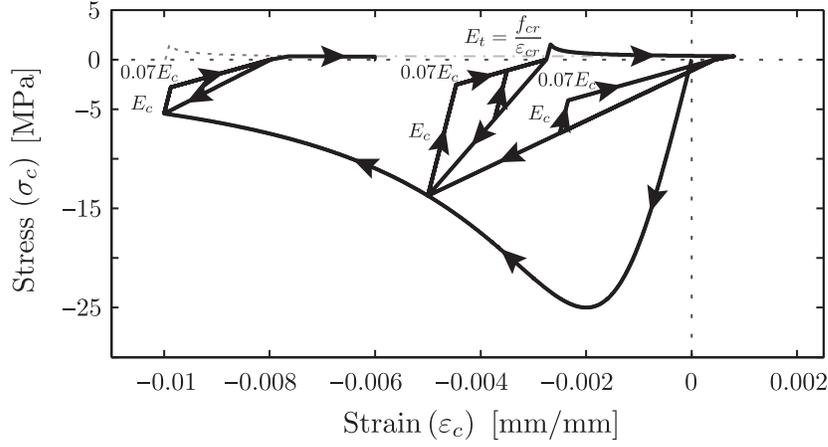


Figura 2.4: Reglas de histéresis para el modelo del hormigón. (Rojas [10])

$$\varepsilon_p^c = \varepsilon_m^c \left(1 - e^{-\left(\frac{\varepsilon_m^c}{\varepsilon_{c0}^c}\right)\alpha_c} \right), \quad (2.3)$$

$$\varepsilon_p^t = \varepsilon_m^t \left(1 - e^{-\left(\frac{\varepsilon_m^t}{\varepsilon_{c0}^t}\right)\alpha_t} \right). \quad (2.4)$$

Entre las características importantes a considerar en este material se encuentran la compresión biaxial, ablandamiento, daño ante cargas cíclicas y mejora debido al confinamiento, efectos que se considerarán al aplicar ciertos factores a la resistencia del hormigón.

- Coeficiente de ablandamiento

Produce una reducción en la resistencia a la compresión del hormigón a lo largo de una dirección debido a una tracción en la dirección perpendicular. Para determinar este coeficiente se ha utilizado la Ecuación 2.5 definida por Belarbi y Hsu, donde el parámetro k_θ toma los valores de 250 y 400 para carga secuencial y proporcional respectivamente, mientras que el parámetro $k = 1$ por simplicidad (Rojas [10]).

$$\beta_s = \frac{k}{\sqrt{1 + k_\theta \varepsilon_t}} \quad (2.5)$$

- Coeficiente de mejora de la fuerza a compresión

Es un aumento en el esfuerzo máximo a compresión producido por un estado de tensión biaxial de compresión o por el confinamiento producido por estribos. Este coeficiente se obtiene de la Ecuación 2.6, propuesta por Vecchio, donde i es la dirección que mejora su resistencia a compresión, j la dirección normal a i y σ_{cj} la tensión normal a i .

$$\beta_{eij} = 1 + 0.92 \left(\frac{\sigma_{c_j}}{f'_c} \right) - 0.76 \left(\frac{\sigma_{c_j}}{f'_c} \right)^2 \quad (2.6)$$

- Coeficiente de daño debido a la carga cíclica

Este daño se debe al deterioro de la resistencia la compresión del hormigón bajo ciclos de carga y descarga. El coeficiente se obtiene a través de la ecuación propuesta por Palermo y Vecchio (Ecuación 2.7), que es en función de la diferencia de la tensión máxima y mínima.

$$\beta_d = \frac{1}{1 + \alpha_1 \left(\frac{\varepsilon_{rec}}{\varepsilon_{c0}} \right)^{\alpha_2}}, \quad (2.7)$$

$$\varepsilon_{rec} = \varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}, \quad (2.8)$$

donde ε_{c0} es la deformación unitaria correspondiente al esfuerzo máximo de compresión, el parámetro α_1 es igual a 0.5 antes del agrietamiento y 0.6 después del agrietamiento, mientras que α_2 es igual a 0.1 antes del agrietamiento y 0.175 después del agrietamiento.

- Coeficiente de mejora por confinamiento

Se considera un factor adicional para la mejora debido al confinamiento, el cual se aplica sobre la resistencia máxima a compresión al inicio del análisis. En el estudio de Rojas [10] se ha utilizado la ecuación de Orakcal para definir este coeficiente (Ecuación 2.9), en donde ρ_s corresponde a la cuantía del acero.

$$\beta_{conf} = 1 + \frac{\rho_s f_y}{f'_c} \quad (2.9)$$

2.2.2. Acero

En el programa las barras de acero se consideran como una capa de material homogéneo dentro del hormigón, donde se tiene en cuenta que este solo actúa de forma uniaxial en dirección de su orientación y que la relación tensión-deformación puede representarse como el promedio de esta relación entre las barras.

Para esta plataforma se ha considerado la siguiente representación para el acero:

- Modelo uniaxial de Manegotto-Pinto

Se ha utilizado este debido a que logra representar con precisión los efectos de Bauschinger y el comportamiento de las barras, además de ser eficiente computacionalmente (Figura 2.5).

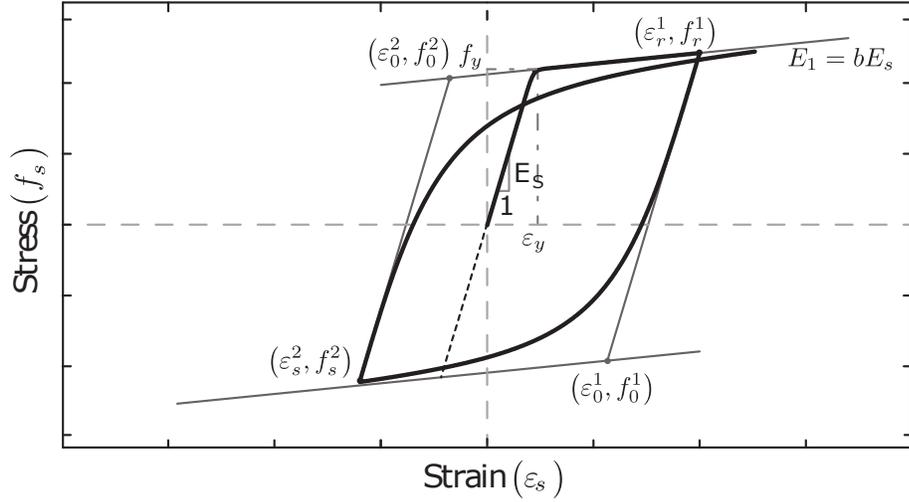


Figura 2.5: Modelo constitutivo de Manegotto-Pinto para el acero. (Rojas [10])

Este modelo puede representarse por la curva de la Ecuación 2.10, en donde b corresponde al coeficiente de endurecimiento por deformación, y ξ y R quedan definidos por las Ecuaciones 2.13 y 2.14, en donde $R_o = 18$, $\alpha_1 = 16.2$ y $\alpha_2 = 0.15$ según lo señalado por Rojas [9].

$$f_s^*(\varepsilon_s^*) = b\varepsilon_s^* + \frac{(1-b)\varepsilon_s^*}{(1 + (\varepsilon_s^*)^R)^{1/R}}, \quad (2.10)$$

$$\varepsilon = \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_r)}{(\varepsilon_0 - \varepsilon_r)}, \quad (2.11)$$

$$f_s^* = \frac{(f_s - f_r)}{(f_0 - f_r)}, \quad (2.12)$$

donde, ε_r y f_r corresponden a la deformación y tensión en las zonas inversas de la curva, y ε_0 y f_0 a la intersección de las asíntotas.

$$\xi = \left| \frac{(\varepsilon_m - \varepsilon_o)}{\varepsilon_y} \right| \quad (2.13)$$

donde, ε_m es el máximo o mínimo valor de la deformación del punto anterior, ε_0 del actual y ε_y la deformación de fluencia de la primera carga.

$$R = R_0 - \frac{\alpha_1 \xi}{\alpha_2 + \xi} \quad (2.14)$$

Para utilizar este modelo para las relaciones promedio de tensión-deformación, los valores $f_y^{average}$ y $b_{average}$ necesitan modificarse, según lo señalado por Belarbi y Hsu (Ecuaciones 2.15 y 2.16).

$$f_y^{average} = (0.91 - 2B)f_y, \quad (2.15)$$

$$b_{average} = 0.02 + 0.25B, \quad (2.16)$$

donde,

$$B = \frac{(f_{cr}/f_y)^{1.5}}{\rho} \quad (2.17)$$

siendo ρ la cuantía de acero de la sección.

Capítulo 3

Tipología de edificios chilenos

Analizando planos de 15 edificios chilenos de hormigón armado diseñados entre los años 2010 y 2014 con pisos entre 10 y 25, se han seleccionado 54 sistemas compuestos por dos muros rectangulares de igual largo en todos los pisos y acoplados por una losa de vano de puerta o pasillo, donde esta losa cumpliera con poseer armadura de refuerzo. Tanto para los muros como para las losas se han medido sus dimensiones y estimado las cuantías con la armadura señalada en los planos, para así con estos determinar los valores más comunes en estas estructuras.

3.1. Características típicas de losas y muros

3.1.1. Geometría de los elementos

- Losas

Para definir las losas se han considerado su espesor, ancho y largo del vano de puerta o pasillo, donde en general en los distintos edificios analizados estas dimensiones se mantienen constantes con la altura de la estructura, por lo que no se realizará una diferenciación entre estos.

Entre todos los sistemas analizados se observó que el espesor de losa se encontraba entre 15 [cm] y 16 [cm], en donde la primera resultó ser más repetitiva (Figura 3.1 (a)); en cuanto al ancho, los valores se encontraron entre 130 [cm] y 180 [cm], con una moda de 150 [cm] (Figura 3.1 (b)); mientras que para el largo del vano de puerta o pasillo se obtuvo valores entre los 80 [cm] y los 320 [cm], los cuales se concentraron en el intervalo de 80 [cm] y 100 [cm] (Figura 3.1 (c)).

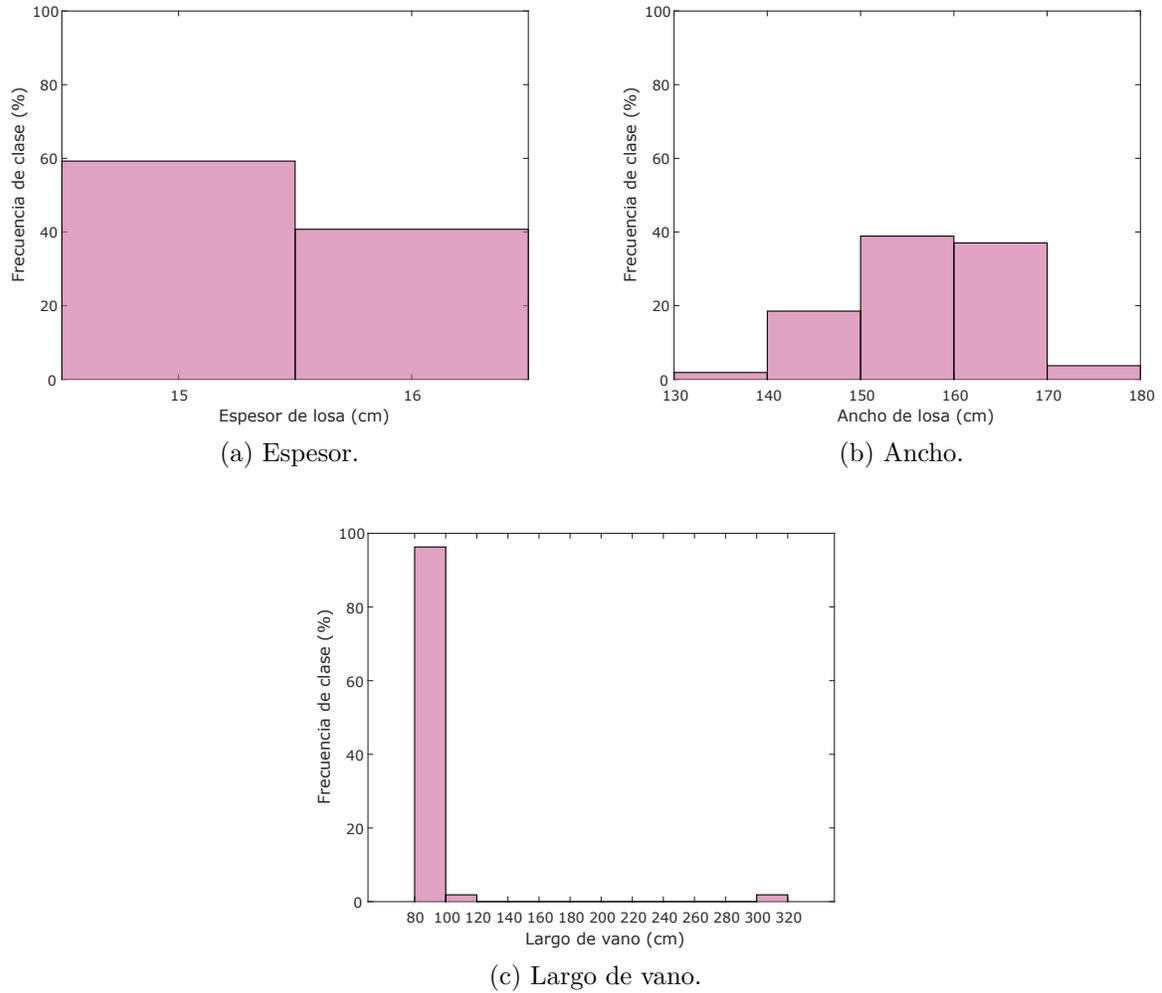


Figura 3.1: Geometría de la losa.

■ Muros

La geometría de los muros se ha definido con su espesor y largo. Debido a que el espesor de estos en algunos casos varía con la altura del edificio se han considerado los muros por sistemas y por pisos, lo que da un total de 2160 muros, obteniendo como resultado un espesor que varía entre los 15 [cm] y 50 [cm], siendo el más común el de 20 [cm] (Figura 3.2 (a)). Como se mencionó anteriormente, se seleccionaron sistemas en los cuales los muros tuviesen un largo constante en todos los pisos, por lo que para el análisis del largo de los muros se han considerado 108 muros, en los cuales el valor varía entre los 150 [cm] y 1060 [cm], donde la moda resulta ser el rango entre 200 [cm] y 300 [cm] (Figura 3.2 (b)).

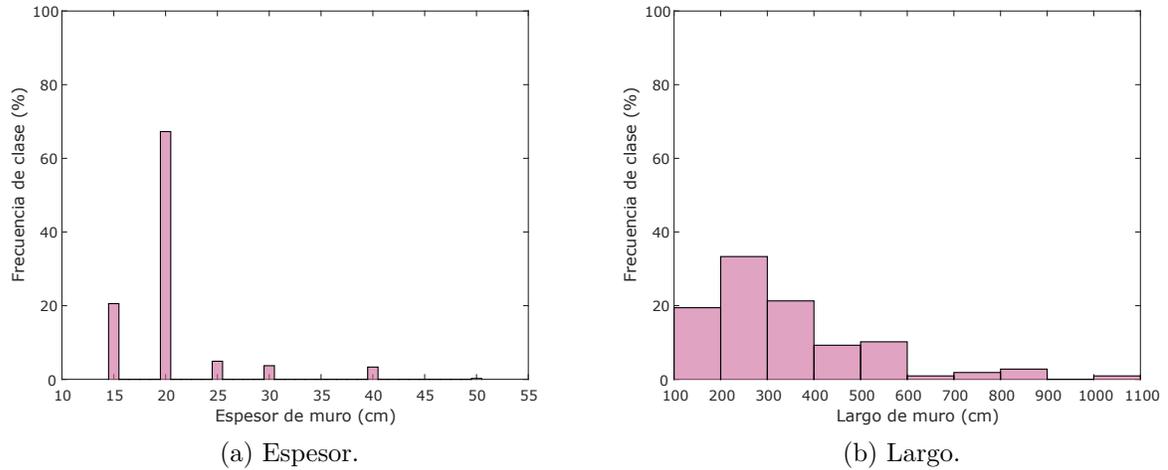


Figura 3.2: Histograma geometría de muro.

3.1.2. Cuantías de los elementos

■ Losas

Se observó en los planos que habitualmente las losas poseían la misma armadura en todos los pisos, existiendo algunas excepciones en los primeros, por lo que para la comparación de estas se ha considerado una por sistema, analizando así 54 losas.

Para describir la armadura distribuida se han considerado la dirección longitudinal y transversal, observando que la mayoría de las losas poseían una cuantía entre 0.18[%] y 0.2[%] en ambas direcciones (Figura 3.3).

La armadura de refuerzo es especificada por las barras utilizadas y la cantidad de estas, de forma que se pudo apreciar que la cuantía predominante ha sido entre 1.3[%] y 1.4[%] y el número de barras de 6, como se muestra en la Figura 3.4.

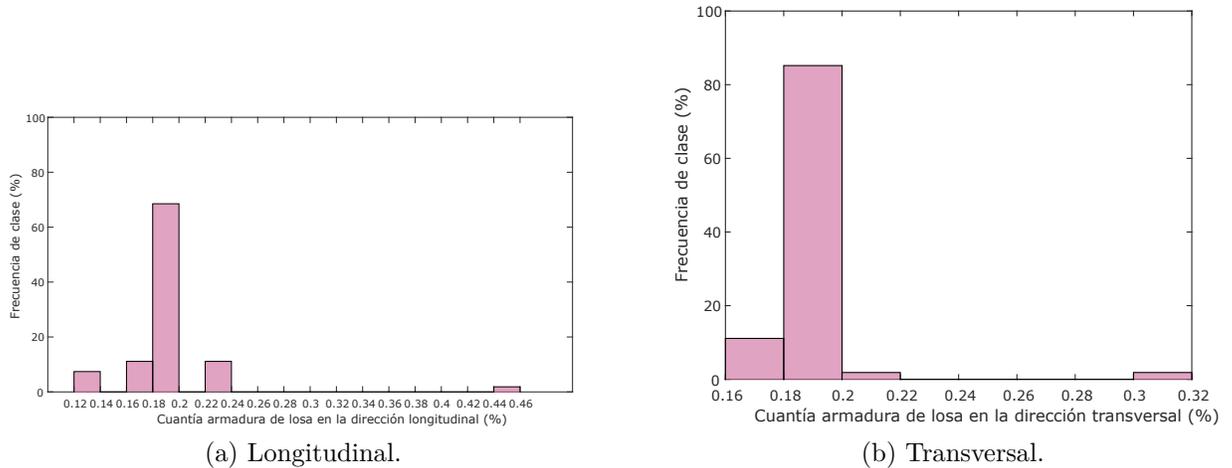


Figura 3.3: Histogramas cuantía armadura distribuía de la losa.

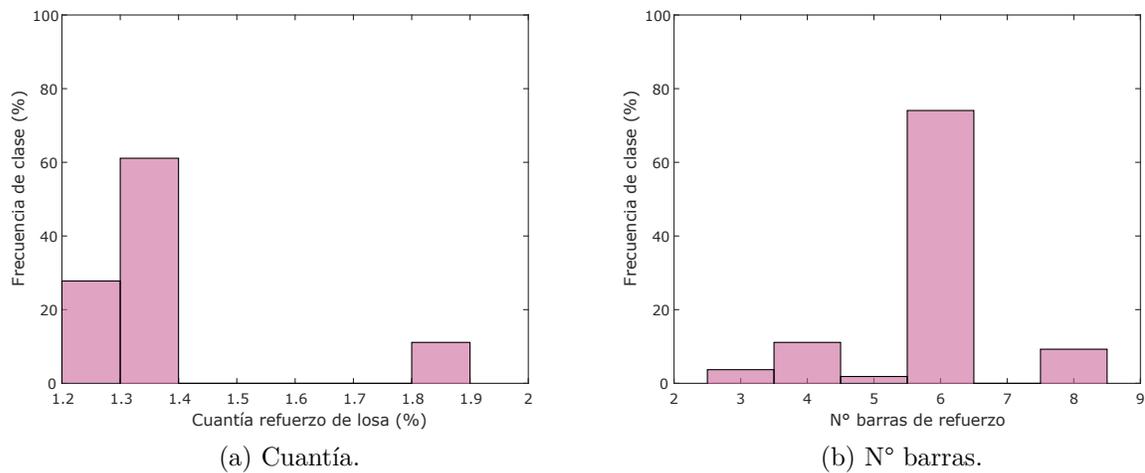
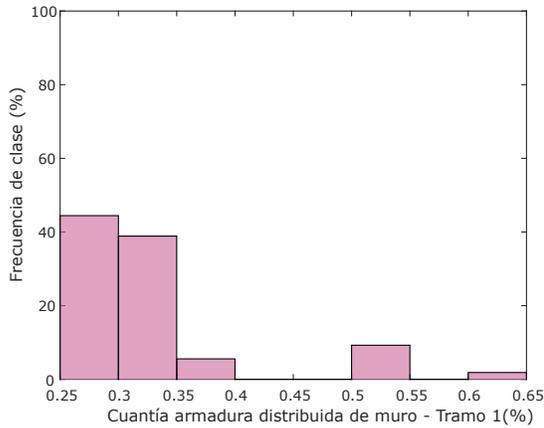


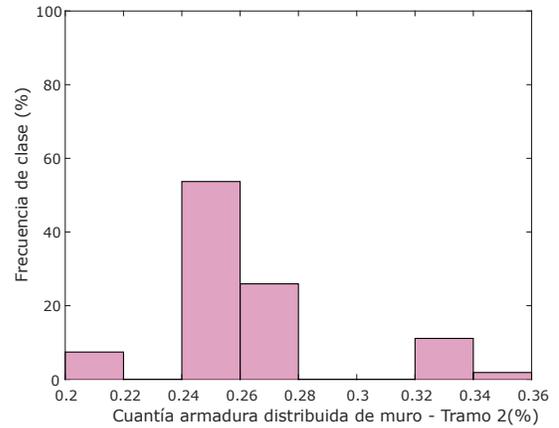
Figura 3.4: Histogramas armadura de refuerzo.

■ Muros

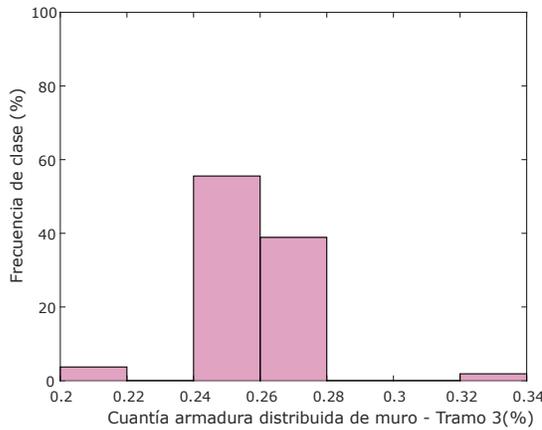
Los muros poseen en ambas direcciones una armadura distribuida, la cual consiste en una doble malla que suele ser de igual valor tanto longitudinal como transversal y que varía según la altura del edificio. Para poder analizar esta variación, se han analizado los edificios en cuatro tramos, desde la base hasta el último piso del edificio, y considerando solo un muro por sistema de acoplamiento (debido a que los muros de un mismo sistema poseen armaduras similares), obteniendo así los histogramas de la Figuras 3.5, donde se observa que en el primer tramo la cuantía posee un valor entre 0.25[%] y 0.3[%], mientras que en el resto entre 0.24[%] y 0.26[%], notando que en algunos casos del último tramo si bien el espaciamiento aumentaba no se apreciaba una reducción de la cuantía debido a se había reducido el espesor del muro.



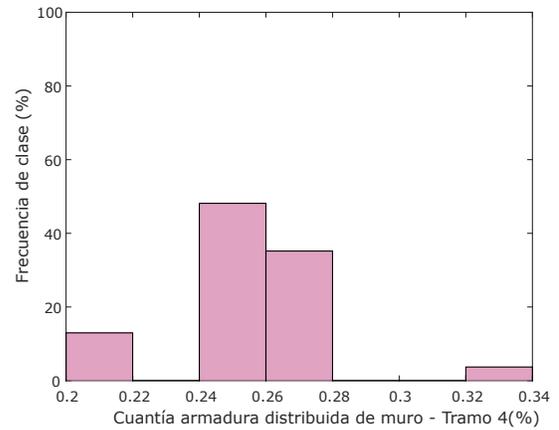
(a) Tramo 1.



(b) Tramo 2.



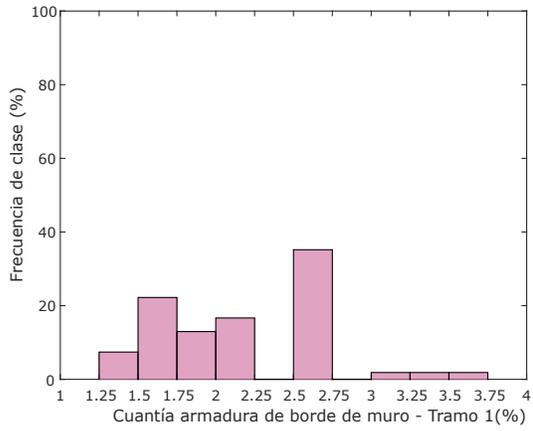
(c) Tramo 3.



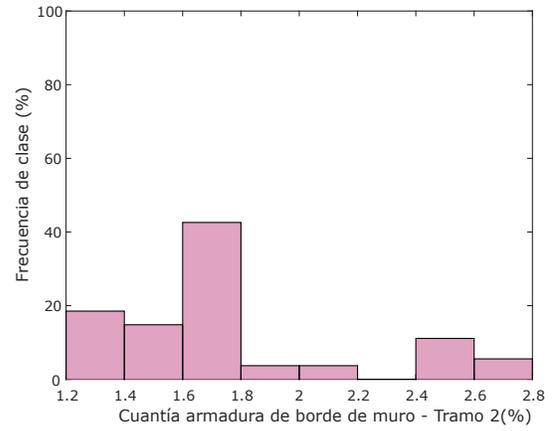
(d) Tramo 4.

Figura 3.5: Histogramas armadura distribuida de muro.

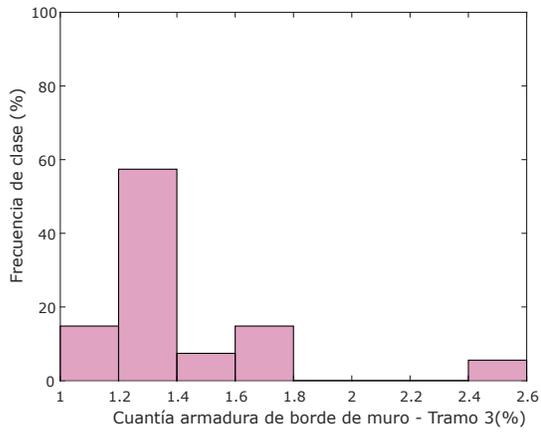
El análisis en los bordes de los muros se ha realizado de forma similar, considerando un muro por sistema y estudiando el edificio en cuatro tramos, ya que las barras utilizadas cambian con la altura del edificio, consiguiendo los resultados de la Figuras 3.6, donde se observa que esta cuantía disminuye con la altura, obteniendo valores predominantes que se encuentran en el primer tramo entre 2.5[%] y 2.75[%], en el segundo tramo entre 1.6[%] y 1.8[%], en el tercer tramo entre 1.2[%] y 1.4[%] y finalmente en el cuarto entre 1[%] y 1.25[%].



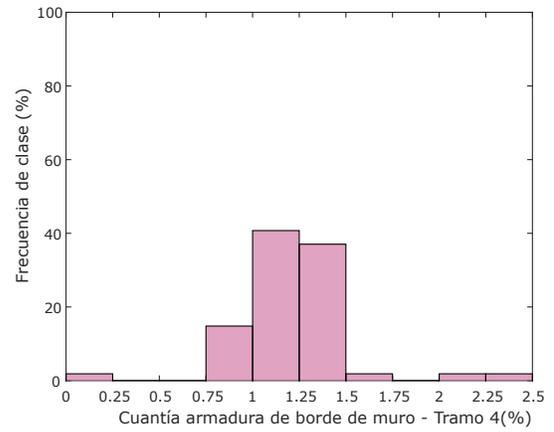
(a) Tramo 1.



(b) Tramo 2.



(c) Tramo 3.



(d) Tramo 4.

Figura 3.6: Histogramas armadura de borde de muro.

Capítulo 4

Modelamiento de sistemas de muros acoplados por losas

Utilizando la información descrita en el Capítulo 3 se han realizado dos tipos de modelos, uno de 10 pisos el cual posee sus losas inelásticas y el resto de sus elementos elásticos (muros y fundaciones), y otro de 1 piso con similares características para realizar una comparación entre ellos, que consiste en la losa de piso y la mitad de la estructura de los muros que se encuentran sobre la losa y la mitad de los muros que se encuentran por debajo de esta, considerando también vigas elásticas sobre, bajo y entre los muros que ayudan a provocar el movimiento deseado de la estructura.

4.1. Dimensiones y cuantías

Se ha generado un modelo 10 pisos en el cual se ha buscado generalizar la estructura, de forma que las dimensiones por piso sean las mismas al igual que la armadura de la losa, que según lo observado no tenía una gran variación con la altura, y donde se considerarán muros y fundaciones elásticos.

En cuanto a la geometría de la estructura se han considerado los siguientes valores mostrados en la Tabla 4.1 y la Figura 4.1.

Dimensión	Longitud [cm]
Altura piso subterráneo	300
Altura piso	250
Espesor de losa	15
Espesor de muro	20
Ancho de losa	150
Largo del pasillo	90
Largo de los muros	500

Tabla 4.1: Geometría modelo de 10 pisos.

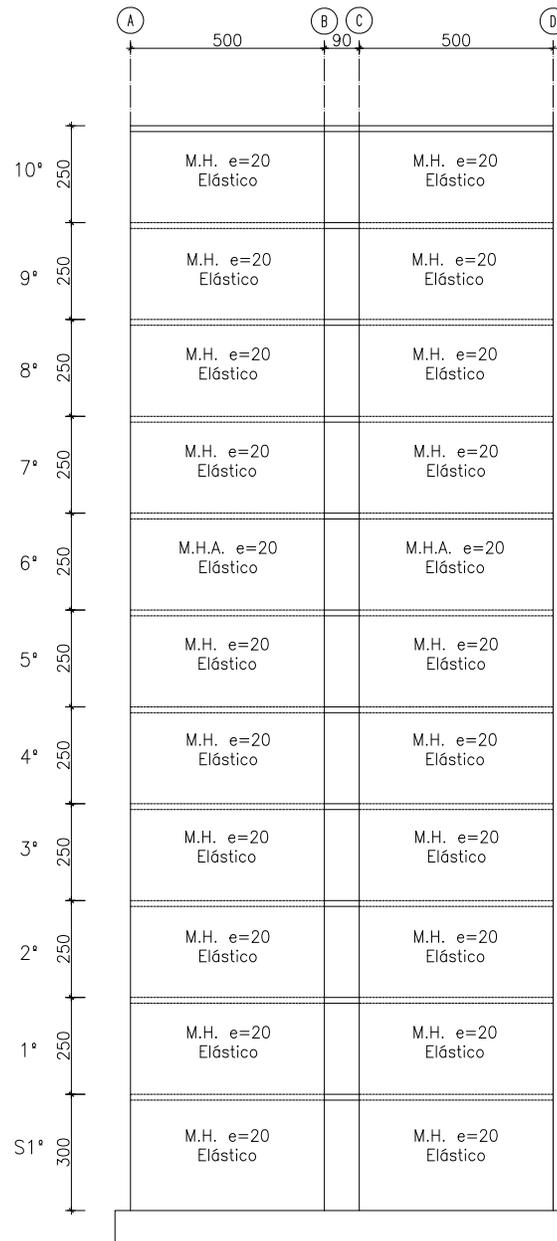


Figura 4.1: Plano modelo de 10 pisos.

Para la losa los valores de las cuantías utilizadas se señalan en la la Tabla 4.2, teniendo como referencia para la ubicación de esta las Figuras 4.2 y 4.3. Esta se sometió a un análisis a flexión para verificar que tuviese un comportamiento según lo esperado y coincidieran algunos esfuerzos tales como el momento de fluencia (Anexo B).

Tramo	Armadura Inferior		Armadura Superior	
1	Transversal	6 ϕ 16 (0.013)	Transversal	6 ϕ 16 (0.013)
	Longitudinal	ϕ 8a10 (0.0034)	Longitudinal	ϕ 8a10 (0.0034)
2	Transversal	ϕ 8a18 (0.0019)	Transversal	ϕ 8a10 (0.0034)
	Longitudinal	ϕ 8a18 (0.0019)	Longitudinal	ϕ 8a18 (0.0019)
3	Transversal	ϕ 8a18 (0.0019)	Transversal	ϕ 8a10 (0.0034)
	Longitudinal	ϕ 8a18 (0.0019)	Longitudinal	ϕ 8a18 (0.0019)

Tabla 4.2: Armadura losa.

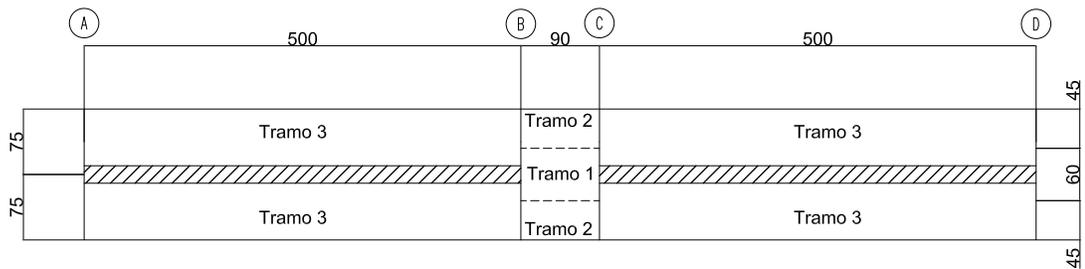


Figura 4.2: Plano de la losa.

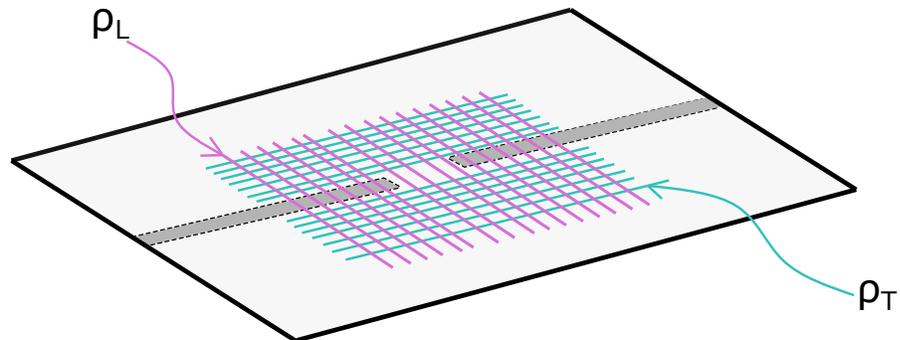


Figura 4.3: Orientación de la armadura de refuerzo de la losa.

También se ha realizado un modelo de 1 piso, conformado por la losa de piso y la mitad de la estructura de los muros que se encuentran sobre la losa y la mitad de los muros que se encuentran por debajo de esta, considerando las mismas características en cuanto a geometría y cuantía para las losas (Figuras 4.2 y 4.2), los muros elásticos y vigas elásticas sobre, bajo y entre los muros, con el fin de posteriormente analizar si es posible representar con este

modelo uno de mayor cantidad de pisos. Luego, en este modelo de 1 piso, se han considerado los muros inelásticos al igual que las losas, donde se ha utilizado la armadura de un piso tipo de un edificio según los datos obtenidos en el capítulo anterior. La geometría, armadura y cuantía de este modelo se presenta en la Figura 4.4.

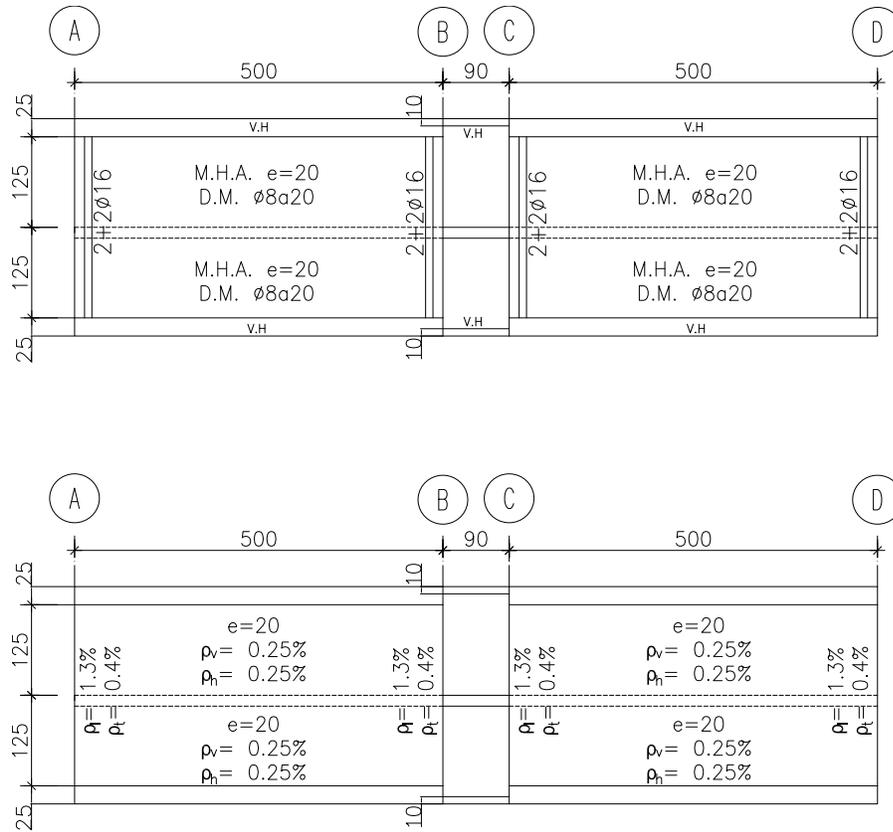


Figura 4.4: Plano modelo de 1 piso.

4.2. Modelos en SAFE-Toolbox

En el programa SAFE-Toolbox las losas se han considerado inelásticas, los muros elásticos o inelásticos dependiendo del modelo, mientras que las vigas con comportamiento elástico al igual que las fundaciones, logrando el efecto de este último con una sección tipo cajón encerrando el sector del subterráneo. Tanto losas como muros se componen de elementos tipo *shell* rectangulares, con seis grados de libertad por nodo (tres desplazamientos y tres giros), en donde en los muros tienen una relación máxima de 2:1 entre el largo y el ancho de estos y con un ancho menor en la zona de borde de muros, mientras que en las losas se tiene una relación máxima de 4:1 entre el largo y ancho, con excepción de la zona del pasillo la cual posee una relación de 1:1, intentado de esta forma no tener un exceso de elementos para así reducir los tiempos de análisis. Por otro lado las vigas que se encuentran sobre y bajo los muros se han modelado con elementos tipo *shell*, de igual forma a lo señalado anteriormente,

y entre los nodos superiores e inferiores de estos elementos se han puesto otros tipo *beam*, al igual que las vigas que conectan los muros tanto en la parte superior como inferior de la estructura, todos estos con una rigidez elevada para así ayudar a generar el movimiento deseado de los muros.

Para obtener el largo de los borde de los muros se ha utilizado la expresión $L_b = 0.1L$ (Figura 4.5) según lo señalado por Silva [14], y para considerar el efecto del confinamiento se ha considerado un factor $K_{conf} = 1.19$, valor obtenido de Suquillo [15].

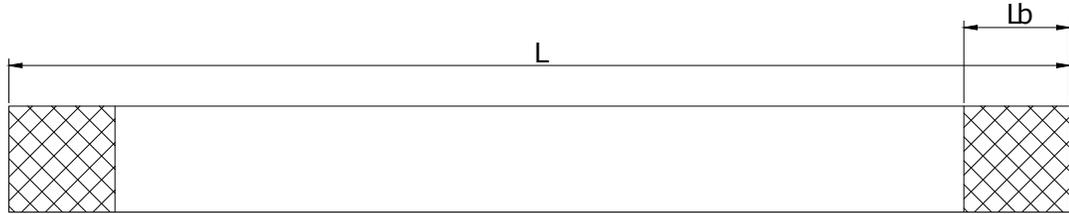


Figura 4.5: Longitud elemento de borde.

Los materiales utilizados para losas y muros han sido hormigón H20 y acero $F_y = 420[MPa]$, donde sus propiedades se describen en el Anexo A, mientras que para las vigas se han mantenido las propiedades del hormigón con excepción de el módulo de elasticidad, por lo que se presenta el valor utilizado para este y la geometría de su sección transversal en la Tabla 4.3 para los distintos tipos de vigas utilizadas, además cabe señalar que para el caso de la viga que se ubica entre los muros se ha aplicado un factor de 10 para amplificar su área y un factor de 0.01 para reducir sus inercias.

Tipo	E [MPa]	Altura [cm]	Ancho [cm]
<i>Shell</i>	23500	25	20
<i>Beam</i> sobre el muro	10^8	10	80
<i>Beam</i> entre muros	47000	10	80

Tabla 4.3: Propiedades vigas.

Con respecto al mallado utilizado como se mencionó se mantuvo una relación máxima de 2:1 entre el largo y ancho de los muros, siendo la máxima dimensión de estos de 400 [mm], y en las losas de 4:1 con una dimensión máxima de 400 [mm], con excepción del sector del pasillo donde se requiere un mallado más preciso y la máxima dimensión de sus elementos ha sido de 112.5 [mm], además cabe señalar que entre un elemento y otro deben tener contacto entre si a través de los nodos comunes entre ellos. El mallado de los modelos se presenta en las Figuras 4.6 y 4.7, para los modelos de 10 y 1 piso respectivamente, y en la Figura 4.8 para el caso de la losa.

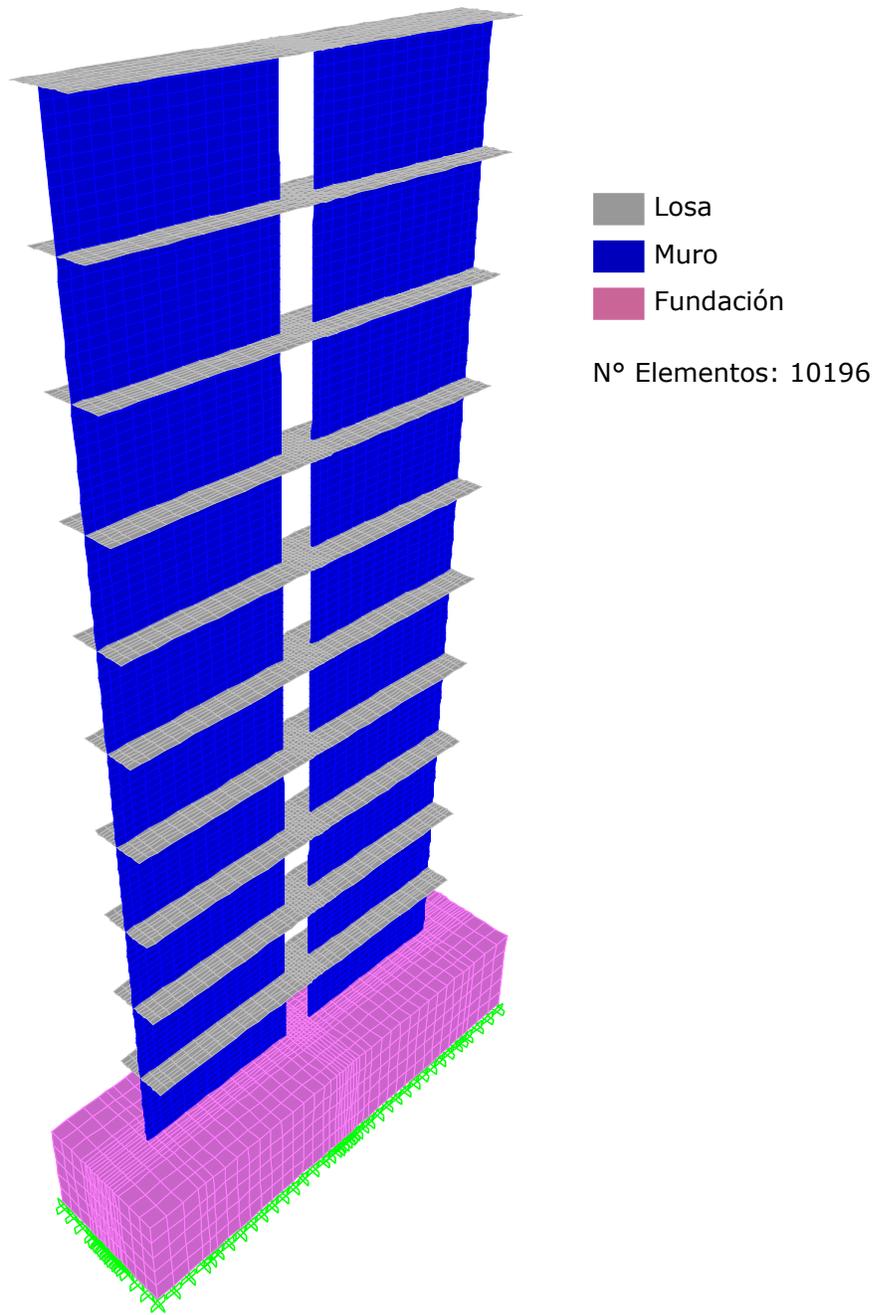


Figura 4.6: Mallado modelo de 10 pisos.

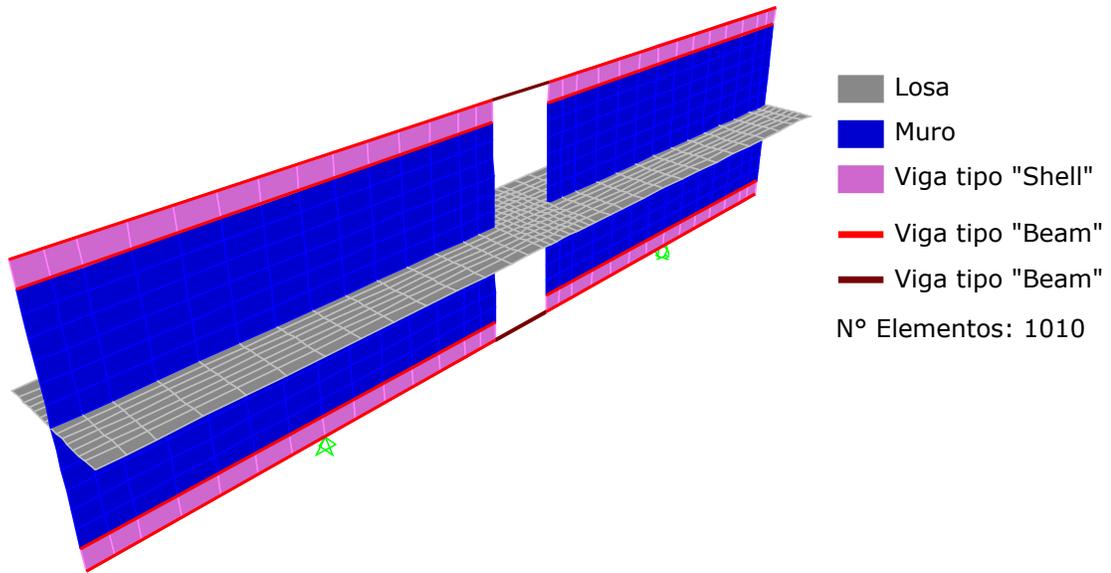


Figura 4.7: Mallado modelo de 1 piso.

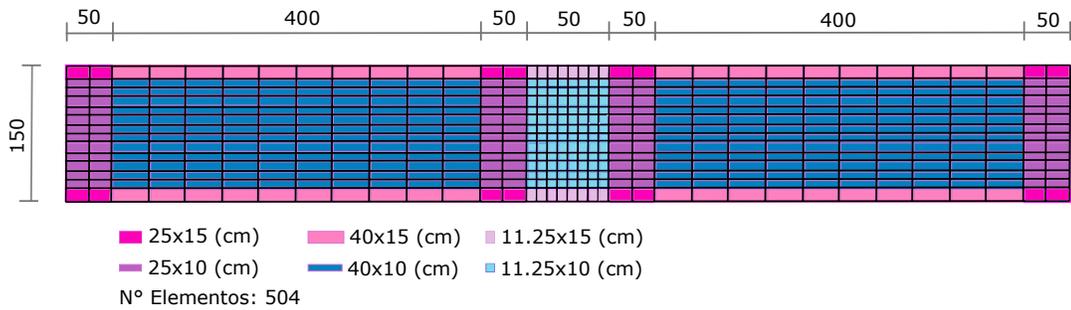


Figura 4.8: Mallado losa.

En cuanto a las restricciones en los apoyos para el caso del modelo de 10 pisos se han empotrado todos los nodos de la base, mientras que en el modelo de 1 piso a la mitad del muro de la izquierda se ha puesto un apoyo simple y a la mitad del muro de la derecha un apoyo deslizable, además se ha impedido el movimiento fuera del plano agregando restricciones en las vigas ubicadas sobre y bajo los muros.

Capítulo 5

Análisis *pushover*

Para el estudio de las estructuras anteriores se requiere conocer el comportamiento dinámico de estas, para lo cual se aplican cargas de peso propio y sobrecarga, y luego se realiza un análisis del tipo *pushover* por control de desplazamientos aplicando una carga horizontal en la parte superior de los muros, para así de esta forma analizar el efecto que se produce en las losas. A partir de esto se realizará una comparación de las respuestas de los modelos 1 y 10 pisos.

5.1. Cargas

A los modelos estudiados se le han aplicado cargas verticales y horizontales. Para la primera se ha considerado el peso propio, además de un porcentaje de la carga muerta y sobrecarga, considerando para esto la carga que recibiría la estructura al ser parte de un edificio. Mientras que para la carga horizontal se realiza un análisis *pushover*, el que consiste en un análisis con control de desplazamiento, en el cual se le aplica la fuerza necesaria a la estructura para que logre el desplazamiento solicitado (deriva), obteniendo así con esto el comportamiento histórico del modelo.

5.1.1. Carga vertical

El cálculo del peso propio de la estructura se ha realizado estimando un valor de 2500 [kg/m³] para la densidad del hormigón y de 9.8 [m/s²] para la aceleración de gravedad, aplicando esto en cada uno de los elementos del modelo, con excepción de las vigas.

El resto de las cargas verticales, tales como la carga muerta y sobrecarga, es aplicada en los nodos superiores de los muros, de cada uno de los pisos en el caso del modelo de 10 pisos, de tal forma que los nodos inferiores van recibiendo mayor carga axial que los superiores. Para obtener el valor de esta carga se ha utilizado la Ecuación 5.1, en donde el factor 0.1

resulta de una estimación de todas las cargas verticales a la cual se sometería la estructura, mientras que A_g y f'_c corresponde al área de la sección transversal y la resistencia máxima del hormigón a compresión respectivamente, luego esta carga es dividida por la cantidad de nodos en cada nivel para así aplicarla de forma uniforme (Figura 5.1).

$$P = 0.1A_g f'_c \quad (5.1)$$

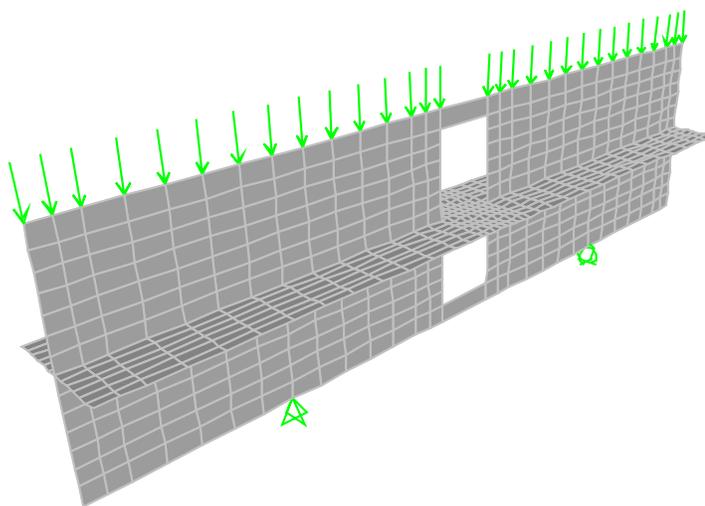


Figura 5.1: Aplicación carga vertical.

5.1.2. Carga horizontal

Para la aplicación de la carga horizontal se realiza un análisis estático no lineal de planificación progresiva, pushover, el cual se produce sometiendo a la estructura a cargas laterales con pequeños incrementos y considerando las capacidades de los elementos después del límite elástico, lo cual puede ser representado a través de un diagrama de fuerza vs deriva para el caso de los modelos estudiados.

En este caso se ha realizado un análisis con control de desplazamiento, pese a eso en la dirección horizontal debe aplicarse una carga tal que esta provoque el desplazamiento señalado, para lo cual en el caso del modelo de 10 pisos se ha trabajado con un patrón que incluye el efecto de los modos de vibrar, combinándolos de tal forma de obtener un adecuado comportamiento de los muros ante cargas importantes como lo son los sismos.

Una forma usual de realizar este tipo de análisis no lineal es trabajando con un patrón de carga triangular, lo que simula el primer modo de vibrar pero puede no ser representativa para los demás modos. Otro método utilizado es el SSAP, el cual fue definido por Shakeri

et al.[16], donde propone un procedimiento para determinar la participación de los modos vibracionales de la estructura, de tal forma que calcula el corte por piso para los primeros tres modos y mediante el método SRSS los combina obteniendo la fuerza por piso con la inclusión de los modos superiores.

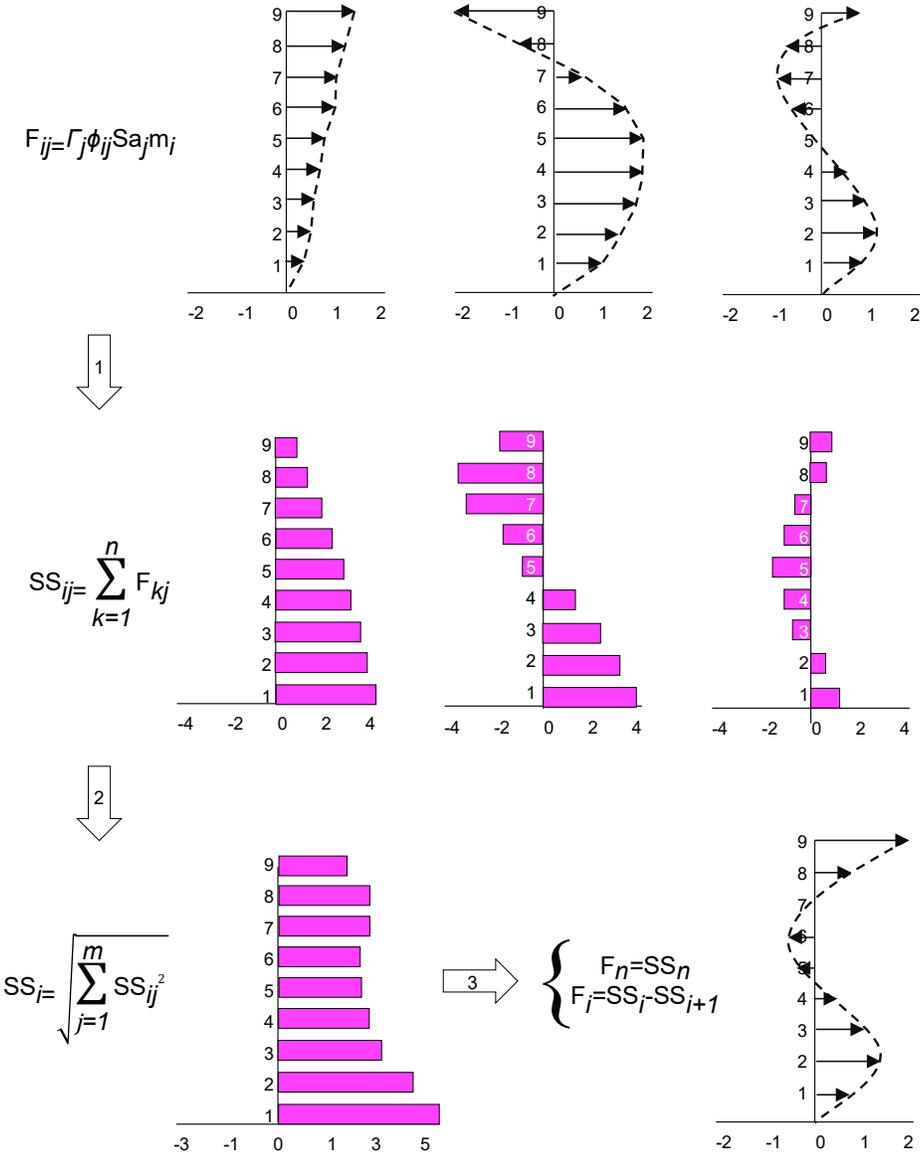


Figura 5.2: Esquema método SSAP (Barrera [17]).

Dado que el modelo estudiado no es representativos en cuanto a la masa y rigidez de un edificio, se utilizará la metodología propuesta por Santos [18], el cual realizó un análisis modal espectral para modelos de edificios chilenos clasificándolos en 10, 15, 20, 25 y 30 pisos, obteniendo de esta forma los cortes por piso siguiendo la metodología SSAP, los que luego se combinaron por nivel y se promediaron por la cantidad de edificios analizados, para finalmente normalizar el patrón de cargas con respecto al último nivel. En este caso se ha

utilizado la distribución del corte en la dirección larga del edificio (Lx, según lo señalado por Santos), la cual puede ser calculada a partir de la Ecuación 5.2, para edificios de 10 pisos , representado como se observa en la Figura 5.3. En cada uno de los niveles de este modelo se han cargado los nodos superiores de los muros, con excepción de los que se encuentran en los bordes, con una carga igual a la obtenida de la distribución corte dividida por la cantidad de nodos cargados en el respectivo nivel.

$$Q_{10Pisos}(x) = 9.23 * 10^{-9}x^4 - 1.02 * 10^{-6}x^3 + 3.82 * 10^{-5}x^2 + 0.006x + 0.0919 \quad (5.2)$$

$$0 \leq x \leq 100 \quad (5.3)$$

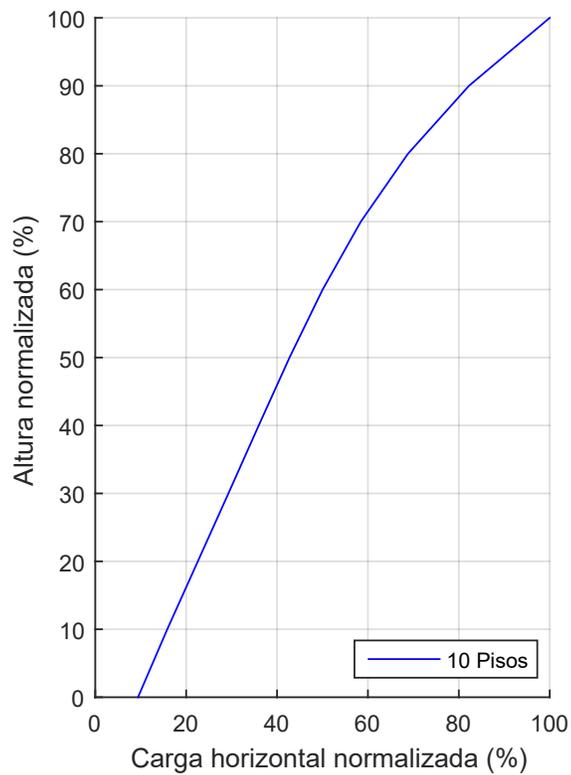


Figura 5.3: Patrón de carga horizontal para el modelo de 10 pisos.

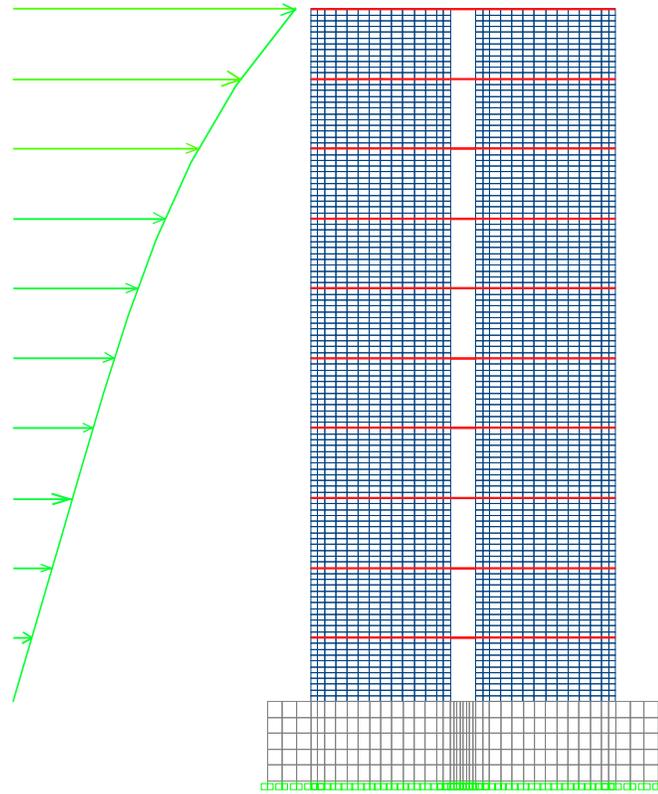


Figura 5.4: Distribución de la carga horizontal a lo alto del edificio de 10 pisos.

Suponiendo de esta forma, como se observa en la imagen anterior, que todo el edificio se mueve hacia una misma dirección.

En el caso de los modelos de 1 piso, dado que la carga horizontal se aplica en un solo nivel no ha sido necesario realizar un patrón de cargas, por lo que basta con generar un desplazamiento en el sector más alto del modelo, para lo cual se aplica la carga horizontal en todos los nodos excepto en los bordes (Figura 5.5), en donde la carga obtenida por el programa se divide en la cantidad de nodos cargados para así aplicarla de forma uniforme.

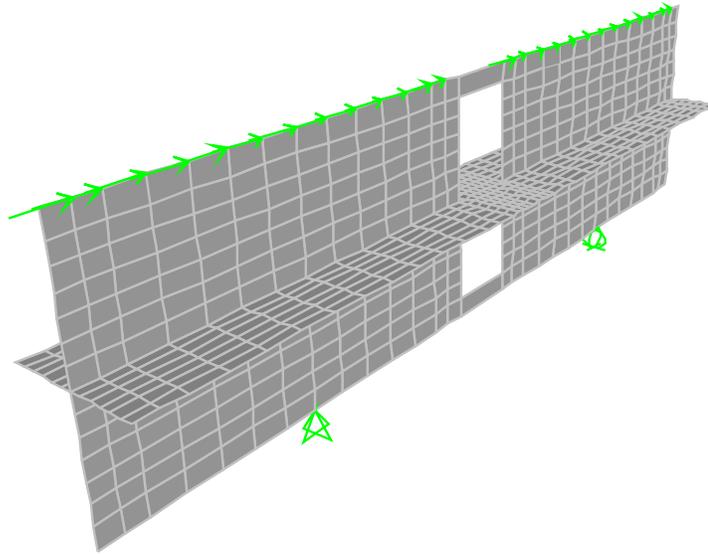


Figura 5.5: Aplicación carga horizontal.

5.2. Algoritmo de solución y método de convergencia

Para la resolución del análisis anterior se utilizó el método de Newton-Raphson, el cual es un algoritmo que encuentra aproximaciones de las raíces de una función real realizando un método iterativo, el cual se comienza con un valor inicial suficientemente cercano a la raíz buscada. Para la convergencia de este método se ocupó el test de máxima razón de desplazamiento incremental, el que tiene como objetivo aproximar la no linealidad mediante funciones lineales definidas en intervalos precisos, comprobando así la convergencia del resultado en el paso actual utilizando una tolerancia específica entre los componentes del desplazamiento anterior y actual. En caso de no cumplirse el equilibrio, es necesario modificar ciertos parámetros y con estos cambios procesar nuevamente el modelo, lo cual puede aumentar el tiempo de análisis, siendo también posible modificar las dimensiones de los elementos, lo que varía la cantidad de ecuaciones a resolver y con esto los tiempos de solución.

5.3. Parámetros de estudio

5.3.1. Distribución de momento y rotación

Para estudiar la distribución de momento y rotación se han hecho dos cortes en la losa del pasillo (Figura 5.6), uno al borde de esta en la cercanía de los muros y otra al centro de la losa atravesándola justo en la mitad para así poder analizar la variación de estos esfuerzos y deformaciones a lo largo de ambos ejes. De esta forma para obtener cada uno de ellos se han calculado estos en los nueve puntos de cuadratura de cada elemento y se promediaron, mientras que la posición se ha definido en el centro de los elementos.

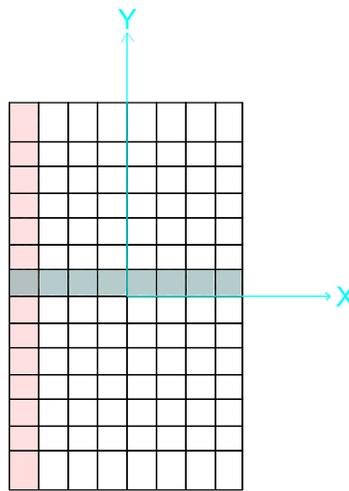


Figura 5.6: Elementos utilizado en el análisis de distribución de momento y rotación.

5.3.2. Esfuerzos transmitidos

Al someter un muro a cargas laterales, se producen esfuerzos de flexión los cuales al transmitirse de este a otro muro genera esfuerzos de corte y momento los cuales son transmitidos a las losas.

El corte ejercido en los muros por la losa en cada piso del modelo de 10 pisos, se ha obtenido calculando la suma de la carga axial de todo los elementos que se encuentran justo debajo de la losa de uno de los muros y luego realizando la diferencia de carga axial entre un piso y el piso superior siguiente (Figura 5.7). Si bien esto también puede realizarse en el modelo de 1 piso considerando los elementos de techo, en esta oportunidad se ha realizando con el esfuerzo obtenido en los apoyos.

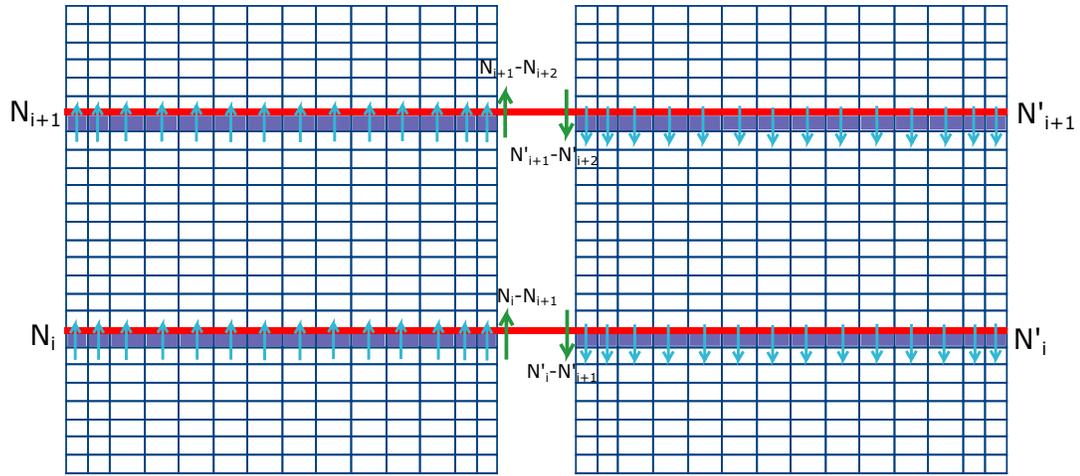


Figura 5.7: Corte transferido.

El cálculo de la concentración de momento se ha realizado seleccionando los mismos elementos que se ubican en la cercanía del muro señalados en la Figura 5.6, para los cuales se ha determinado este esfuerzo por unidad de ancho de cada elemento y calculando la integral de esta distribución se obtiene el momento total transferido a la losa (Figura 5.8).

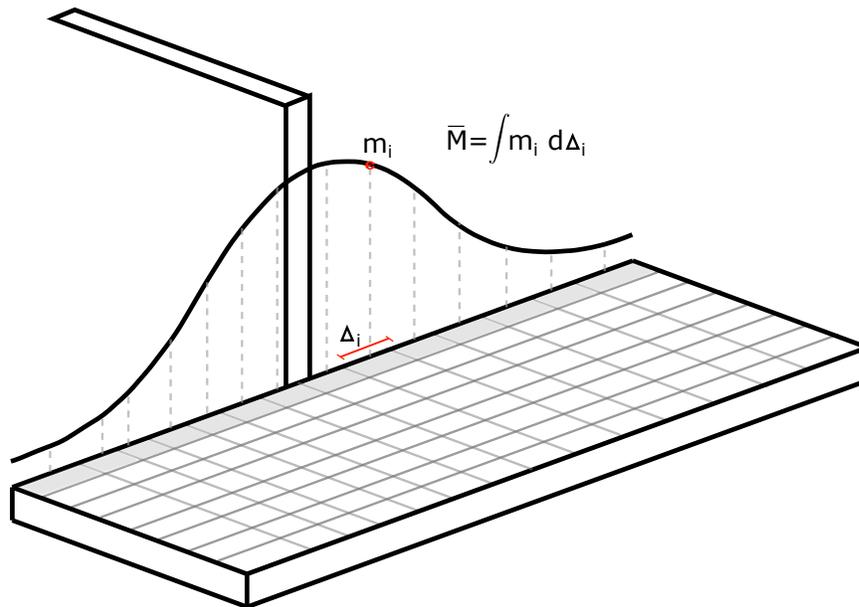


Figura 5.8: Momento transferido.

5.3.3. Ancho efectivo

Como se mencionó, al aplicar cargas laterales a un muro se ejerce una distribución de esfuerzos en la losa, esta se encuentra concentrada en la cercanía de los muros y decrece al alejarse de estos, donde el refuerzo más lejano posee baja efectividad. Teniendo en cuenta esto se considerará como ancho efectivo el ancho de la losa tal que la fuerza resultante sea de igual magnitud a la distribución real de tensiones. De acuerdo a esto, el ancho efectivo se ha calculado a partir de la concentración del momento transmitido, dividiendo esta por el máximo momento por unidad de largo. (Figura 5.9).

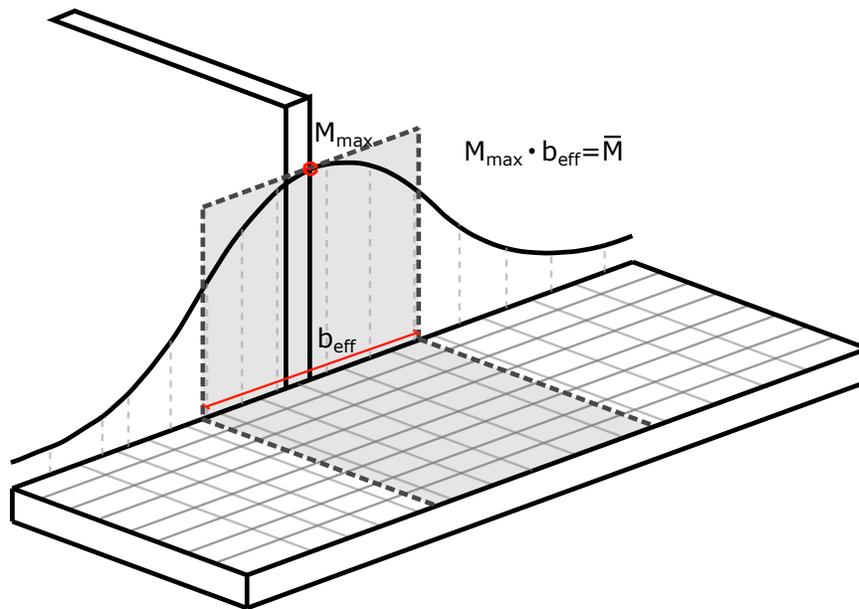


Figura 5.9: Ancho efectivo.

5.3.4. Grado de acoplamiento

El grado de acoplamiento permite tener una idea de que tan unidos se encuentran los muros por la losa del pasillo en edificio de gran altura, el que viene determinado según la carga que es capaz de resistir la losa justo en el vínculo con estos.

Este valor puede calcularse con expresión utilizada por Paulay (Ecuación 5.4)

$$\beta = \frac{TL}{M_1 + M_2 + TL} \quad (5.4)$$

donde T corresponde a la fuerza axial de la losa, L la distancia entre los centros geométricos de los muros, mientras que M_1 y M_2 son los momentos generados en la base de cada uno de los muros (Figura 5.10).

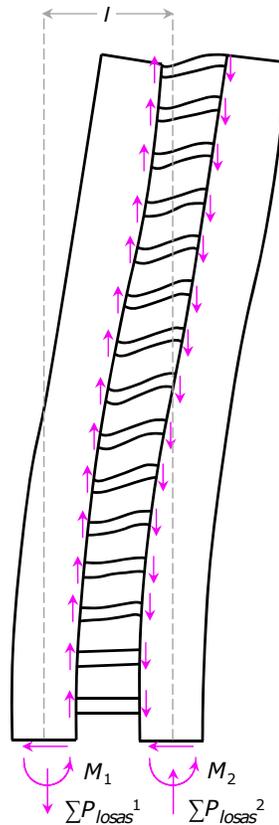
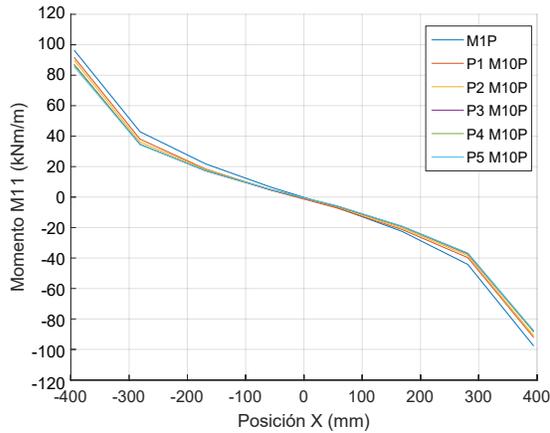


Figura 5.10: Fuerzas resistentes en figuras acopladas. (Barrera [17])

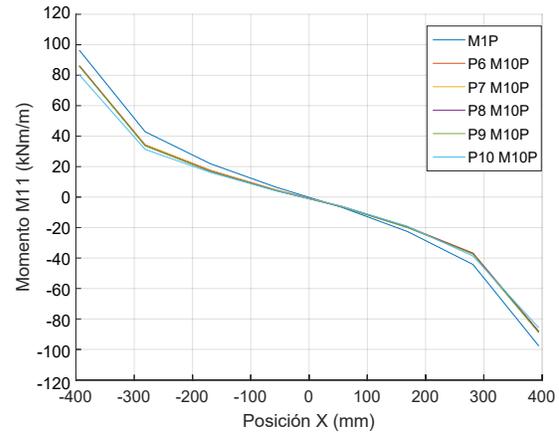
Para modelos de 1 piso, este parámetro no puede ser calculado, solo es posible obtener el valor de la carga axial que pasa a través de los muros.

5.4. Resultados de la comparación de modelos de 1 piso y 10 pisos

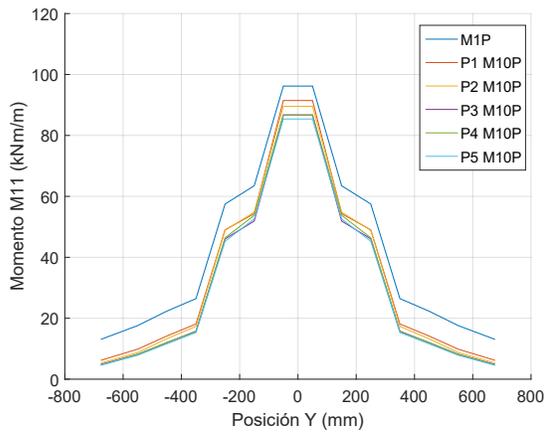
5.4.1. Distribución de momento y rotación



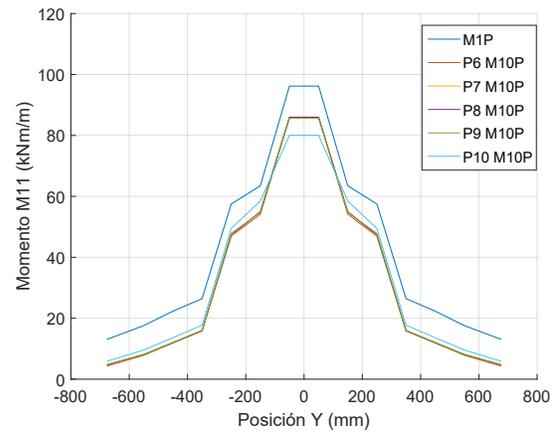
(a) M11vsX, pisos 1 al 5.



(b) M11vsX, pisos 6 al 10.



(c) M11vsY, pisos 1 al 5.

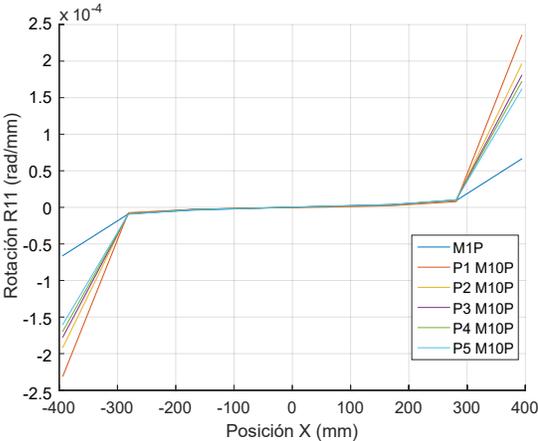


(d) M11vsY, pisos 6 al 10.

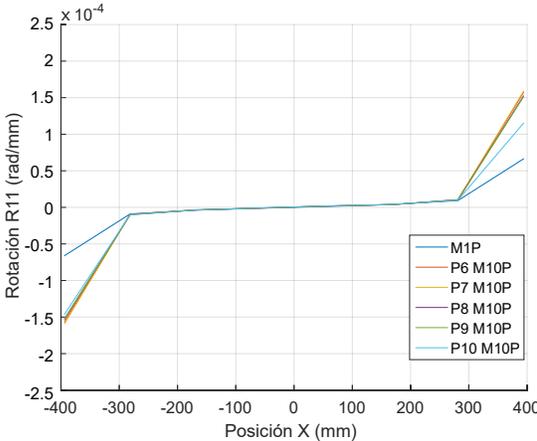
Figura 5.11: M11 a lo largo y ancho de la losa, para una rotación de 0.005 (rad), M1P y M10P.

Analizando la distribución de momento para el caso del modelo de 10 pisos (Figuras 5.11, D.3 y D.4) inicialmente el valor máximo de M11 es similar en todos los pisos, y similar también al entregado por el modelo de 1 piso con los muros elásticos hasta aproximadamente una deriva de piso de 0.25 [%], concordando con que en este punto todos han superado el valor de fluencia. Posteriormente el momento de los elementos centrales comienza a disminuir, pero el del modelo de 1 piso lo hace más lentamente, de esta forma siempre es capaz de resistir un

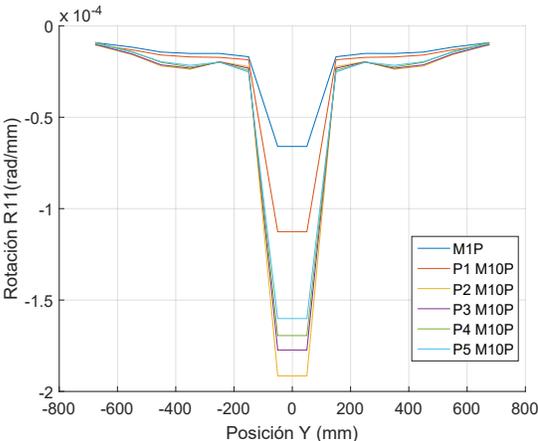
momento mayor que el de las losas del modelo de 10 pisos. En general se tiene que mientras mayor es el piso mayor es el momento al que llega, donde ocurre que desde la mitad del edificio hacia los pisos superiores los valores son muy cercanos entre ellos, y cuando se supera el momento de fluencia por las barras centrales comienza a transmitirse a las barras que les siguen. Cabe señalar además que la derivas de piso va aumentando más lentamente mientras más bajo sea el piso, por lo que cuando se ha llegado a una deriva de techo del 2 [%] el piso 1 logró una deriva de 0.5 [%], siendo por lo tanto comparable con los otros pisos solo a hasta este punto.



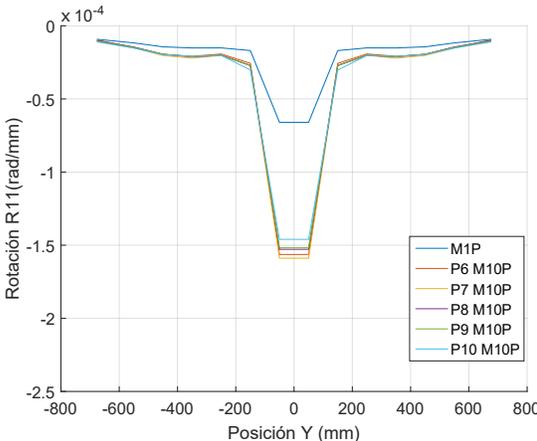
(a) R11vsX, pisos 1 al 5.



(b) R11vsX, pisos 6 al 10.



(c) R11vsY, pisos 1 al 5.



(d) R11vsY, pisos 6 al 10.

Figura 5.12: R11 a lo largo y ancho de la losa, para una deriva de 0.50 %, M1P y M10P.

Al observar la distribución de rotación se aprecia que en el modelo de 10 pisos ocurren mayores rotaciones mientras más bajo es el piso, siendo mayores que las del modelo de 1 piso (Figura 5.12). Esto concuerda a lo analizado para M11, ya que los pisos del modelo de 10 pisos llegan antes a la fluencia debido a que su rotación es mayor que la del modelo de 1 piso.

5.4.2. Concentración de corte y momento

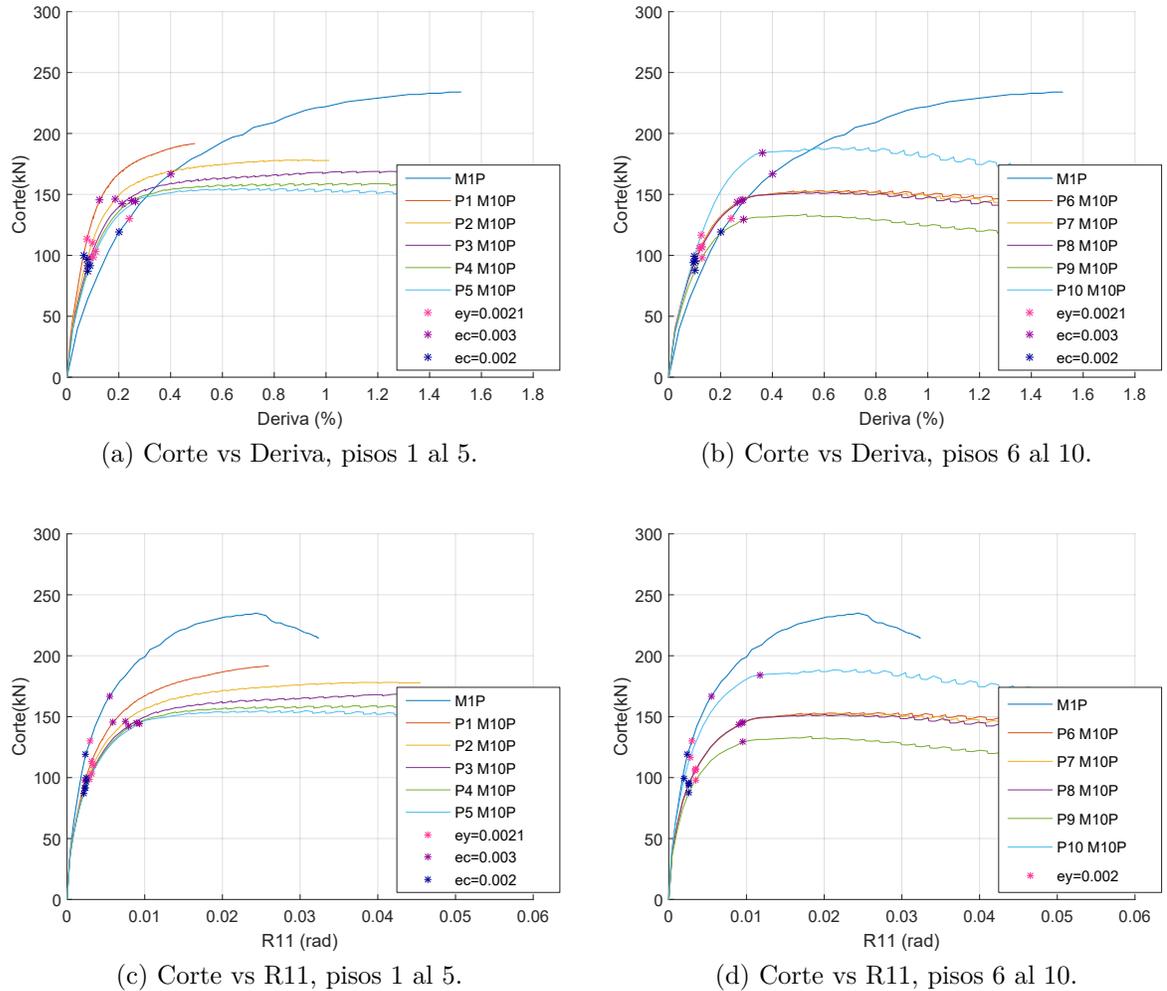
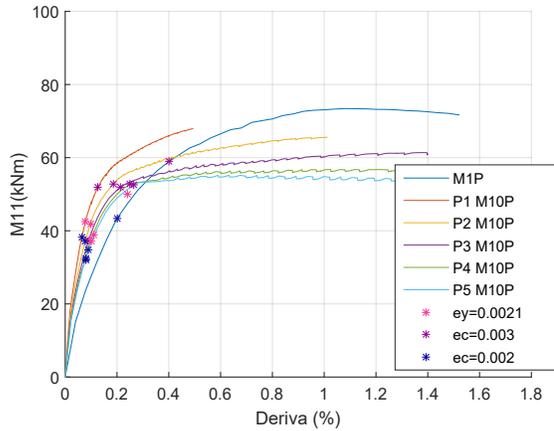
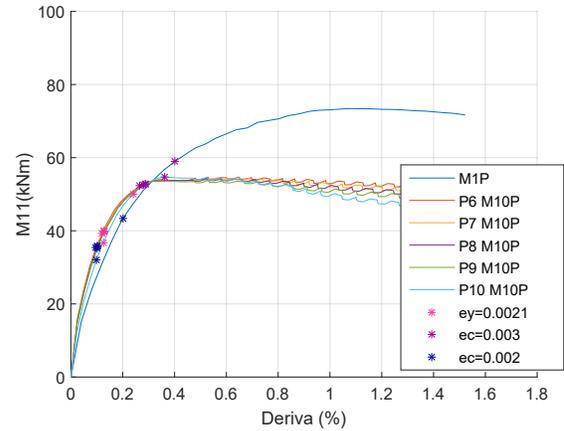


Figura 5.13: Concentración del corte en la zona de acoplamiento, M1P y M10P.

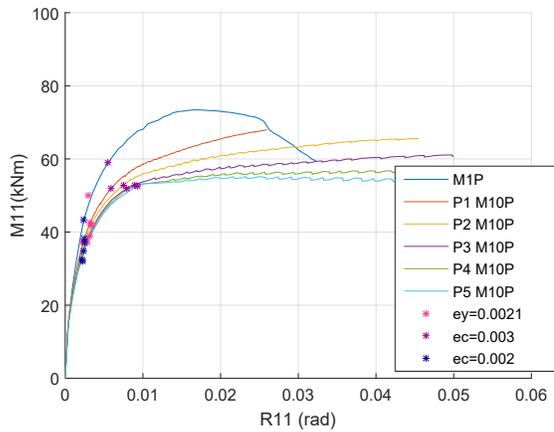
La Figura 5.13 muestra la concentración de corte en el modelo de 10 pisos, donde se tiene que a medida que mayor es el nivel del piso menor es el corte, ocurriendo esto hasta el quinto piso en donde el valor que se obtiene en este se mantiene sin grandes variaciones hasta el octavo piso, donde posteriormente en el piso 9 baja bruscamente para finalmente aumentar en el piso 10.



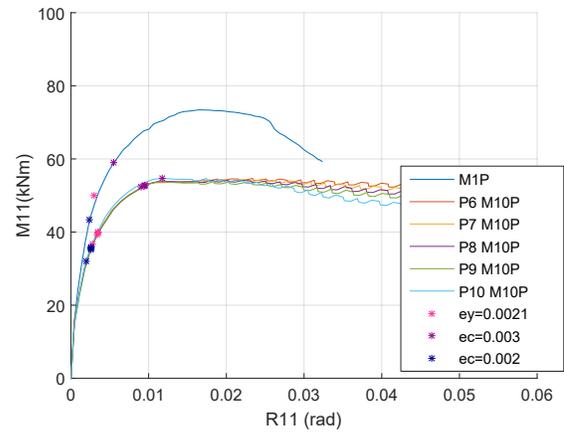
(a) Momento vs Deriva, pisos 1 al 5.



(b) Momento vs Deriva, pisos 6 al 10.



(c) Momento vs R11, pisos 1 al 5.



(d) Momento vs R11, pisos 6 al 10.

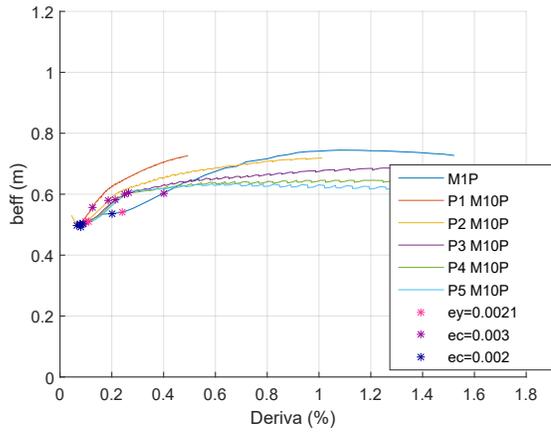
Figura 5.14: Concentración del momento en la zona de acoplamiento, M1P y M10P.

En los gráficos de concentración de momento (Figura 5.14) es posible notar que este sigue la misma tendencia del corte, en cuanto a que se tiene un valor menor mientras mayor es el nivel del piso pero sin los cambios bruscos señalados anteriormente. Es importante señalar además que el modelo de 1 piso con muros elásticos logra un mayor valor de corte y momento que cualquiera de los pisos del modelo de 10 pisos, esto debido a que el modelo de 1 piso se encuentra en un menor estado de tensiones.

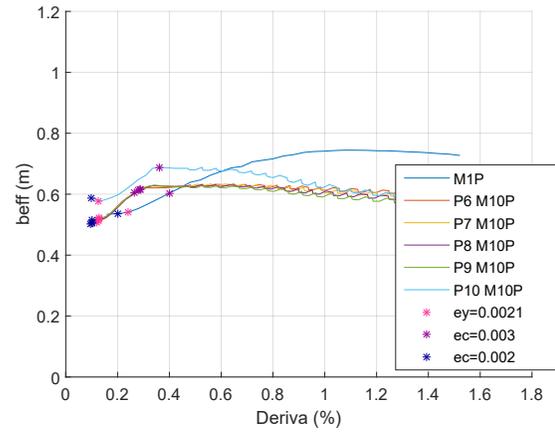
Para ambos casos, corte y momento, se observa que las deformaciones del hormigón a tracción, hormigón a compresión y fluencia del acero ocurren a rotaciones similares al comparar el modelo de 1 pisos con los diferentes pisos del modelo de 10 pisos, donde tanto las deformaciones como la rotación han sido calculadas para el elemento que se encuentra en contacto con el muro.

5.4.3. Ancho efectivo

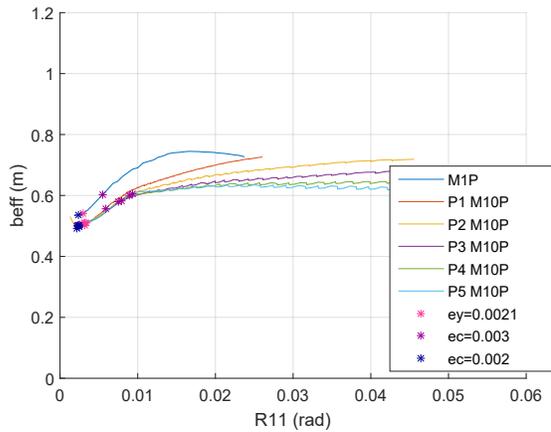
Del análisis de los resultados de ancho efectivo para el modelo de 10 pisos (Figuras 5.15 y 5.16), se tiene que este posee valores entre 0.6 y 0.8 [m], equivalente a 4 y 5 espesores de losa, donde a medida que el nivel del piso crece el ancho efectivo se hace menor.



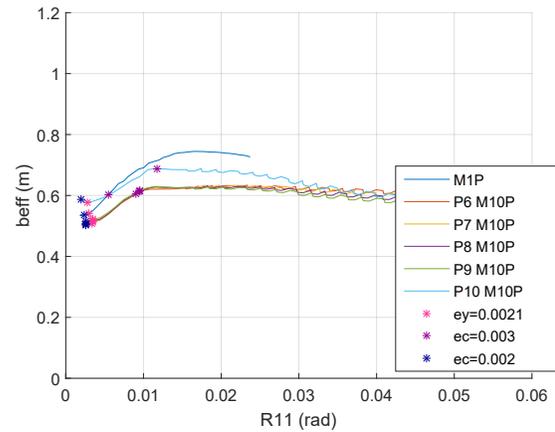
(a) b_{eff} vs Deriva, pisos 1 al 5.



(b) b_{eff} vs Deriva, M1P y pisos 6 al 10.

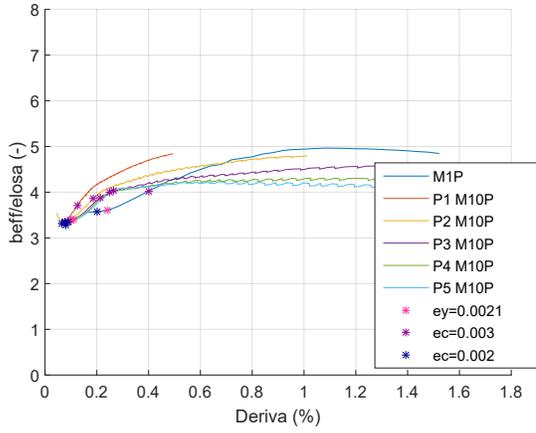


(c) b_{eff} vs R11, pisos 1 al 5.

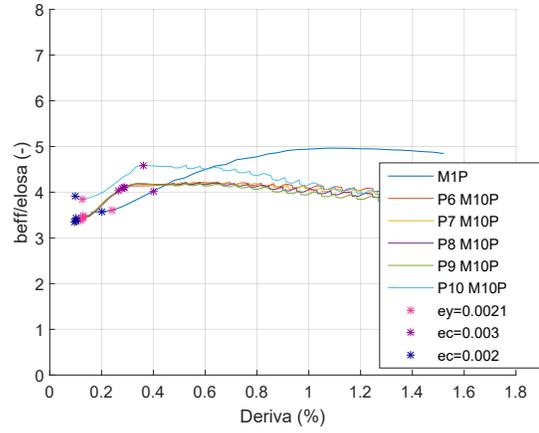


(d) b_{eff} vs R11, pisos 6 al 10.

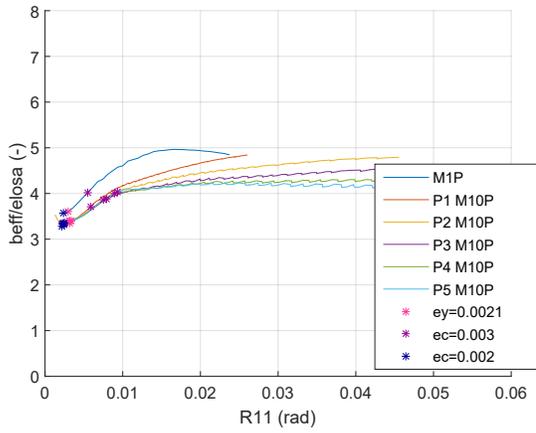
Figura 5.15: b_{eff} , M1P y M10P.



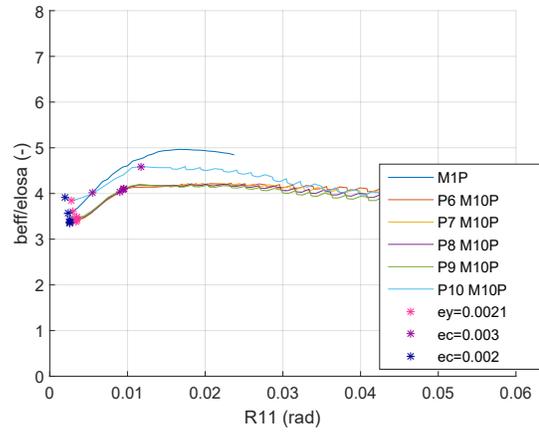
(a) b_{eff}/e_{losa} vs Deriva, pisos 1 al 5.



(b) b_{eff}/e_{losa} vs Deriva, pisos 6 al 10.



(c) b_{eff}/e_{losa} vs R11, pisos 1 al 5.



(d) b_{eff}/e_{losa} vs R11, pisos 6 al 10.

Figura 5.16: b_{eff}/e_{losa} M1P y M10P.

Capítulo 6

Estudio paramétrico

Con el fin de analizar el efecto de la armadura de refuerzo de losa sobre el sistema de acoplamiento se realiza un estudio paramétrico, considerando armaduras concentradas y distribuidas, y comparando sus distribuciones de esfuerzos y deformaciones; concentración de corte, momento, y ancho efectivo.

6.1. Variaciones respecto al modelo base

Para estudiar el efecto de la armadura de refuerzo, se ha modificado esta en la dirección transversal tanto inferior como superior, considerando trece configuraciones distintas, siete con armadura concentrada y seis con armadura distribuida, para lo cual se han considerado las mismas características en cuanto a dimensiones y cuantías de losas y muros que las señaladas anteriormente para el modelo de 1 piso, y donde la armadura de refuerzo se ha extendido hacia el sector de los muros al menos $60\phi + 10[\text{mm}]$ (dependiendo del largo de los elementos abarcados).

La cantidad de elementos a los cuales se les hace este cambio de armadura dependerá de la cantidad de barras utilizadas en el caso de la armadura concentrada en donde se consideraran los elementos desde el centro hacia afuera, mientras que para la armadura distribuida se realiza de forma uniforme en todos los elementos del pasillo.

Los casos a evaluar y su respectiva cuantía se presentan en la Tabla 6.1.

Caso	Armadura	Cuantía	Ancho de distribución (mm)
1	6 ϕ 16	0.0134	600
2	4 ϕ 12	0.0075	400
3	6 ϕ 12	0.0075	600
4	8 ϕ 12	0.0075	800
5	4 ϕ 18	0.0169	400
6	6 ϕ 18	0.0169	600
7	8 ϕ 18	0.0169	800
8	ϕ 8@15	0.0022	1500
9	ϕ 10@15	0.0035	1500
10	ϕ 10@10	0.0052	1500
11	ϕ 12@10	0.0075	1500
12	ϕ 16@10	0.0134	1500
13	ϕ 18@10	0.0169	1500

Tabla 6.1: Casos de refuerzo de losa.

Estas cuantías se han obtenido según la Ecuación 6.1, donde A_b es el área de la barra, s el espaciamiento y h el espesor de la losa,

$$\rho = \frac{A_b}{sh} \quad (6.1)$$

considerando para todos los casos con armadura concentrada un espaciamiento de 100 [mm].

6.2. Resultados modelo de 1 piso con armadura $6\phi 16$

6.2.1. Respuesta *pushover*

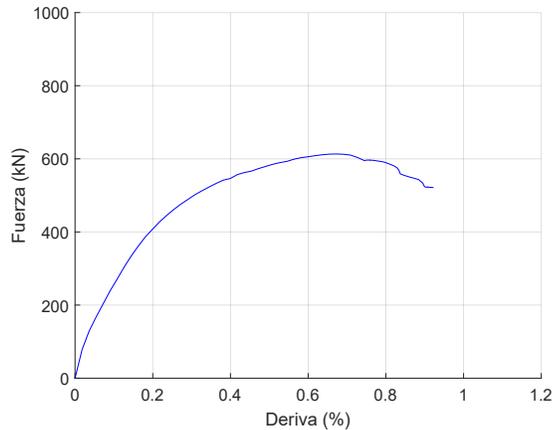
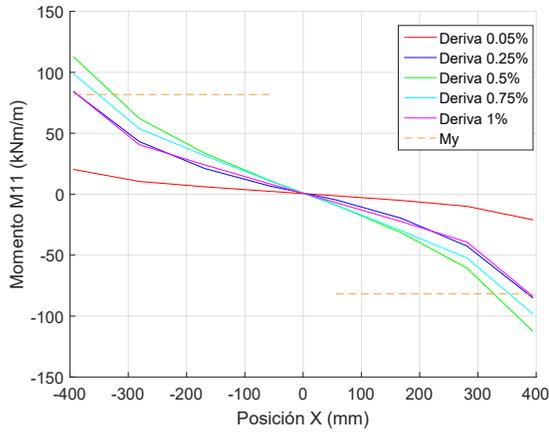


Figura 6.1: Histéresis modelo $6\phi 16$.

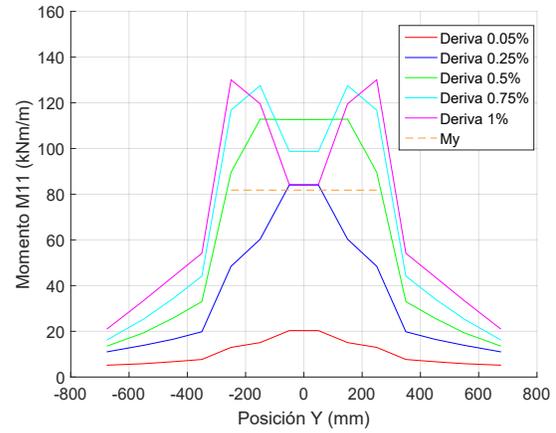
En la Figura 6.1, es posible apreciar que al aumentar la deriva de techo irá aumentando la fuerza que debe ser aplicada al modelo hasta un cierto punto donde esta logra un valor máximo y luego comienza a disminuir, para el caso de este modelo esto se produce cerca de una deriva de techo de 0.7 [%] con una fuerza de aproximadamente 610 [kN].

6.2.2. Distribución de momento y rotación

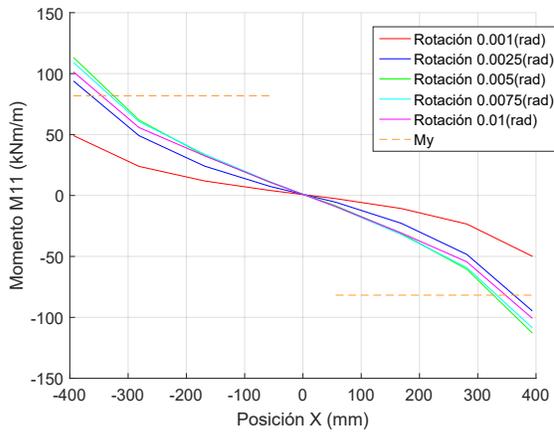
En cuanto a la distribución de momento, se observa que tanto el momento M11 (Figura 6.2) como M22 (Figura 6.3) tienen su mayor valor en la cercanía de los muros y disminuyen de forma simétrica a lo largo del eje Y, mientras que al analizar estos momentos a lo largo del eje X se aprecia que se tienen una magnitud mayor en la cercanía de los muros disminuyendo hasta llegar a ser nulo en el centro de la losa, teniendo así una distribución antisimétrica, lo cual concuerda con estudios anteriores.



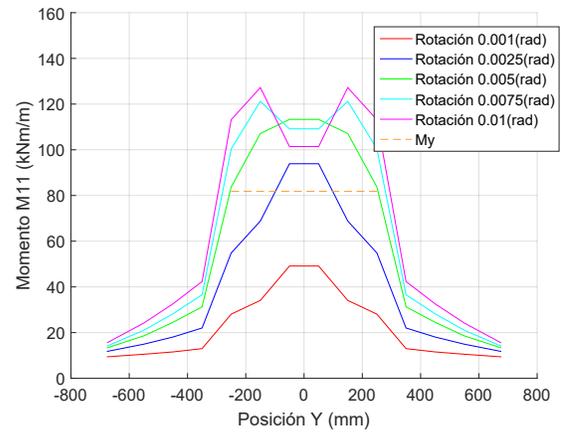
(a) M11vsX, para diferentes derivas.



(b) M11vsY, para diferentes derivas.



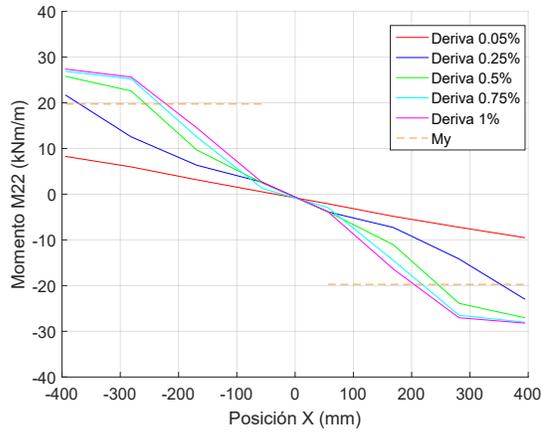
(c) M11vsX, para diferentes rotaciones.



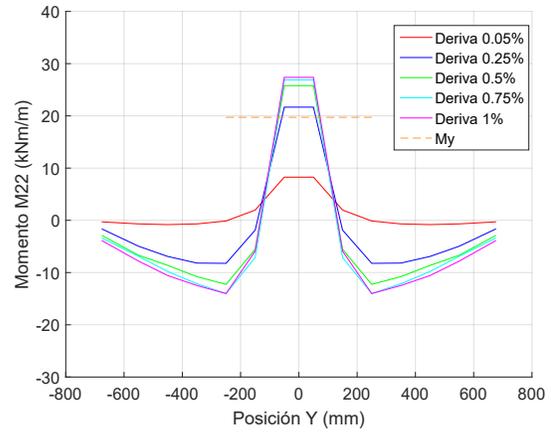
(d) M11vsY, para diferentes rotaciones.

Figura 6.2: M11 a lo largo y ancho de la losa, modelo 6φ16.

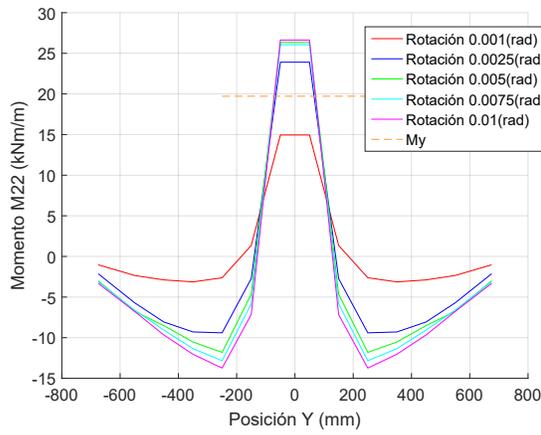
Se aprecia en la Figura 6.2 que a medida que aumenta la deriva, el momento en la losa también aumenta, hasta que las barras de refuerzo en la zona central superan el valor de fluencia y en este instante comienzan a disminuir su momento transfiriéndolo a las barras continuas para así lograr una mejor distribución.



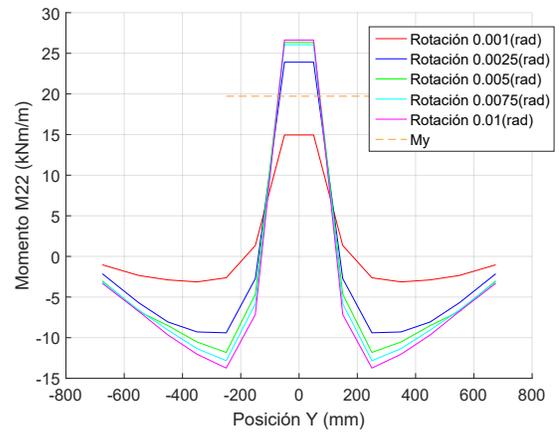
(a) M22vsX, para diferentes derivas.



(b) M22vsY, para diferentes derivas.



(c) M22vsX, para diferentes rotaciones.



(d) M22vsY, para diferentes rotaciones.

Figura 6.3: M22 a lo largo y ancho de la losa, modelo $6\phi 16$.

Para el caso de M22 como se muestra en la Figura 6.3, su magnitud también crece a medida que aumenta la deriva de piso, pero no se aprecia una disminución una vez superada la fluencia.

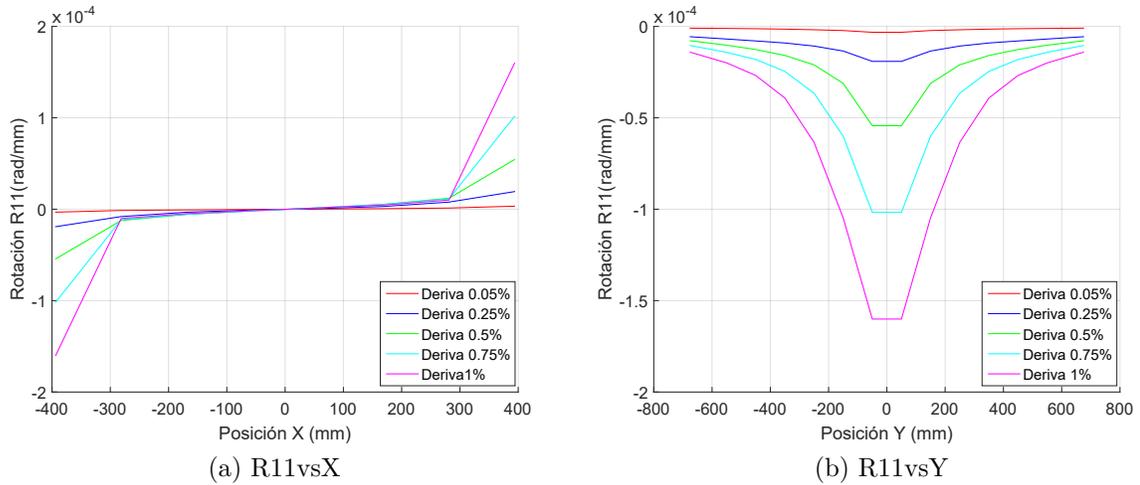


Figura 6.4: R11 a lo largo y ancho de la losa, modelo $6\phi 16$.

Como se muestra en las Figuras 6.4 y 6.5 al igual que para los casos de momento, para el caso de la distribución de rotación en la dirección X se aprecia una distribución antisimétrica mientras que en el eje Y simétrica, aumentando su magnitud a medida que aumenta la deriva, tanto para R11 como para R22.

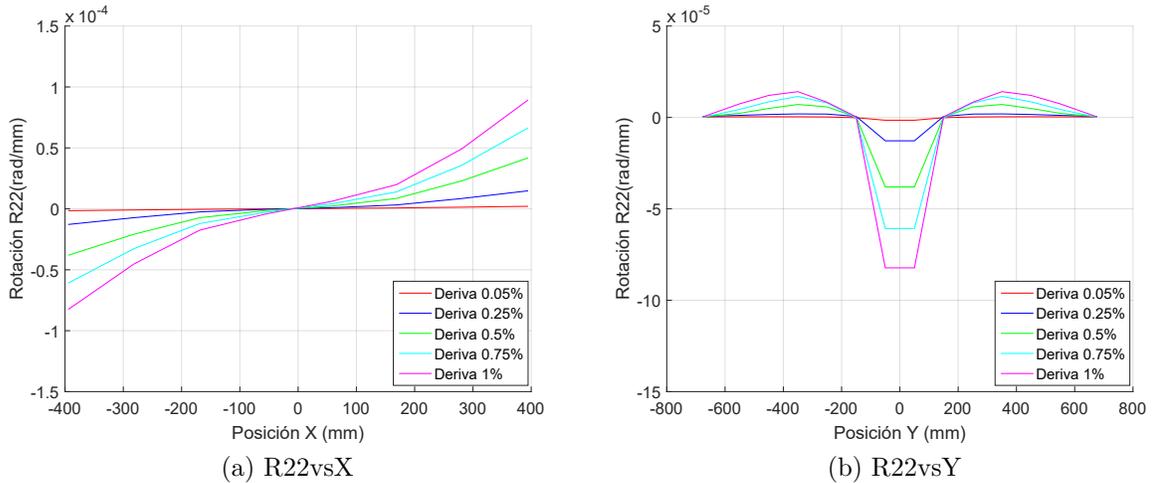


Figura 6.5: R22 a lo largo y ancho de la losa, modelo $6\phi 16$.

6.2.3. Esfuerzos resultantes

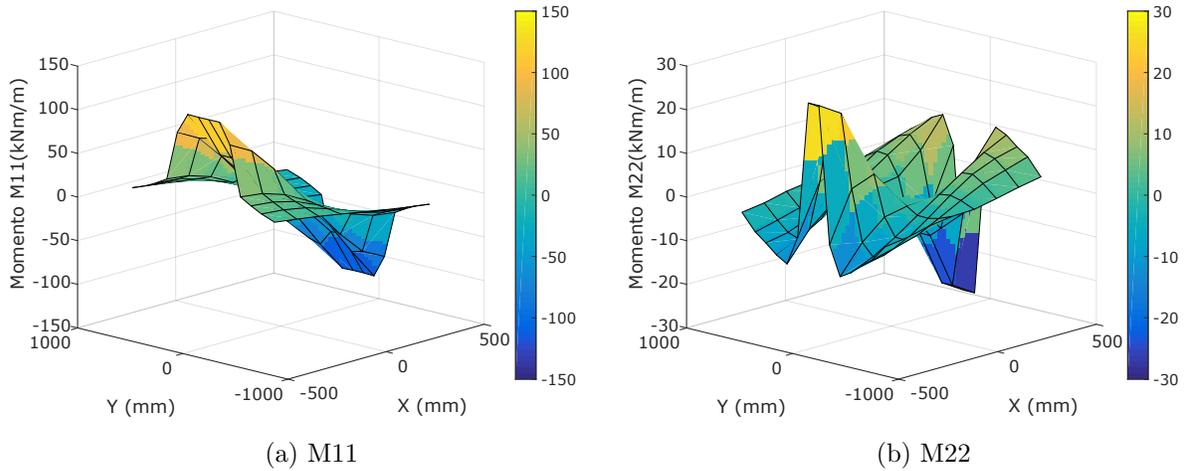


Figura 6.6: Momento de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo 6 ϕ 16.

Se han realizado también gráficos de superficie para analizar los esfuerzos y deformaciones en toda la losa, para lo cual se obtuvieron los valores de la misma forma que lo mencionado anteriormente, calculando el promedio del parámetro analizado en los nueve puntos de cuadratura de cada elemento y fijando su posición en el centro de estos.

De esta forma en la Figura 6.6 es más claro apreciar la simetría y antisimetría de los momentos de la losa y que estos son mayores en la cercanía de los muros, concordando los valores para una deriva de 0.50 [%] con los presentados en las Figuras 6.2 y 6.3.

6.2.4. Deformación resultante

Para obtener el desplazamiento que se genera en la losa debido a la carga aplicada a los muros, se ha graficado esto según el cambio de posición que se ha producido en los nodos como se muestra en la Figura 6.7, donde se aprecia que ocurre un mayor desplazamiento en la dirección vertical en el sector donde la losa está en contacto con el muro, logrando un máximo cercano a los 5 [mm].

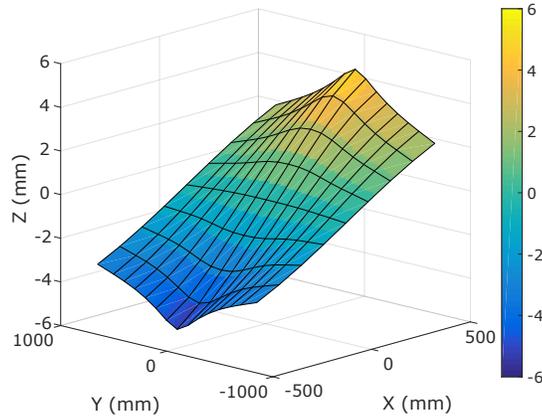


Figura 6.7: Deformación de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo 6 ϕ 16.

Se aprecia también que este valor es negativo hacia el lado izquierdo de la losa y positivo al lado derecho, lo que concuerda con el movimiento que produce el giro de los muros sobre la losa, haciendo que una parte de esta suba y otra baje.

6.2.5. Deformaciones unitarias

En la Figura 6.8 se presentan las deformaciones unitarias de la losa, como lo son E11, E22, E12 y las rotaciones. En el caso de E11 y E22 existe un valor mayor en la cercanía de los muros en comparación al resto de la losa. En cuanto a las deformaciones unitarias de rotación, se señala lo mismo que anteriormente que sus máximos valores se producen en la continuidad con los muros.

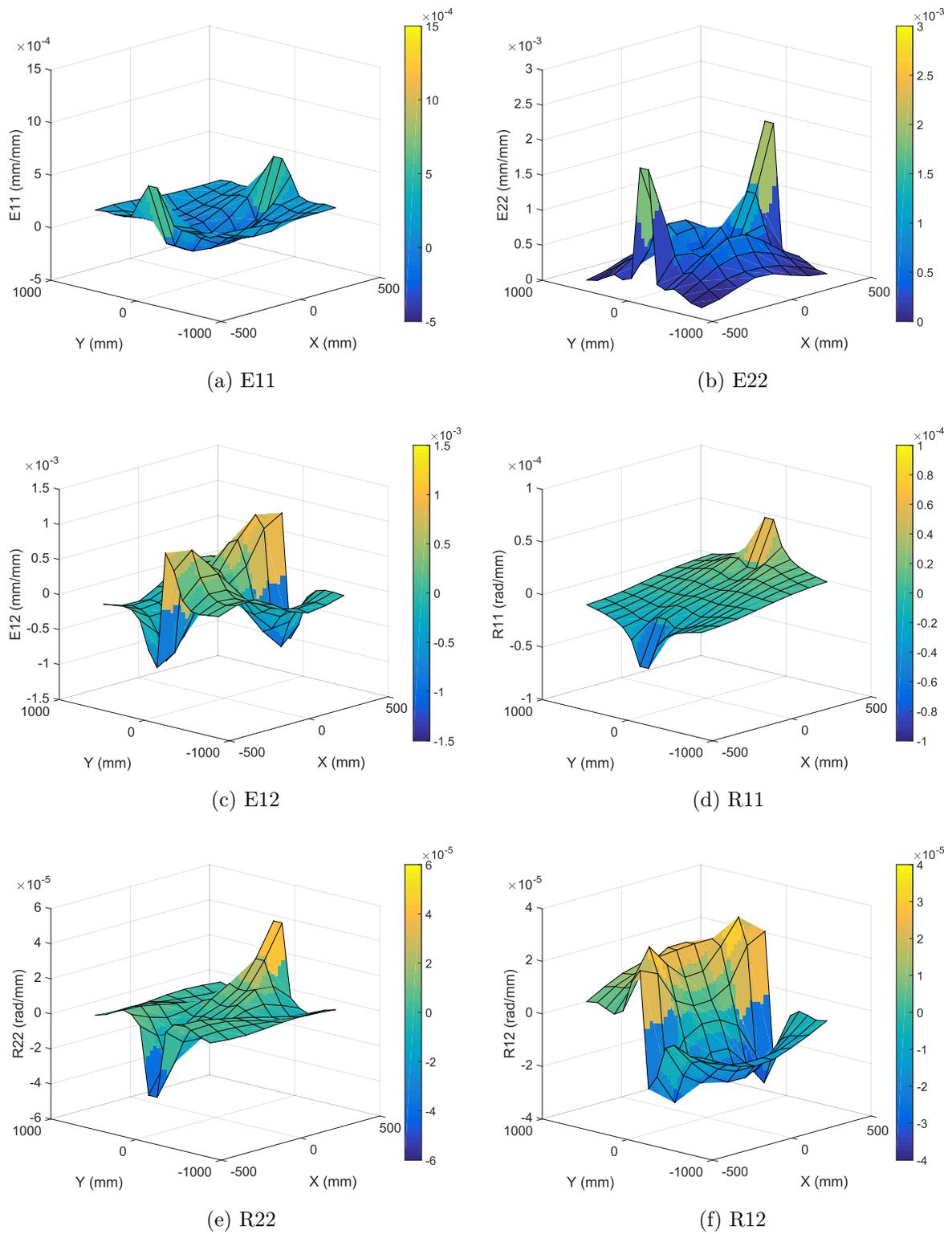


Figura 6.8: Deformaciones unitarias de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo 6 ϕ 16.

6.2.6. Concentración de corte y momento

La concentración de corte y momento se han calculado según lo señalado anteriormente, obtenido así un corte máximo de aproximadamente 310 [kN] para el modelo con armadura $6\phi 16$ (Figura 6.9), lo cual ocurre para una deriva de piso de 1.5 [%] y una rotación de la losa de 0.032 [rad], mientras que el momento máximo es cercano a los 100 [kNm], sucediendo esto para la misma deriva y rotación que el corte máximo.

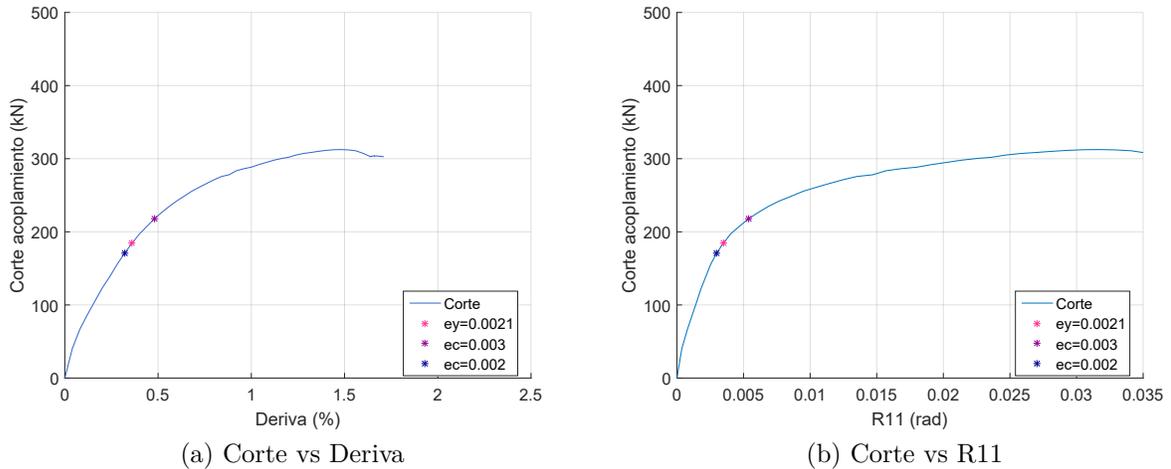


Figura 6.9: Concentración del corte en la zona de acoplamiento, modelo $6\phi 16$.

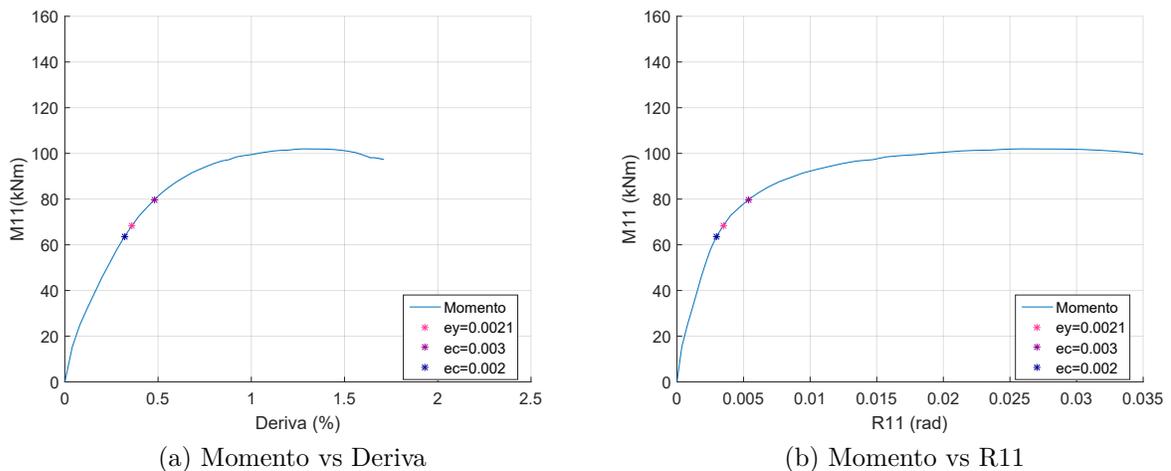
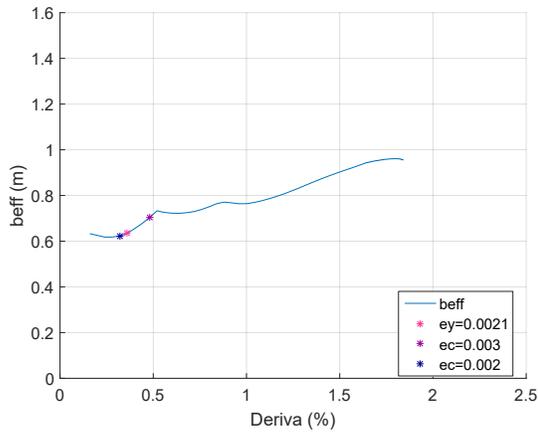


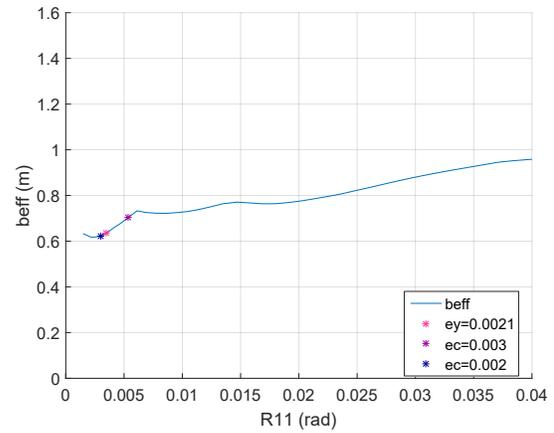
Figura 6.10: Concentración del momento en la zona de acoplamiento, modelo $6\phi 16$.

6.2.7. Ancho efectivo

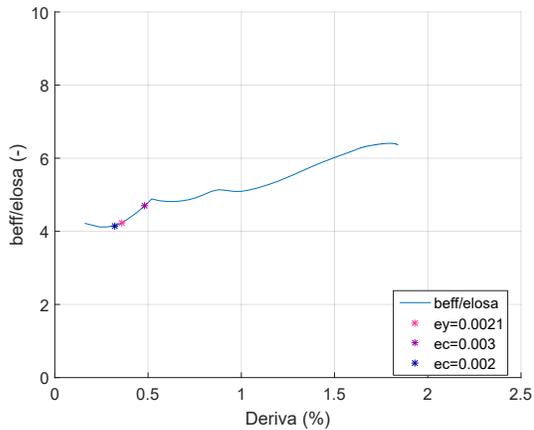
Los valores resultante para el ancho efectivo se presentan en la Figura 6.11, donde se obtiene un ancho efectivo cercano a los 0.95 [m], lo que es similar a lo que es posible obtener de la Ecuación 1.3 propuesta por Tapia [4], siendo equivalente a un poco más de 6 espesores de losa teniendo en cuenta una losa de 15 [cm].



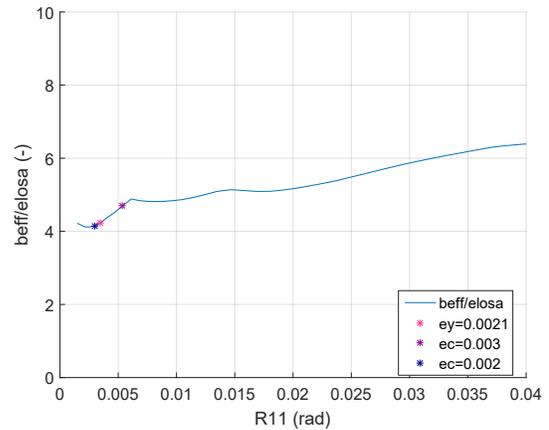
(a) b_{eff} vs Deriva



(b) b_{eff} vs R11



(c) b_{eff}/e_{losa} vs Deriva



(d) b_{eff}/e_{losa} vs R11

Figura 6.11: Ancho efectivo, modelo $6\phi 16$.

6.3. Comparación de modelos de 1 piso con armadura concentrada

6.3.1. Distribución de momento y rotación

Al comparar M11 para el caso de las armaduras concentradas (Figuras 6.12 y 6.13), se aprecia que aquellos modelos que tienen barras de mayor diámetro alcanzan un mayor momento, con valores parecidos entre los casos con igual diámetro pero distinta cantidad de barras, notando que mientras más barras de refuerzo se tenga al centro de la losa el momento máximo es levemente menor debido a que este se distribuye de mejor manera. Se observa además que en los gráficos de M11vsY a medida que las barras de refuerzo centrales superan el momento de fluencia se va generando un momento mayor en las barras que les siguen, dado que comienzan a resistir lo que las barras centrales ya no logran hacerlo.

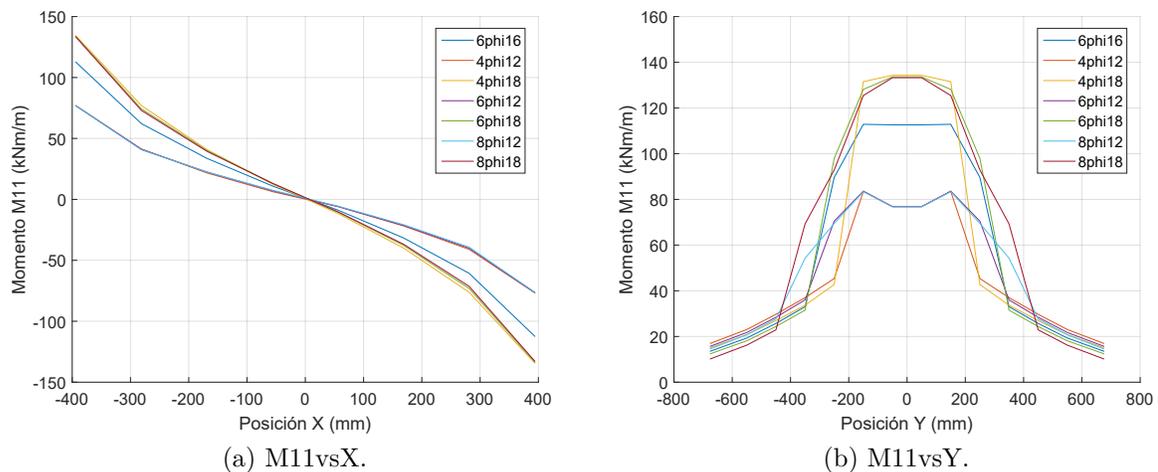


Figura 6.12: M11 a lo largo y ancho de la losa, para una deriva de 0.50%, modelos con armadura concentrada.

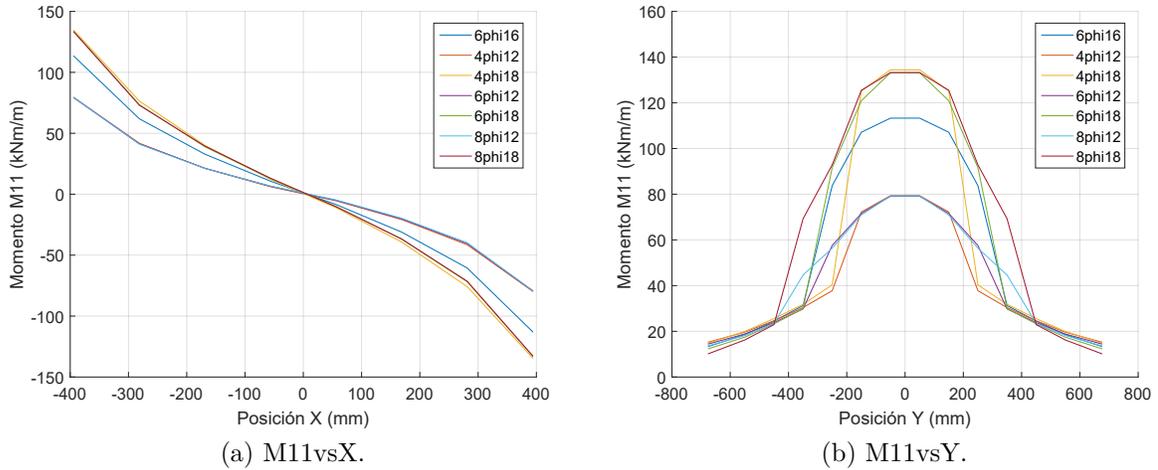


Figura 6.13: M11 a lo largo y ancho de la losa, para una rotación de 0.005 (rad), modelos con armadura concentrada.

Al observar la distribución de rotación se aprecia que mientras mayor es la cuantía menor es la rotación (Figuras 6.14), concordando con lo observado en el análisis de M11, donde se tendrá que los modelos con menor cuantía fluyen antes debido a que poseen una mayor rotación.

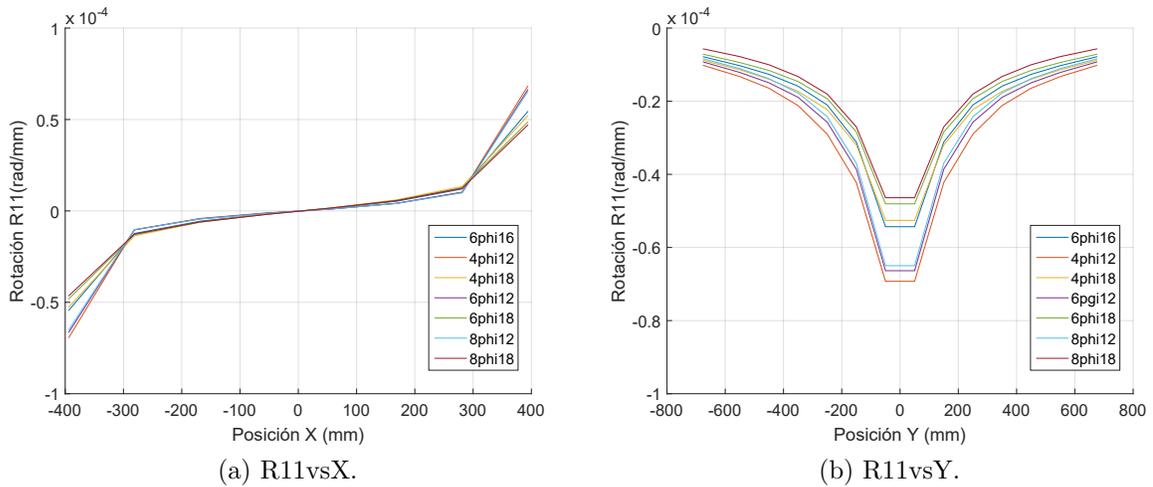


Figura 6.14: R11 a lo largo y ancho de la losa, para una deriva de 0.50%, modelos con armadura concentrada

6.3.2. Concentración de corte y momento

Es posible señalar para la concentración de corte y momento de los casos de armadura concentrada (Figuras 6.15 y 6.16), que estos son mayores mientras mayor es el diámetro de las barras utilizadas, siendo para un mismo tipo de barra mayor mientras mayor es la cantidad de barras. Se aprecia también para ambos esfuerzos que las deformaciones del hormigón a tracción, el hormigón a compresión y la fluencia del acero ocurren a menores derivas mientras menor es la cuantía utilizada, y similares rotaciones en todos los modelos.

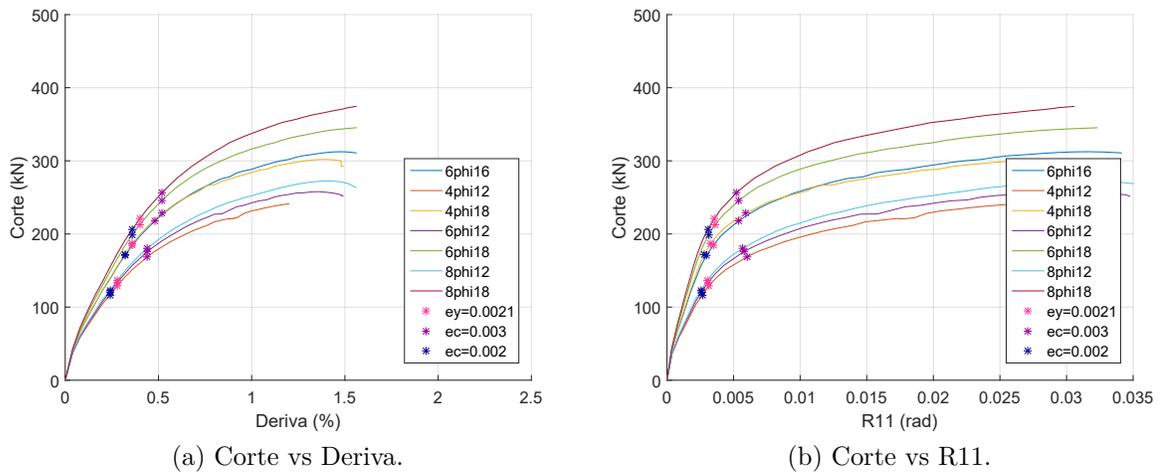


Figura 6.15: Concentración del corte en la zona de acoplamiento, modelos con armadura concentrada.

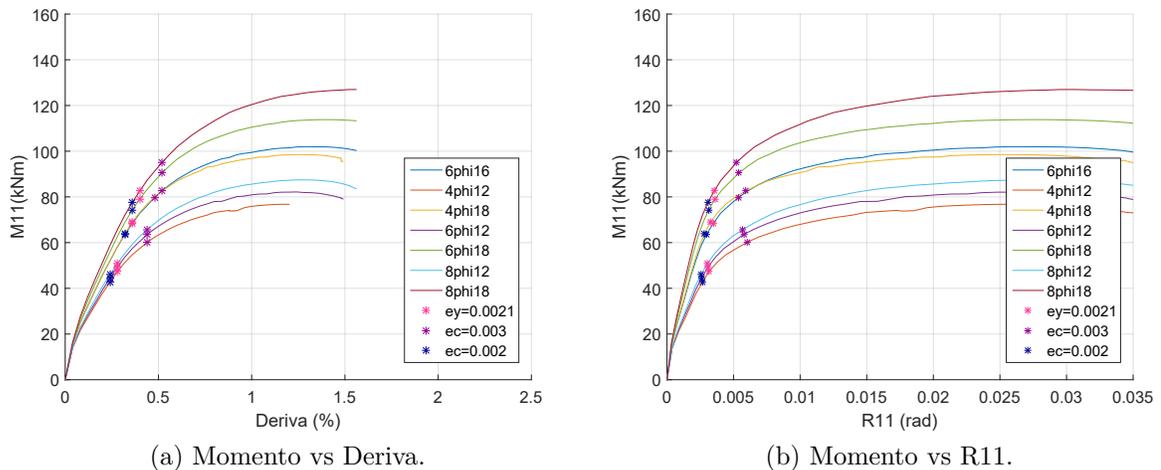
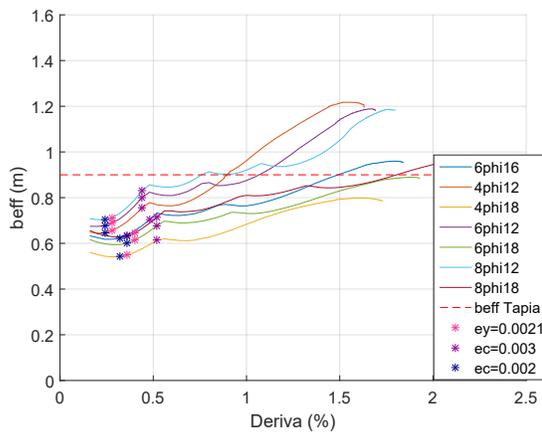


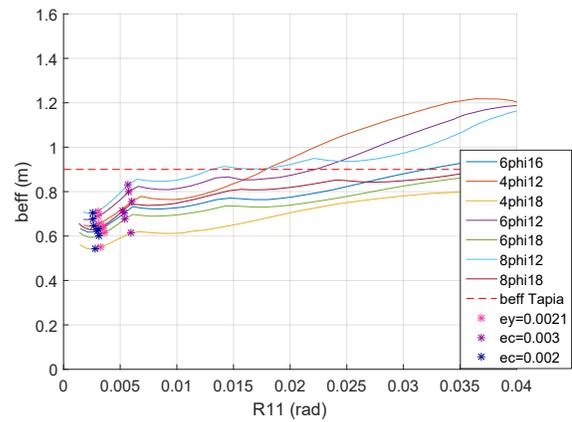
Figura 6.16: Concentración del momento en la zona de acoplamiento, modelos con armadura concentrada.

6.3.3. Ancho efectivo

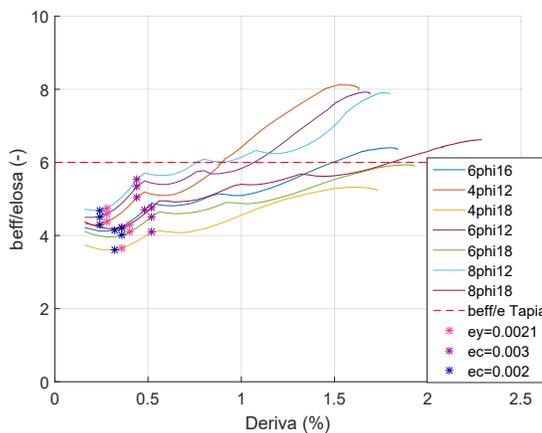
Para el ancho efectivo del caso de los modelos con armadura concentrada (Figura 6.17), este se encuentra entre los 0.8 y 1.2 [m] (5 y 8 espesores de losa), y se puede señalar que mientras mayor es el diámetro de la barra del refuerzo de losa menor es el ancho efectivo, pero entre barras de igual diámetro el ancho efectivo suele ser mayor para una mayor cantidad de barras, esto debido a que mientras menor es el diámetro el momento requiere distribuirse de mejor manera para soportar los esfuerzos, pero si existen barras competentes continuas se distribuirá de todas formas pero en menor medida.



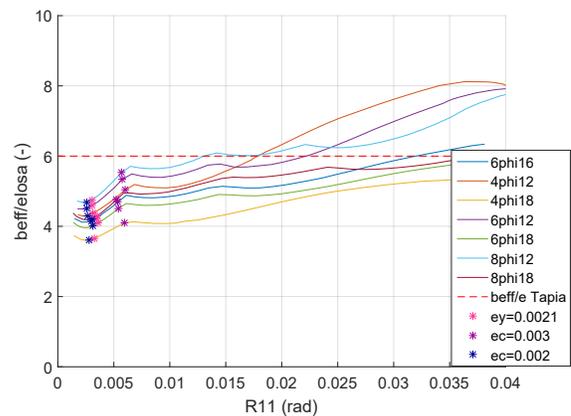
(a) b_{eff} vs Deriva.



(b) b_{eff} vs R11.



(c) b_{eff}/e_{losa} vs Deriva.



(d) b_{eff}/e_{losa} vs R11.

Figura 6.17: Ancho efectivo, modelos con armadura concentrada.

6.4. Comparación de modelos de 1 piso con armadura distribuida

6.4.1. Distribución de momento y rotación

En las Figuras 6.18 y 6.19 se observa la distribución de momento para el caso de los modelos con armadura distribuida, obteniendo que mientras mayor sea la cuantía mayores son los momentos a los que llega la losa. Es posible señalar también según los gráficos de M11vsY, que una vez que las barras centrales de refuerzo no son capaces de resistir lo que requieren debido a que superan su valor de fluencia se va generando un momento mayor en las barras que les siguen.

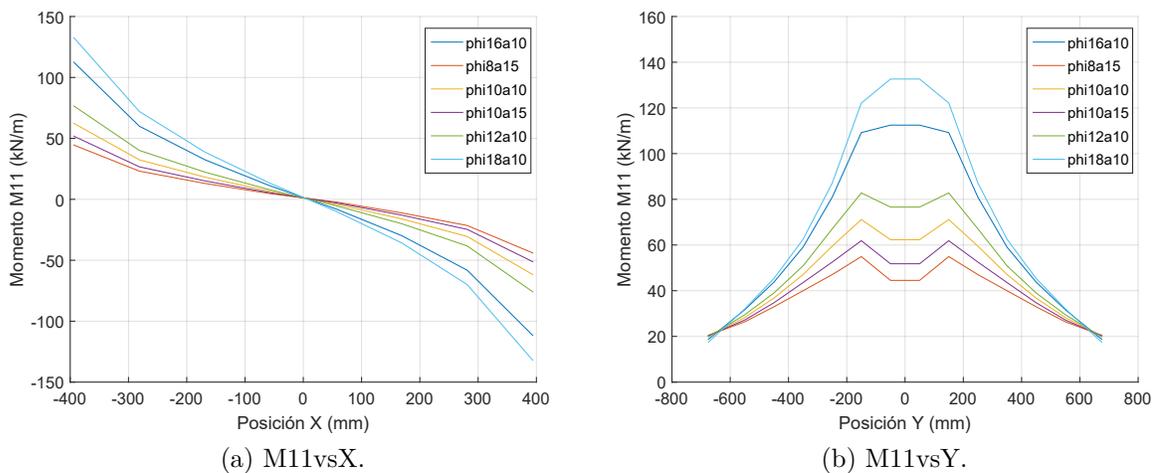


Figura 6.18: M11 a lo largo y ancho de la losa, para una deriva de 0.50 %, modelos con armadura distribuida.

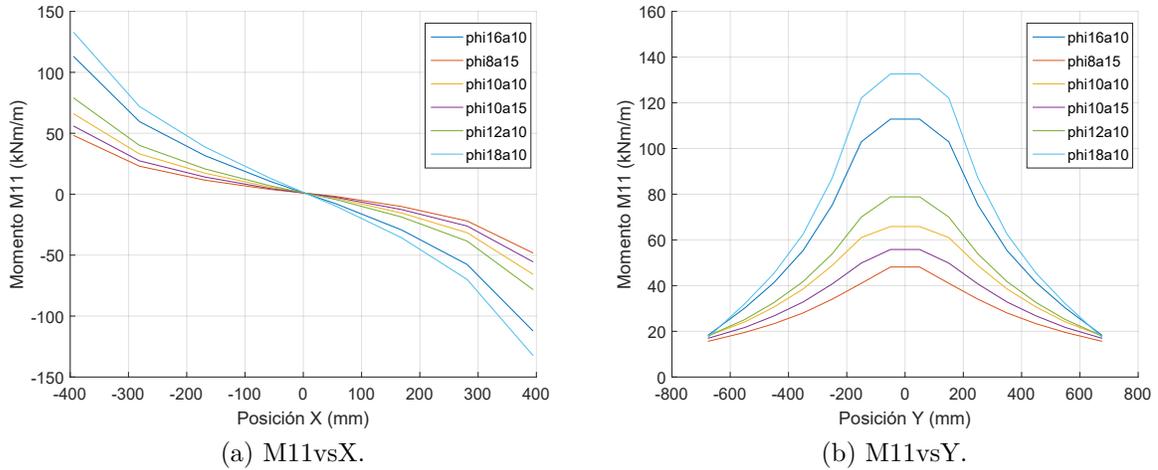


Figura 6.19: M11 a lo largo y ancho de la losa, para una rotación de 0.005 (rad), modelos con armadura distribuida.

De la distribución de rotación (Figura 6.20) se tiene que mientras mayor es la cuantía menor es la rotación, igual a lo observado anteriormente.

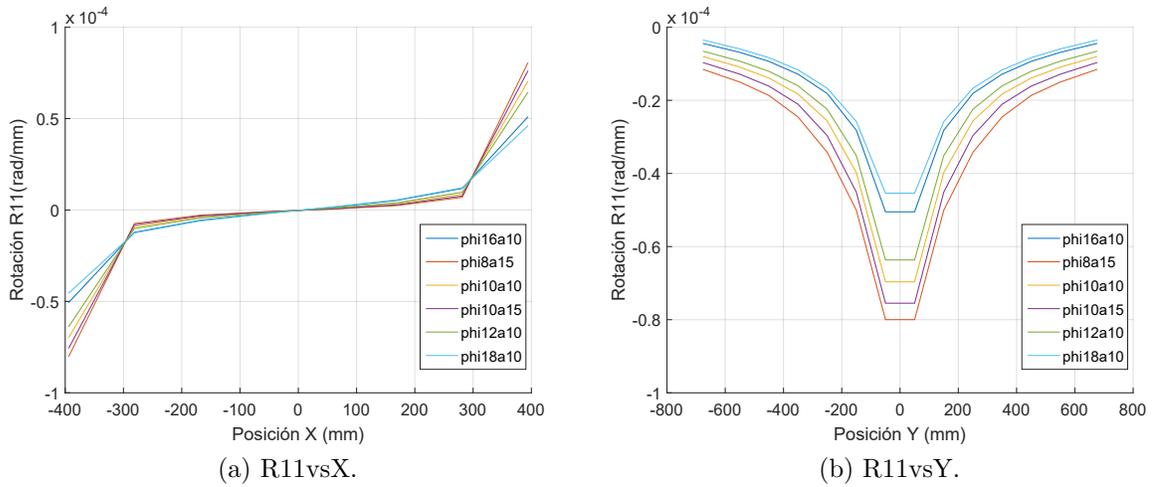


Figura 6.20: R11 a lo largo y ancho de la losa, para una deriva de 0.50%, modelos con armadura distribuida.

6.4.2. Concentración de corte y momento

Para los modelos con armadura distribuida (Figuras 6.21 y 6.22), las concentraciones de corte y momento cumplen que mientras mayor es la cuantía mayor es el esfuerzo transmitido de los muros a las losas, observándose la misma relación de las deformaciones que en el caso anterior, donde las deformaciones de compresión y tracción del hormigón y de fluencia del acero ocurren a menores derivas mientras menor es la cuantía utilizada, y para similares rotaciones.

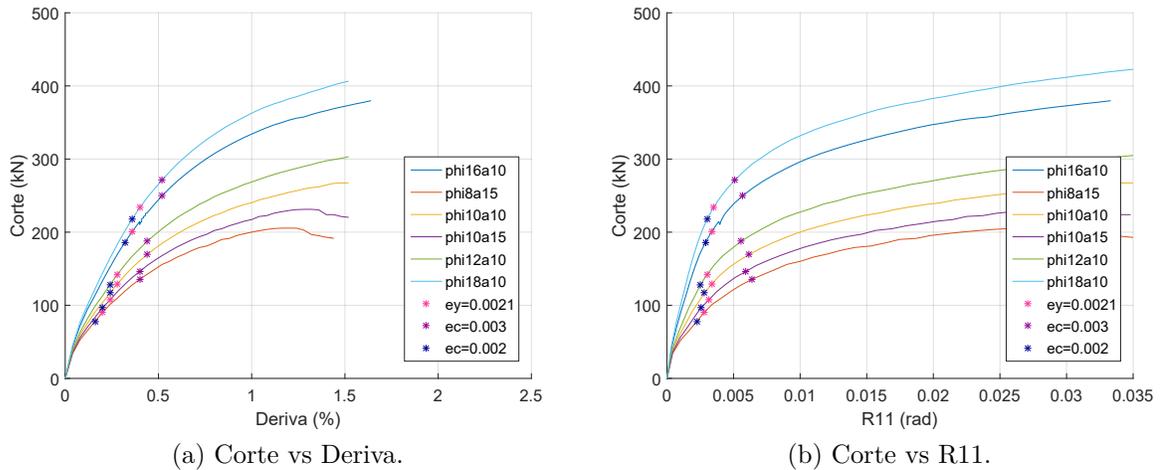


Figura 6.21: Concentración del corte en la zona de acoplamiento, modelos con armadura distribuida.

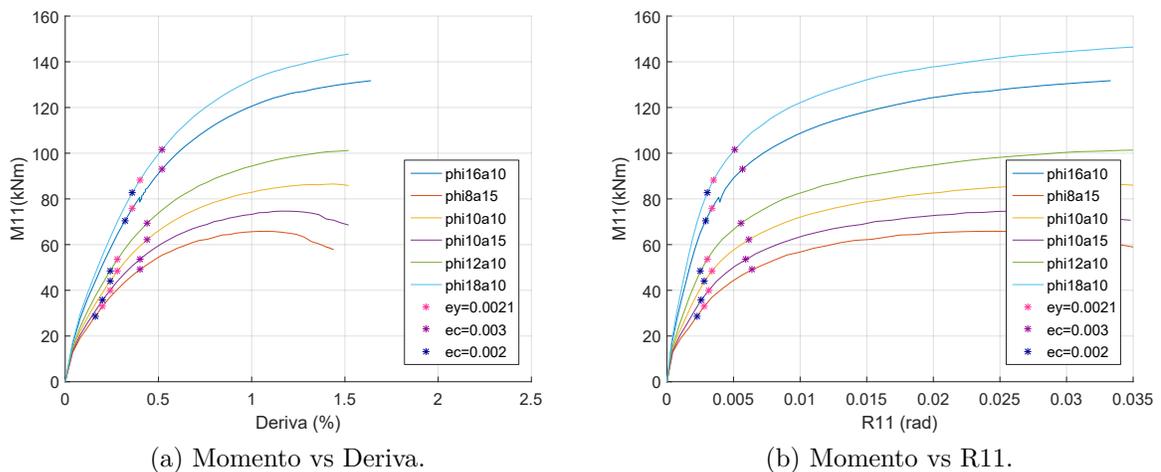
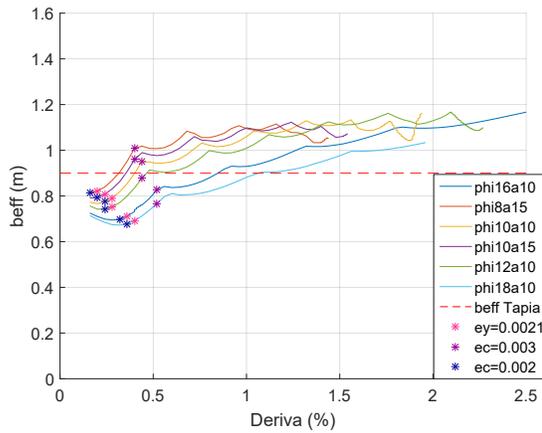


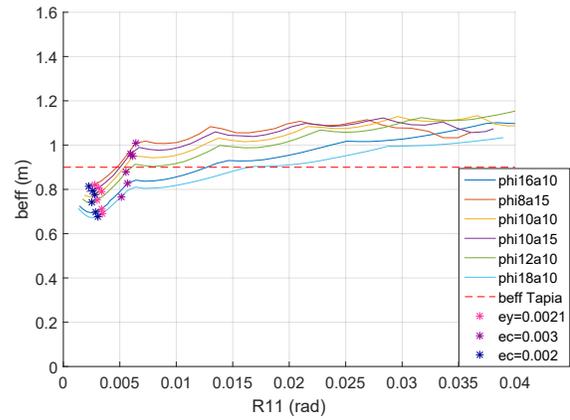
Figura 6.22: Concentración del momento en la zona de acoplamiento, modelos con armadura distribuida.

6.4.3. Ancho efectivo

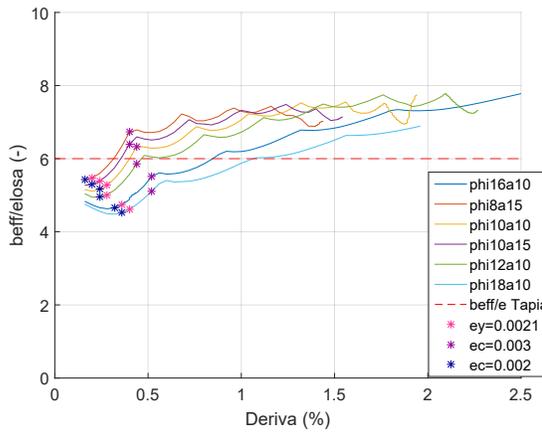
Del análisis de la Figura 6.23 para el ancho efectivo se tienen valores entre 1 y 1.2 [m], equivalente a 7 y 8 espesores de losa, ocurriendo que mientras mayor es la cuantía utilizada menor es el ancho efectivo, debido a que el momento se distribuirá en estas barras resistiendo así de mejor forma lo requerido.



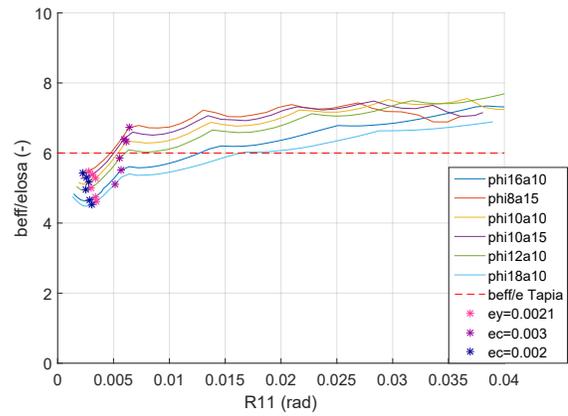
(a) b_{eff} vs Deriva.



(b) b_{eff} vs R11.



(c) b_{eff}/e_{losa} vs Deriva.



(d) b_{eff}/e_{losa} vs R11.

Figura 6.23: Ancho efectivo, modelos con armadura distribuida.

Capítulo 7

Conclusión

En este estudio se ha buscado analizar el comportamiento de losas que acoplan muros rectangulares de hormigón armado, lo cual se ha realizado haciendo modelos de elementos finitos, a través del programa SAFE-ToolBox, a los cuales se les ha aplicado un análisis del tipo *pushover* para posteriormente obtener los esfuerzos y deformaciones en la losa, realizando esto para distintos tipos de cuantías de armadura de refuerzo en estas. De esta forma se han llegado a conclusiones de acuerdo al comportamiento, la variación de momento y rotación, la concentración de esfuerzos y el ancho efectivo según cambia la cuantía utilizada, esperando con esto obtener ciertas recomendaciones de modelamiento y diseño.

Al comparar el modelo de 10 pisos con el de 1 piso con muros elástico, se observó que existe una tendencia a disminuir los esfuerzos a medida que aumenta el nivel del piso al igual que sus deformaciones para una misma deriva de piso, de igual forma a lo obtenido para los casos de concentración de momento y corte, pese a esto los esfuerzos del modelo de 1 piso generalmente presentan valores mayores que los del modelo de 10 pisos, mientras que para los anchos efectivos se tiene que el valor es similar a los obtenidos en los distintos pisos, lo cual se produce porque el modelo de 1 piso posee un menor estado de carga dado por el hecho de que las vigas que tiene actúan como puntales y por lo tanto no se traspasa de igual forma la carga a las losas. Debido a esto último, y a que en general el comportamiento es parecido, y siguen la misma tendencia para distintos parámetros, el modelo de 1 piso es capaz de representar a modelos con mayor cantidad de pisos, pero de forma conservadora.

En los modelos de 1 piso se pudo apreciar que los esfuerzos son mayores a medida que aumenta el diámetro de la barra o la cuantía, para los casos de armadura concentrada y distribuida respectivamente, siendo al contrario a lo que ocurre con las deformaciones como la rotación. Es posible notar también en los modelos de armadura concentrada que para los modelos de igual diámetro de barra el adicionar barras de refuerzo no produce un cambio sig-

nificativo en los esfuerzos resistentes y en el ancho efectivo, lo cual concuerda al observar que no hay una gran diferencia en cuanto al corte y momento resistente en la losa si se comparan estos modelos con otro de igual diámetro de barra y armadura distribuida. De esta forma se deduce que el método de colocar armadura de refuerzo de forma concentrada en el centro de la losa, que es lo comúnmente utilizado hoy en día en las oficinas de cálculo en Chile, es más eficiente que el colocar armadura distribuida dado que se ocupa menor cantidad de barras de acero logrando una misma resistencia.

Del análisis de la tipología de edificios chilenos se obtuvo que la armadura más usual en el refuerzo de losa es la de $6\phi 16$, la cual al comparar los esfuerzos transmitidos de corte y momento para los casos con armadura concentrada se observa que el modelo con armadura $4\phi 18$ posee similares valores de esfuerzos que los obtenidos para este modelo base, 310 [kN] y 100[kNm] para corte y momento respectivamente. Es posible deducir de esto, que el modelo anteriormente mencionado muestra similar comportamiento y resistencia que el modelo con refuerzo de $6\phi 16$, en donde el modelo con armadura $4\phi 18$ tiene una cuantía de 0.0169 asignados en 400 [mm] de losa, por lo que en cuanto a temas de diseño es posible utilizar una armadura de refuerzo similar a este caso, lo que en términos de acero total es menor a lo generalmente utilizado, una cuantía de 0.0134 distribuida en 600 [mm].

En cuanto a la modelación para realizar las estructuras de 1 piso se recomienda utilizar vigas rígidas sobre, bajo y entre los muros para poder generar un movimiento similar de la rotación de los muros al que se produce en edificios con mayor cantidad de pisos. Otra observación es que debido a los tiempos de análisis, no se recomienda realizar un mallado con elementos muy pequeños, que si bien esto puede aportar una mayor precisión, provoca un gasto de tiempo excesivo, lo que se relaciona con que debido a las limitaciones computacionales producidas por la memoria RAM disponible y el tiempo requerido no se ha podido realizar el estudio utilizando modelos de edificios con gran altura, considerando en estos la armadura de los muros y la realización de un *pushover* cíclico, como se tenía previsto en un principio.

Cabe destacar que para la realización de los modelos se han considerados los valores más comunes en cuanto a geometría y cuantía, y luego se ha cambiado solo la armadura de refuerzo, y en base a esto se han comparado los modelos. En cuanto a los muros se mantuvieron sus características, al igual que la geometría de la losa, por lo que no ha sido posible analizar que efecto genera las propiedades de los muros sobre las losas.

Debido a lo anteriormente señalado, queda propuesto para futuros estudios realizar estos análisis haciendo variaciones en la longitud del muro, espesor y armadura, y cambios en la geometría de la losa tal como su espesor.

Glosario

α_i	: Coeficiente de daño
@	: Intervalo de disposición
β_{conf}	: Coeficiente de confinamiento
b_{eff}	: Ancho efectivo
E_s	: Modulo de Young del acero
E_{c0}	: Rigidez inicial del hormigón
ε_c	: Deformación a compresión del hormigón
ε_{c0}	: Deformación máxima a compresión del hormigón
ε_{cr}	: Deformación máxima a tracción del hormigón
ε_m^c	: Deformación máxima anterior a compresión del hormigón
ε_m^t	: Deformación máxima anterior a tracción del hormigón
ε_p^c	: Deformación plástica a compresión del hormigón
ε_p^t	: Deformación plástica a tracción del hormigón
f'_c	: Resistencia mínima a compresión del hormigón
f_{cr}	: Resistencia máxima a compresión del hormigón
f_y	: Esfuerzo de fluencia del acero
ρ_s	: Cuantía del acero
ϕ	: Diámetro de la barra
ν	: Coeficiente de Poisson
N°	: Número de barras
k	: Valor calibrado experimentalmente
n	: Valor calibrado experimentalmente

Bibliografía

- [1] ACI COMMITTEE 318. 2008. building Code Requirements for Structural Plain Concrete (ACI 318-08). Detroit, MI, USA, American Concrete Institute.
- [2] Instituto Nacional de Normalización. Diseño Sísmico de Edificios. NCh433.Of.96. Mod.2009.
- [3] Zúñiga Pinto, M. (2004). Influencia de la Flexión Transversal de Losas en Edificios de Muros de Hormigón Armado. Tesis Universidad de Chile.
- [4] Tapia Pérez, S. (2008). Influencia de la Flexión Transversal y de la Resistencia de la Losa en Edificios Estructurados con Muros de Hormigón Armado. Tesis Universidad de Chile.
- [5] Estay Díaz, C. (2008). Características de Muros de Hormigón Armado Diseñados en Chile. Tesis Universidad de Chile.
- [6] Coull, A., F. ASCE and Yang, W. (1983). Design of Floor Slabs Coupling Shear Walls. Journal of Structural Engineering, Vol. 109, No. 1, January, 1983, pp 109-125.
- [7] Schwaighofer, J. and Collins, M. (1977). Experimental Study of the Behavior of Reinforced Concrete Coupling Slabs. ACI Journal Title No. 74-12, March, 1977, pp 123-127.
- [8] Surumi R.S., Greeshman S. and Jaya K.P. (2012). Reinforced Concrete Structural Wall-Floor Slab Connection-State of the Art. Indian Society of Earthquake Technology (ISET), Paper No. D023, October, 2012.
- [9] Paulay, T. and Taylor, R. (1981). Slab Coupling of Earthquake-Resisting Shearwalls. ACI Journal Title No. 78-11, April, 1981.
- [10] Rojas, F., Anderson, J. and Massone, L. (2016). A nonlinear quadrilateral layered membrane element with drilling degrees of freedom for the modeling of reinforced concrete walls. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- [11] Castro, F. (2017). Comparación de la respuesta experimental y analítica de muros rectangulares de hormigón armado. Tesis Universidad de Chile.

- [12] Massone, L., Orakcal, K. and Wallace, JW (2009). Modelling of squat structural walls controlled by shear. ACI Structural Journal Title No. 106-S60, September 2009, pp 646-655.
- [13] Razvi S. and Saatcioglu M. Confinement model for high-strength concrete. Journal of Structural Engineering, March 1999.
- [14] Silva Torres M. (2016). Estudio analítico del confinamiento y la cuantía de borde en el comportamiento de muros T. Diseño de montaje experimental para el ensayo de éstos. Tesis Universidad de Chile.
- [15] Suquillo Ronquillo B.(2017). Validación de los límites para distintos niveles de desempeño en edificios con muros de hormigón armado (Typical chilean RC building). Tesis Universidad de Chile.
- [16] Shakeri, K., Shayanfar, M., and Kabeyasawa, T.(2009). A story shear-based adaptive pushover for procedure for estimating seismic demands of buildings. Ardabil, University of Mohaghegh, Faculty of Engineering.
- [17] Barrera, F. (2018). Estudio del impacto del confinamiento en la vulnerabilidad de muros T de hormigón armado en edificios en Chile. Tesis Universidad de Chile.
- [18] Santos, H. (2018). Estudio numérico de la respuesta de sistemas de muros de hormigón armado acoplados y diseño experimental para su validación. Tesis Universidad de Chile.
- [19] Hernández, A. (2015). Cumplimiento de la hipótesis de Bernoulli en secciones compuestas de muros de hormigón armado. Tesis Universidad de Chile.
- [20] Paulay, T. (2002). The displacement capacity of reinforced concrete coupled walls. Engineering structures.

Apéndice A

Propiedades de los materiales

Tabla A.1: Propiedades del hormigón.

Propiedad		Valor
Densidad	ρ	2500 [kg/m ³]
Coefficiente de Poisson	ν	0.2 [-]
Resistencia máxima a la compresión	f'_c	25 [MPa]
Módulo de elasticidad	E_c	23500 [MPa]
Resistencia a tracción	f_{cr}	1.55 [MPa]
Deformación unitaria en f'_c (no confinado)	$\varepsilon(f'_c)$	0.002 [mm/mm]
Deformación unitaria en f'_{cc} (confinado)	$\varepsilon(f'_{cc})$	0.0065 [mm/mm]
Deformación unitaria en f_{cr} (tracción)	$\varepsilon(f_{cr})$	0.00008 [mm/mm]

Tabla A.2: Propiedades del acero.

Propiedad		Valor
Módulo de Elasticidad	E_s	200000 [MPa]
Tensión de fluencia	F_y	420 [MPa]
Deformación unitaria en la fluencia	$\varepsilon(F_y)$	0.0021 [mm/mm]
Pendiente post fluencia	b_o	0 [-]
Reducción de la fluencia	rF_y	0.85 [-]

Apéndice B

Representación del comportamiento de la losa

B.1. Modelo de estudio

Con el fin de comprobar si el programa SAFE-ToolBox es capaz de representar el comportamiento de la losa, se ha realizado un modelo considerando el Tramo 1 de la losa, con iguales características en cuanto a dimensiones, cuantías (Tabla 4.2 y Figura 4.2) y propiedades de los materiales. Esta ha sido empotrada en uno de sus extremos, mientras que en el otro se ha ido aplicando una carga vertical creciente (Figura B.1) hasta alcanzar aproximadamente un desplazamiento de 25 [mm] en este borde.

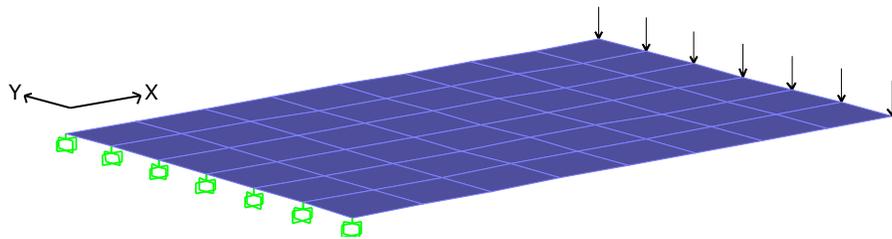


Figura B.1: Modelo de verificación del comportamiento de la losa.

Como se observa en la Figura B.1, se ha realizado un mallado en 6 columnas y 8 filas, en donde los elementos poseen una razón máxima de 1:1 entre su largo y ancho, siendo la máxima dimensión de 112.5 [mm], generando así un modelo compuesto de 48 elementos.

B.2. Resultados

B.2.1. Conservación de esfuerzos

Para verificar que la fuerza y momento aplicados se conservan se han comparado con las reacciones en los apoyos, obteniendo así los gráficos de las Figuras B.2 y B.3, donde se observa que el comportamiento es similar a medida que aumenta el desplazamiento al menos hasta la fluencia, luego de este punto se presentan ciertas diferencias pero se mantiene la misma tendencia.

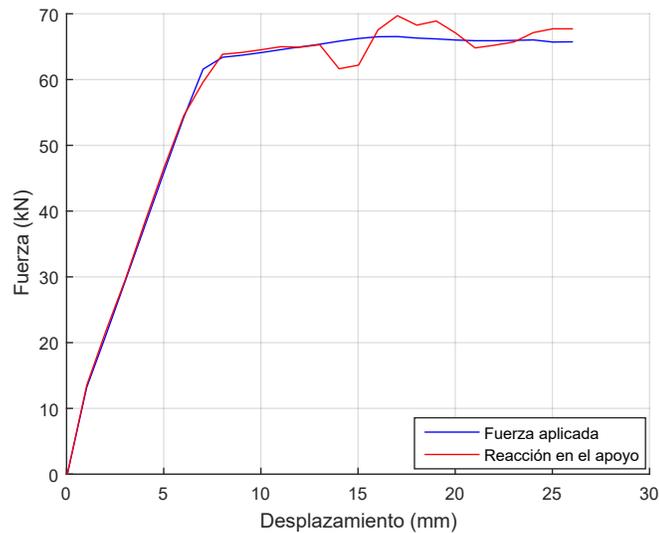


Figura B.2: Comparación de fuerza aplicada y reacción en el apoyo.

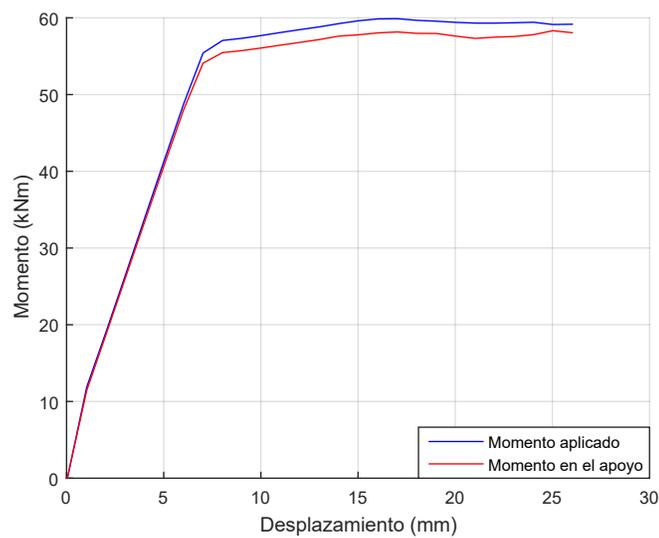


Figura B.3: Comparación de momento aplicado y momento en el apoyo.

B.2.2. Momento de fluencia

Se calculó el momento de fluencia través del gráfico de momento-curvatura (Figura B.4) obteniendo un valor de 54.22 [kNm], y se ha comparado con el que entrega el modelo al graficar el momento vs el desplazamiento vertical en el extremo de la losa (Figura B.5), notando así que el valor obtenido del modelo es cercano al calculado.

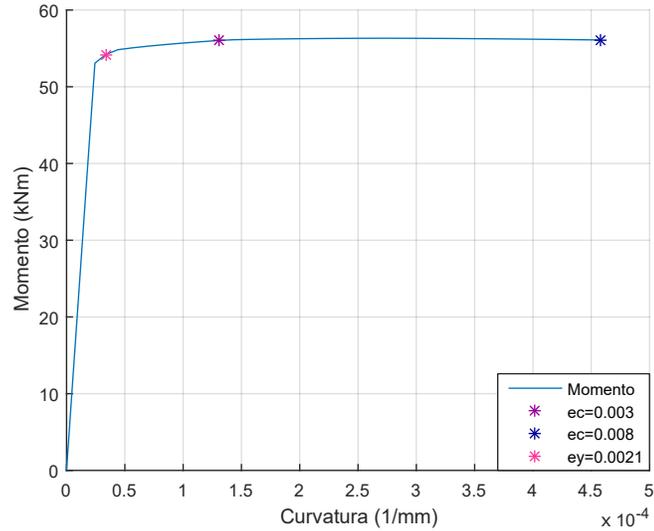


Figura B.4: Momento-Curvatura.

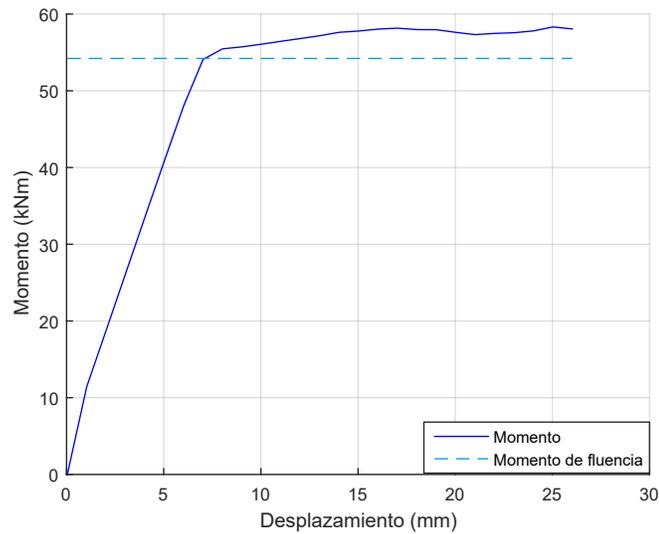


Figura B.5: Comparación momentos de fluencia.

B.2.3. Distribución de momento

El análisis de la distribución del momento se ha realizado graficando el momento a lo largo de la dos direcciones, como se observa en las Figuras B.6 y B.7, en donde en la primera es posible notar que pasado de los 10 [mm] de desplazamiento vertical la losa ya ha superado el valor de fluencia de 81.8 [kNm] alcanzando un valor de 89.53 [kNm], lo que concuerda con el segundo de estos gráficos, donde a lo ancho en el sector del empotramiento se observa que el momento no posee grandes cambios y se encuentra cercano al valor mencionado, además luego de la fluencia el momento aumenta de forma más lenta.

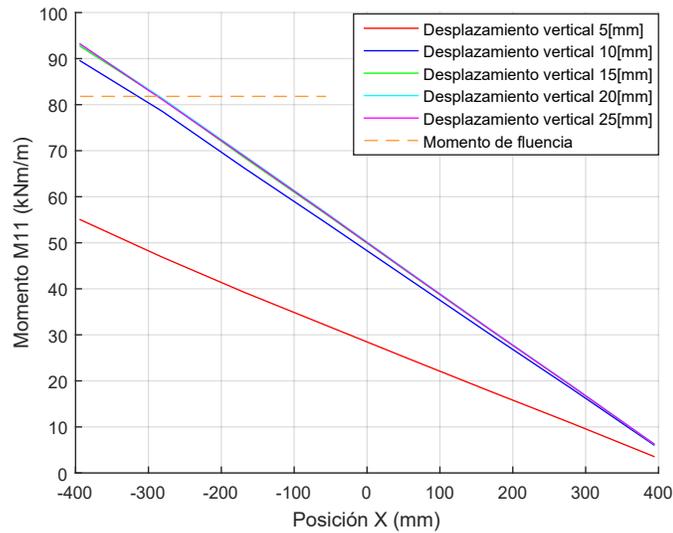


Figura B.6: Momento a lo largo de la losa para distintos desplazamientos.

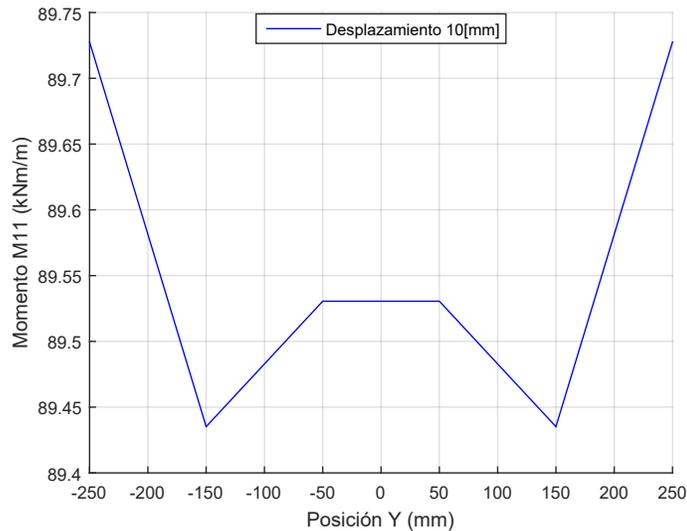


Figura B.7: Momento a lo ancho de la losa en el empotramiento para un desplazamiento de 10 [mm].

Como era de esperarse el máximo momento ocurre en el empotramiento y luego disminuye a lo largo de la losa, esto último es posible analizarlo con una distribución de momento como se presenta en la Figura B.8, notando además de que en cada sección a lo ancho de la losa el momento tiene valor cercanos entre sí.

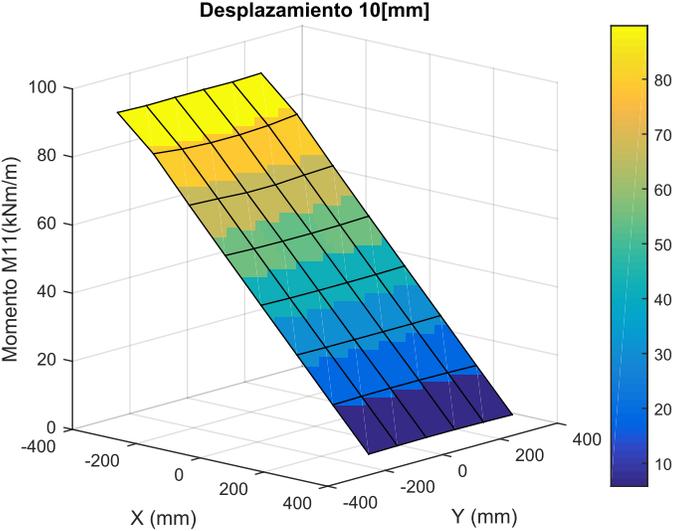


Figura B.8: Distribución de momento en la losa para un desplazamiento de 10 [mm].

Apéndice C

Resultados modelo de 1 piso con muros elásticos

C.1. Respuesta *pushover*

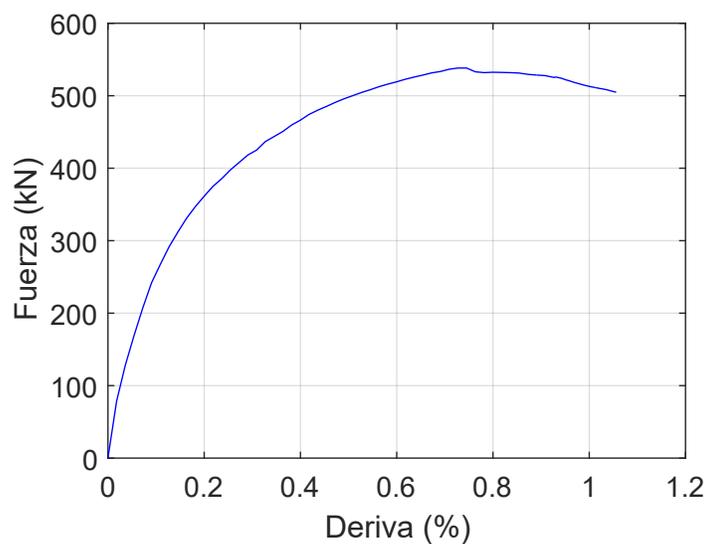
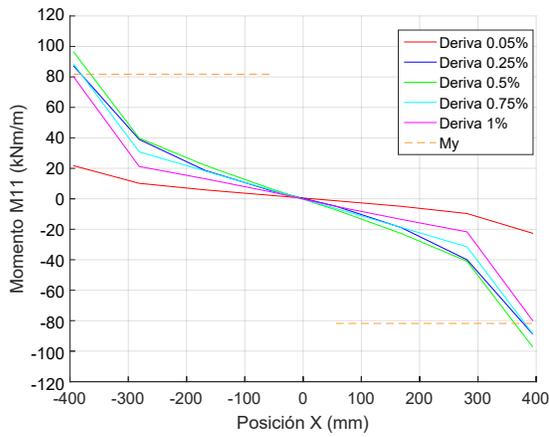
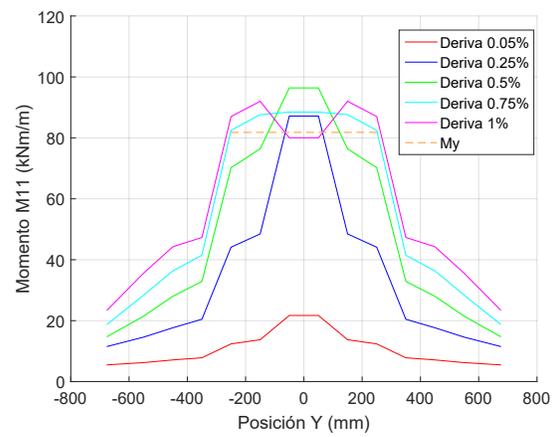


Figura C.1: Histéresis modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.

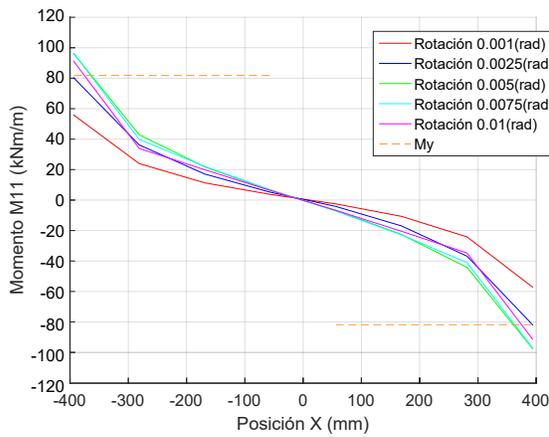
C.2. Distribución de momento y rotación



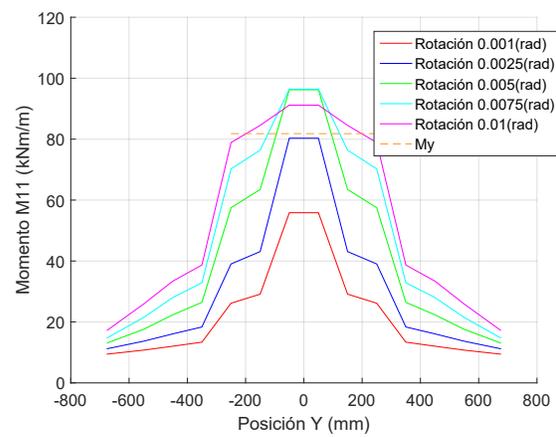
(a) M11vsX, para diferentes derivas.



(b) M11vsY, para diferentes derivas.

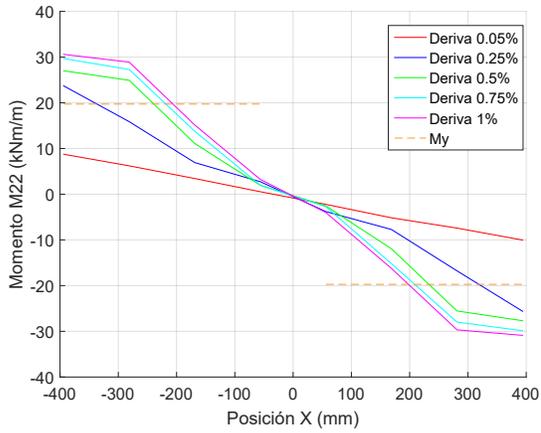


(c) M11vsX, para diferentes rotaciones.

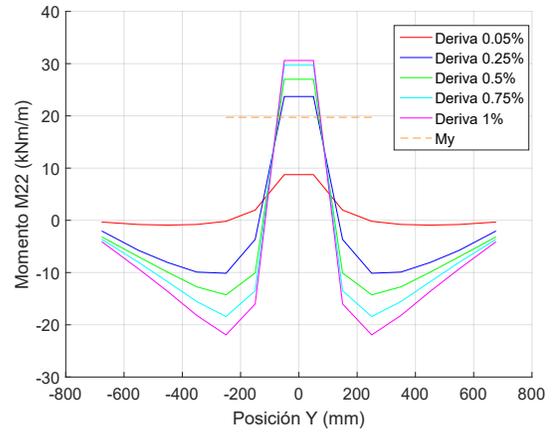


(d) M11vsY, para diferentes rotaciones.

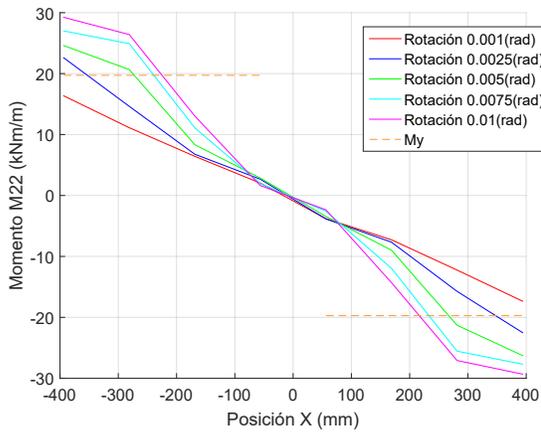
Figura C.2: M11 a lo largo y ancho de la losa, modelo $6\phi 16$ con muros elásticos.



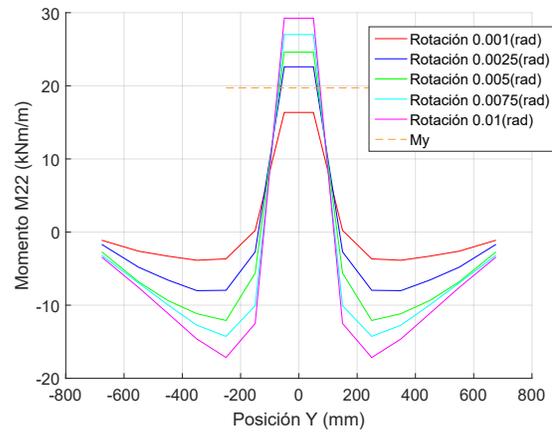
(a) M22vsX, para diferentes derivas.



(b) M22vsY, para diferentes derivas.

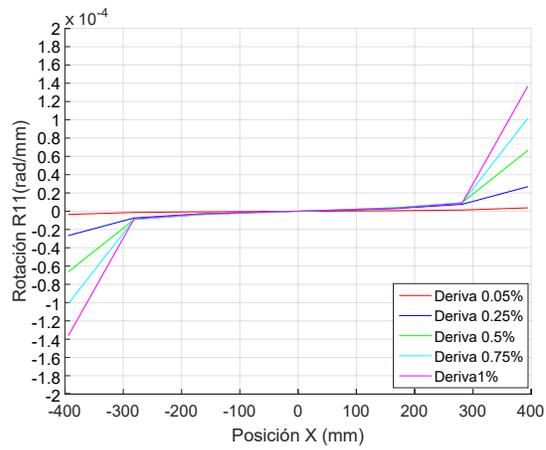


(c) M22vsX, para diferentes rotaciones.

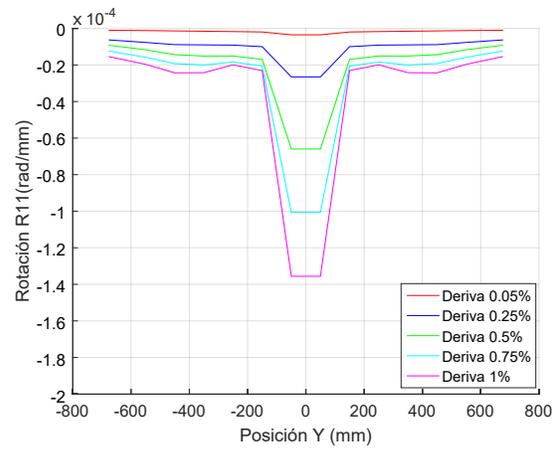


(d) M22vsY, para diferentes rotaciones.

Figura C.3: M22 a lo largo y ancho de la losa, modelo $6\phi 16$ con muros elásticos.

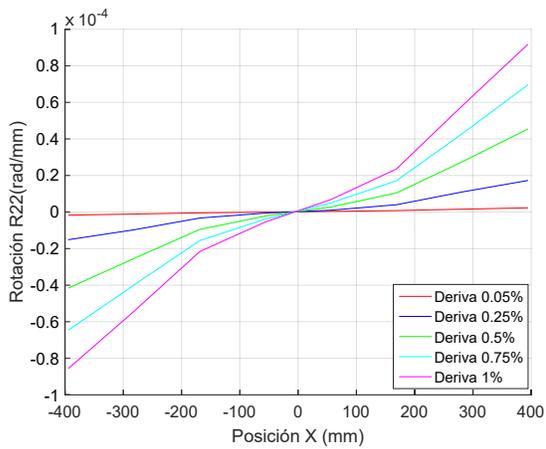


(a) R11vsX

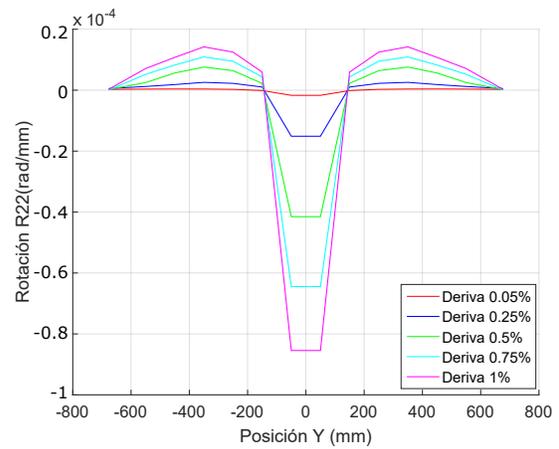


(b) R11vsY

Figura C.4: R11 a lo largo y ancho de la losa, modelo $6\phi 16$ con muros elásticos.



(a) R22vsX



(b) R22vsY

Figura C.5: R22 a lo largo y ancho de la losa, modelo $6\phi 16$ con muros elásticos.

C.3. Esfuerzos resultantes

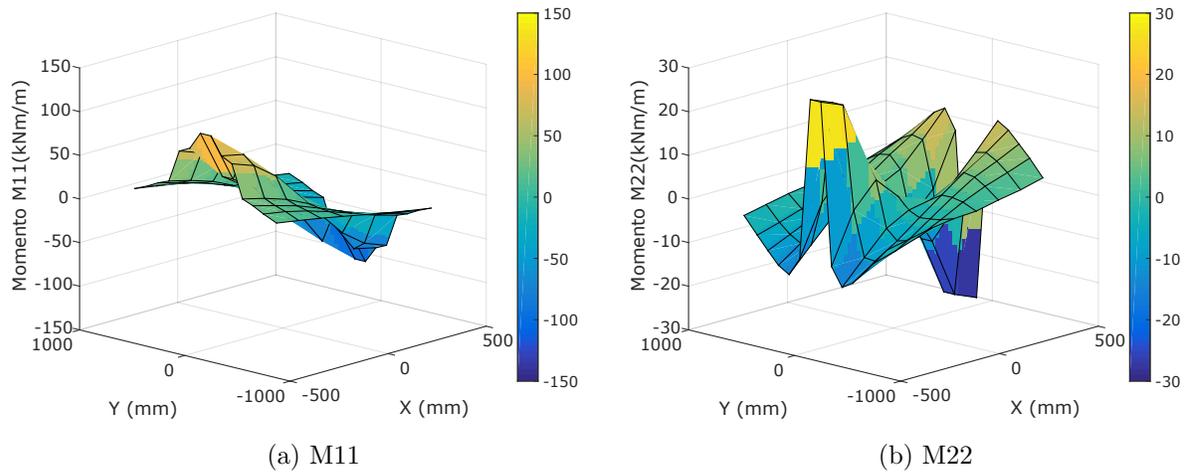


Figura C.6: Momento de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.

C.4. Deformación resultante

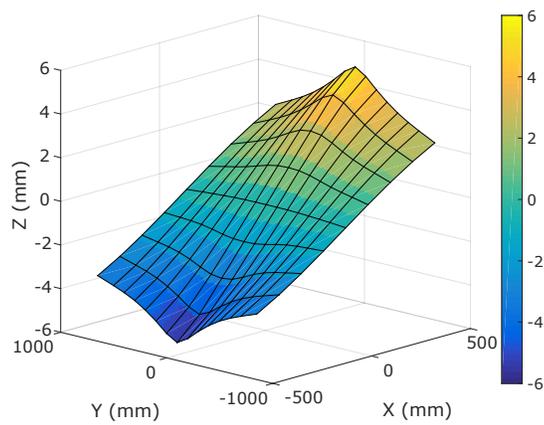


Figura C.7: Deformación de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.

C.5. Deformaciones unitarias

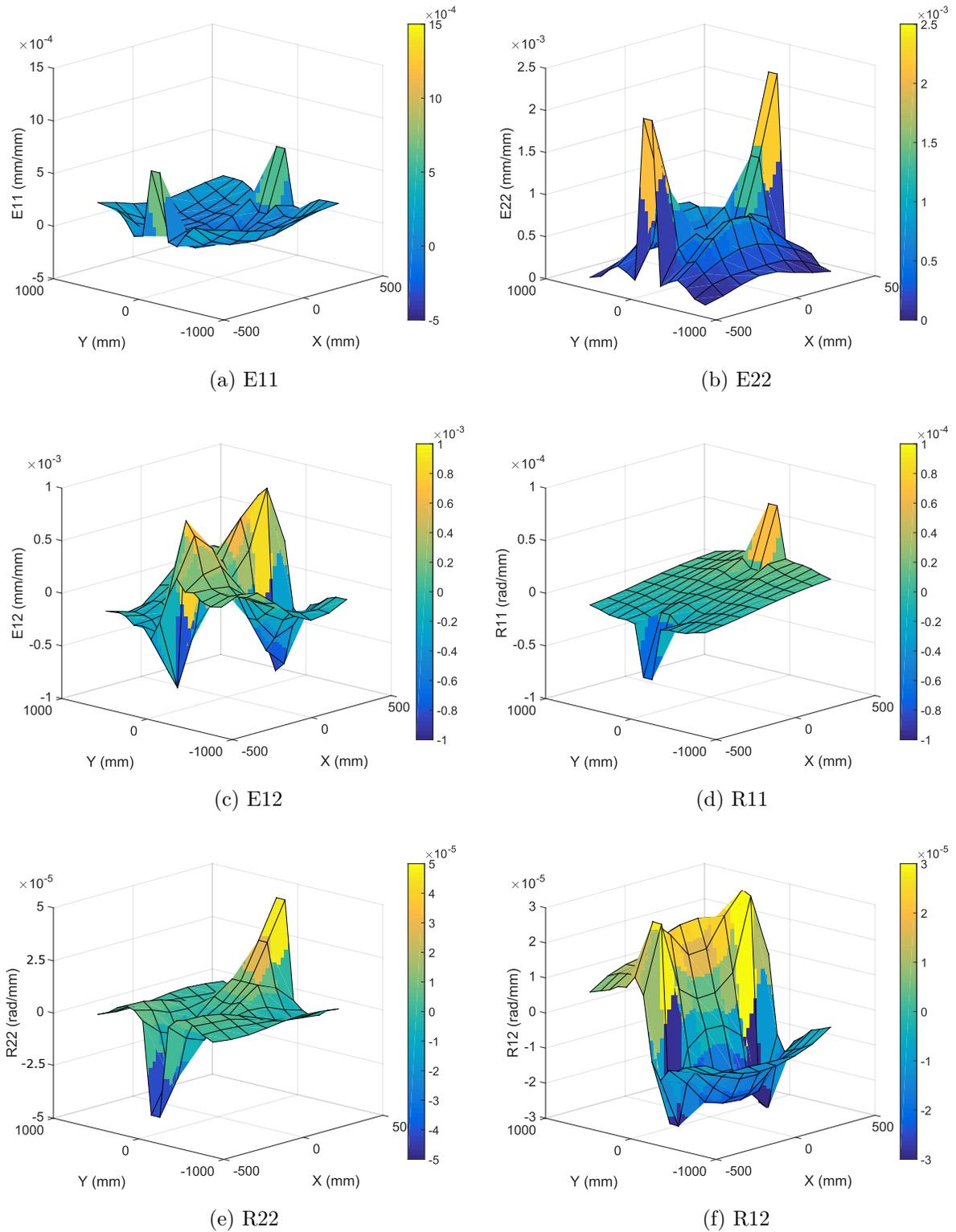


Figura C.8: Deformaciones unitarias de la losa para una deriva de 0.50%, modelo 6 ϕ 16 con muros elásticos.

C.6. Concentración de corte y momento

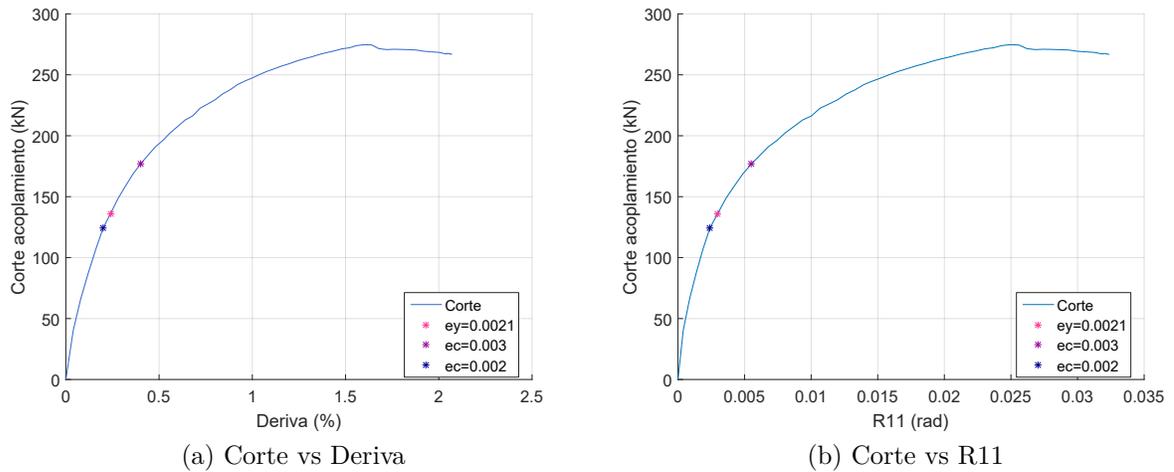


Figura C.9: Concentración del corte en la zona de acoplamiento, modelo $6\phi 16$ con muros elásticos.

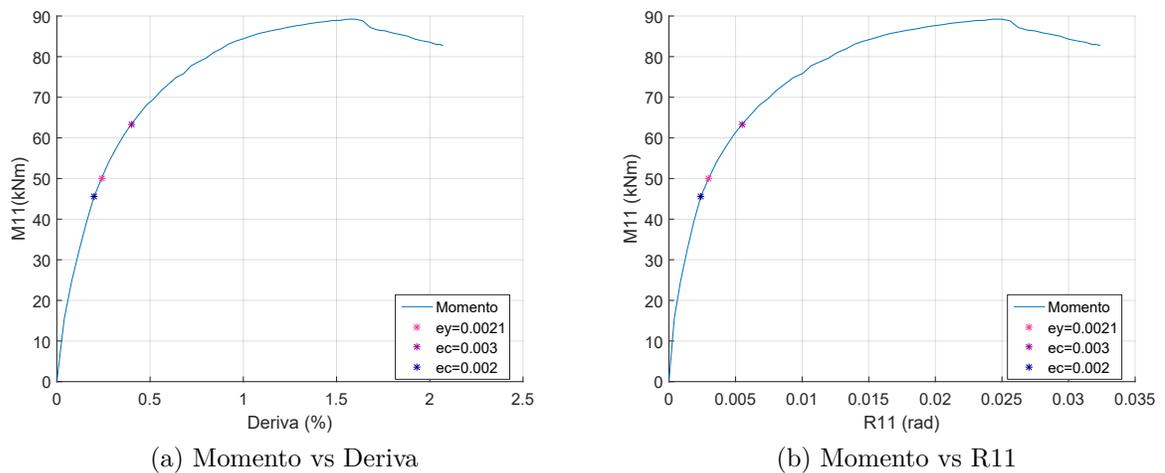
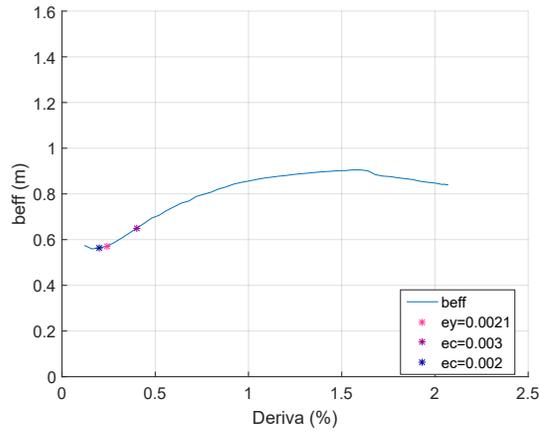
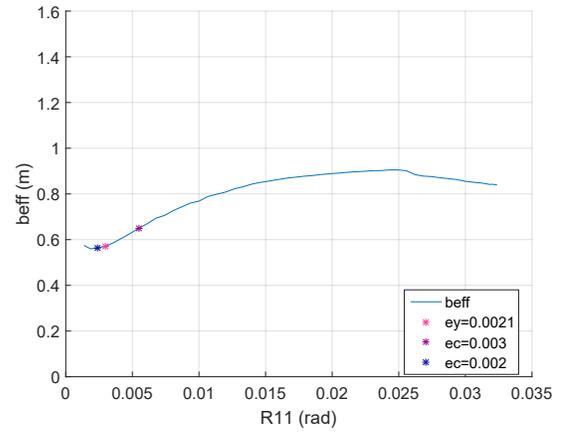


Figura C.10: Concentración del momento en la zona de acoplamiento, modelo $6\phi 16$ con muros elásticos.

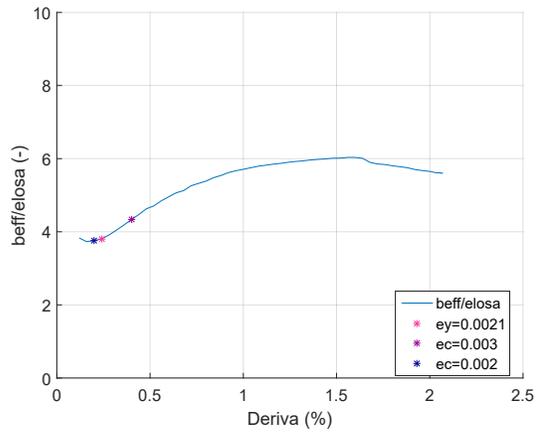
C.7. Ancho efectivo



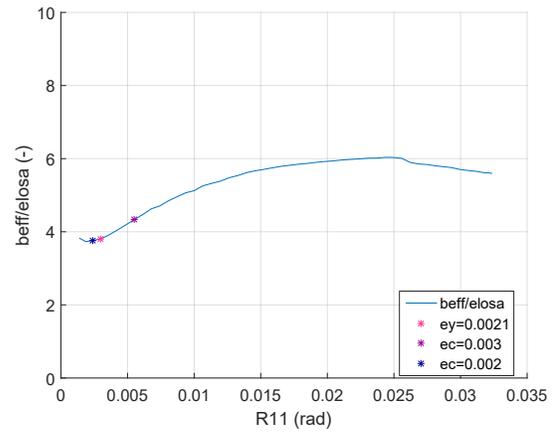
(a) b_{eff} vs Deriva



(b) b_{eff} vs R11



(c) b_{eff}/e_{losa} vs Deriva



(d) b_{eff}/e_{losa} vs R11

Figura C.11: Ancho efectivo, modelo $6\phi 16$ con muros elásticos.

Apéndice D

Resultados modelo de 10 pisos

D.1. Respuesta pushover

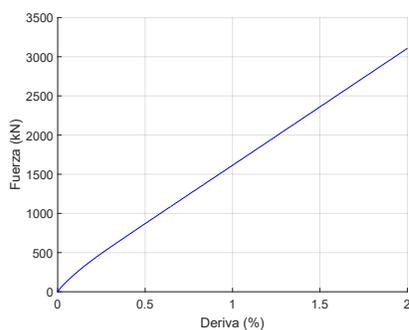


Figura D.1: Histéresis.

D.2. Grado de acoplamiento

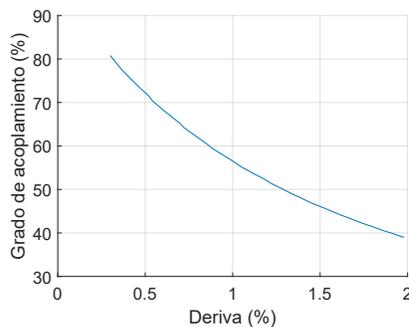
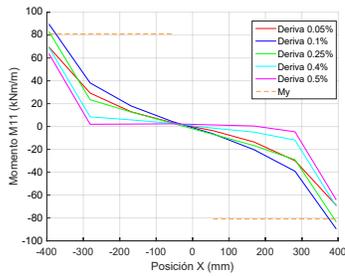
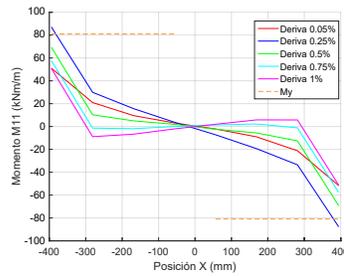


Figura D.2: Grado de acoplamiento.

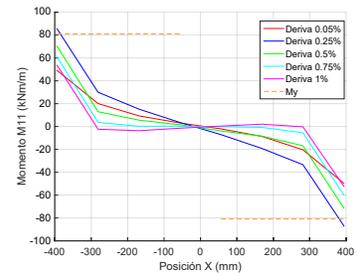
D.3. Distribución de momento y rotación



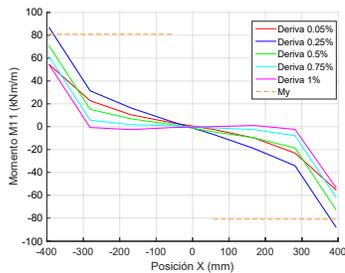
(a) Piso 1.



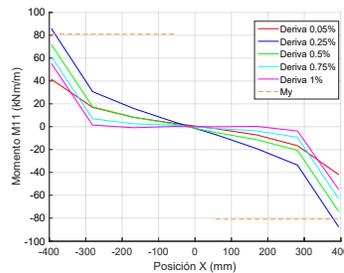
(b) Piso 2.



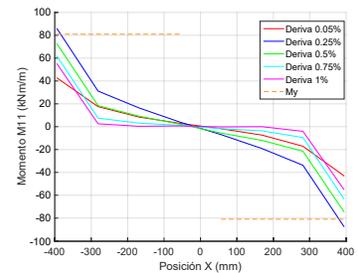
(c) Piso 3.



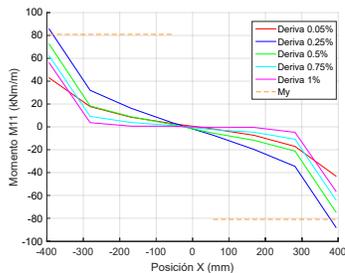
(d) Piso 4.



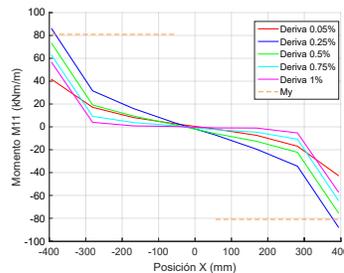
(e) Piso 5.



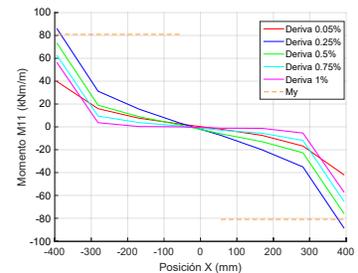
(f) Piso 6.



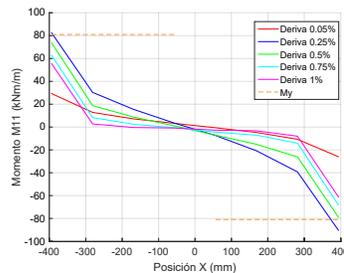
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

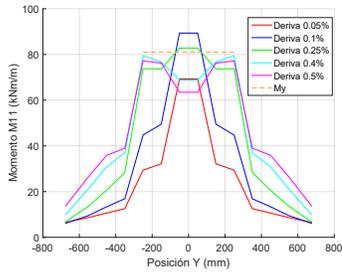


(i) Piso 9.

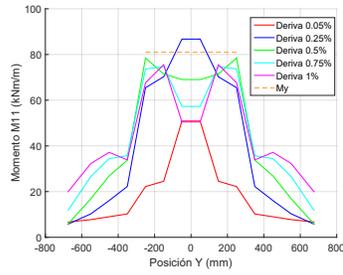


(j) Piso 10.

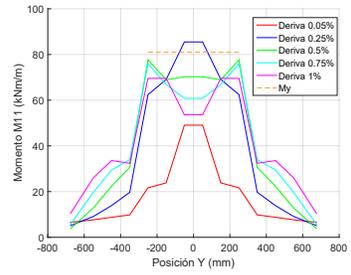
Figura D.3: M11 vs X.



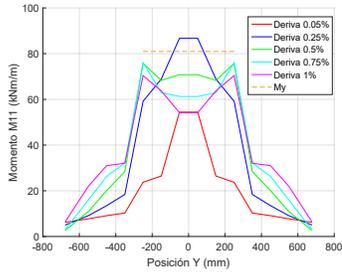
(a) Piso 1.



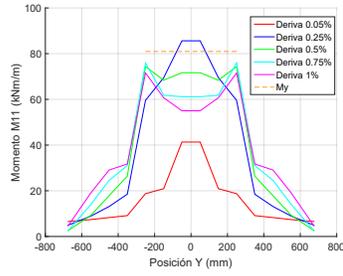
(b) Piso 2.



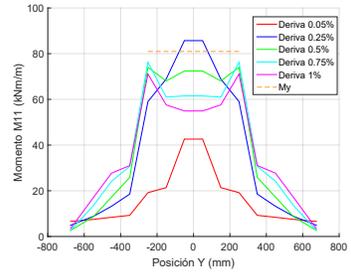
(c) Piso 3.



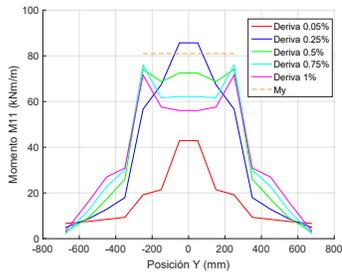
(d) Piso 4.



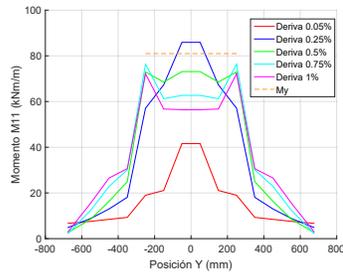
(e) Piso 5.



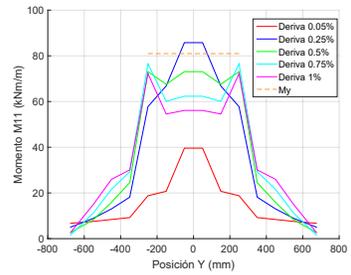
(f) Piso 6.



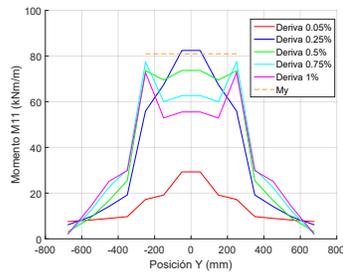
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

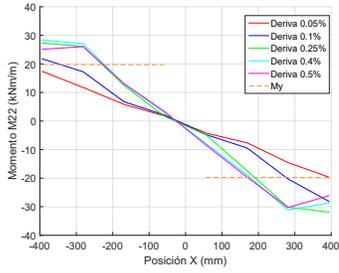


(i) Piso 9.

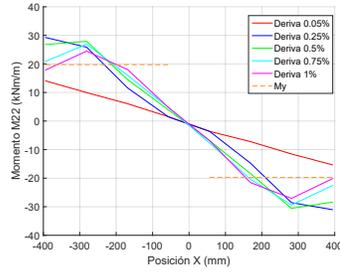


(j) Piso 10.

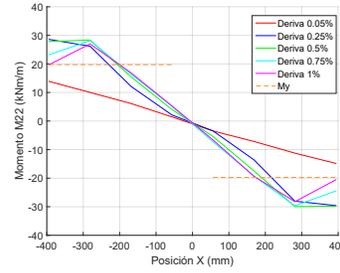
Figura D.4: M11 vs Y.



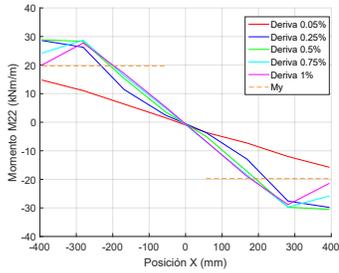
(a) Piso 1.



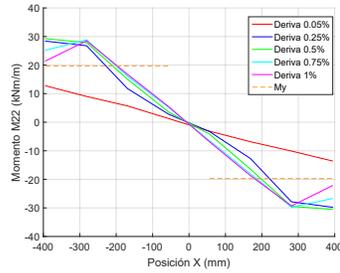
(b) Piso 2.



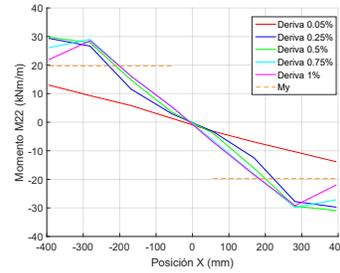
(c) Piso 3.



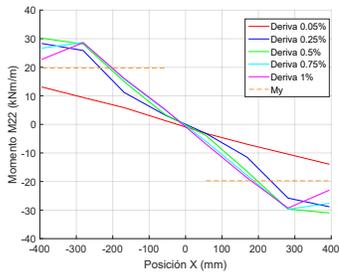
(d) Piso 4.



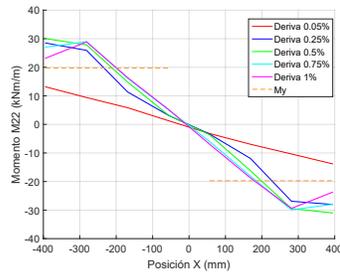
(e) Piso 5.



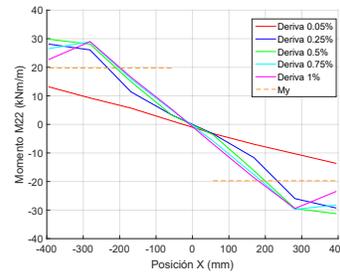
(f) Piso 6.



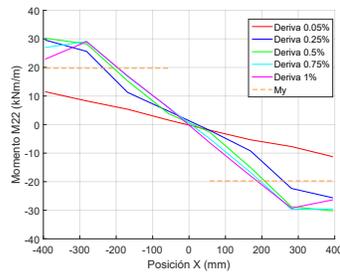
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

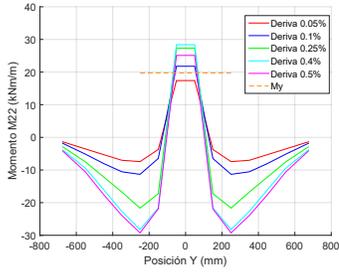


(i) Piso 9.

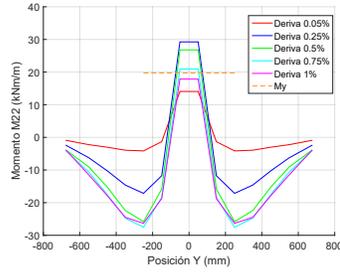


(j) Piso 10.

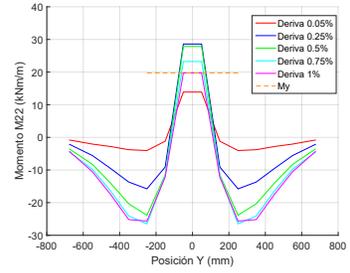
Figura D.5: M22 vs X.



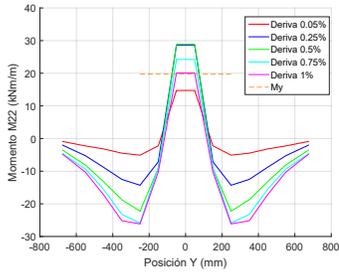
(a) Piso 1.



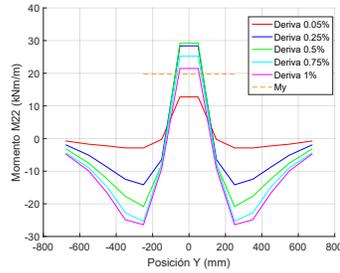
(b) Piso 2.



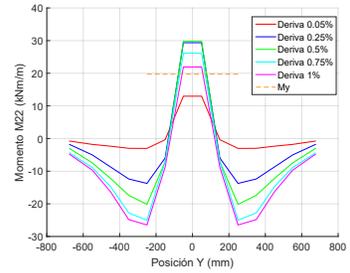
(c) Piso 3.



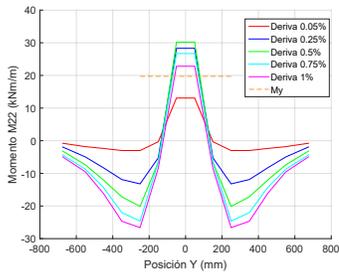
(d) Piso 4.



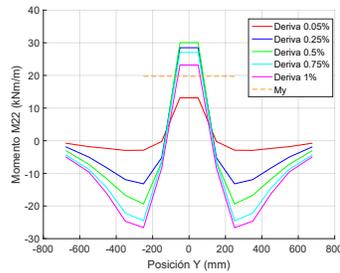
(e) Piso 5.



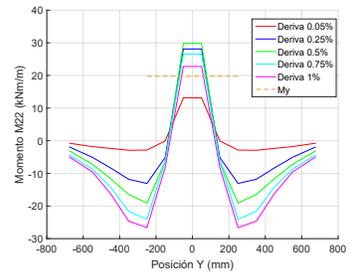
(f) Piso 6.



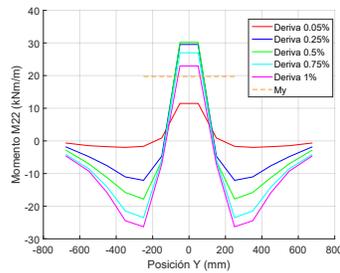
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

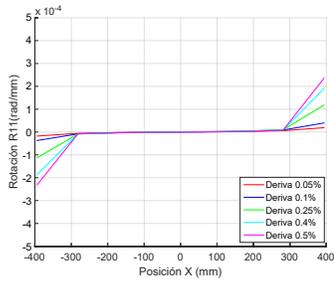


(i) Piso 9.

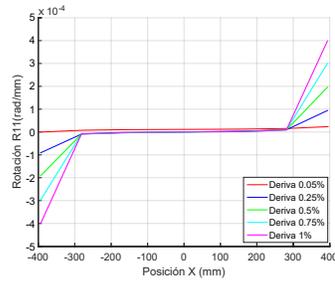


(j) Piso 10.

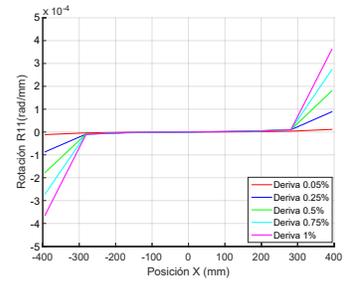
Figura D.6: M22 vs Y.



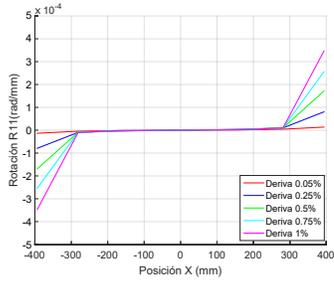
(a) Piso 1.



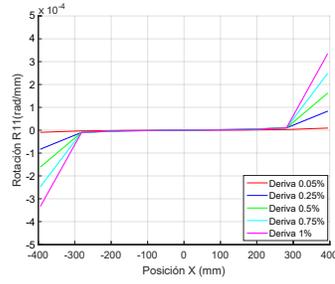
(b) Piso 2.



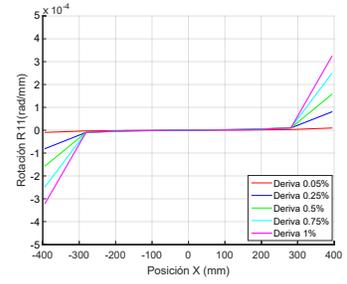
(c) Piso 3.



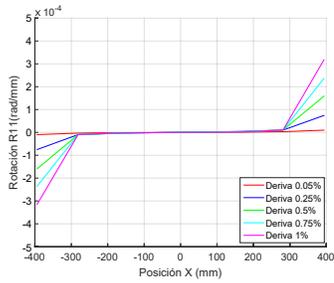
(d) Piso 4.



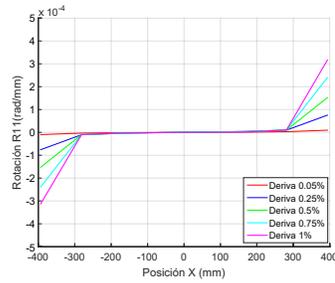
(e) Piso 5.



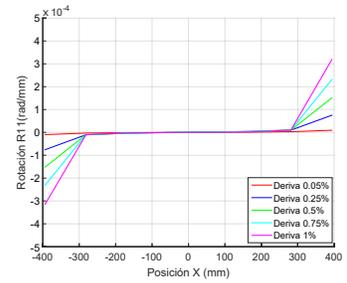
(f) Piso 6.



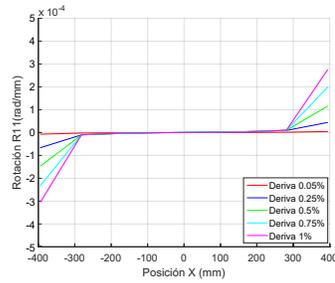
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

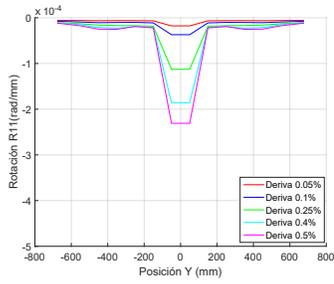


(i) Piso 9.

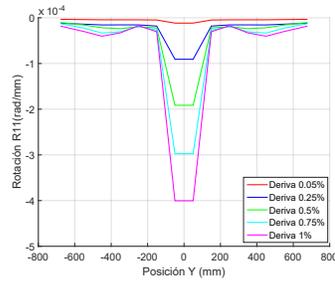


(j) Piso 10.

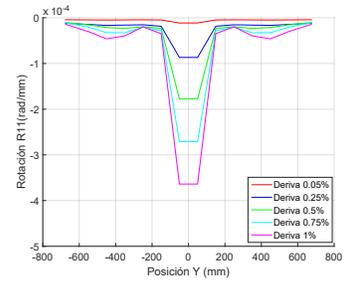
Figura D.7: R11 vs X.



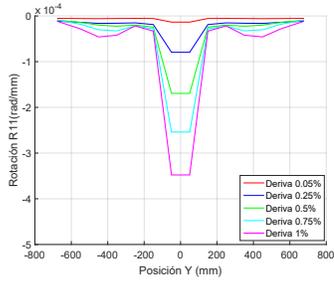
(a) Piso 1.



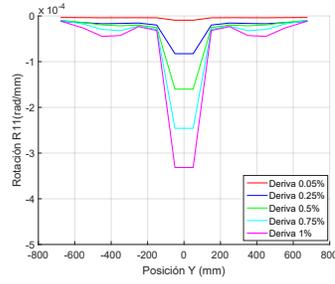
(b) Piso 2.



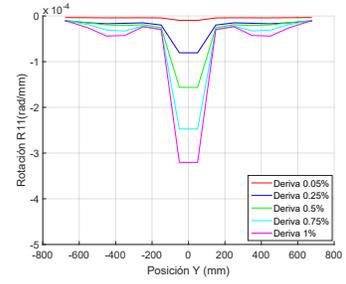
(c) Piso 3.



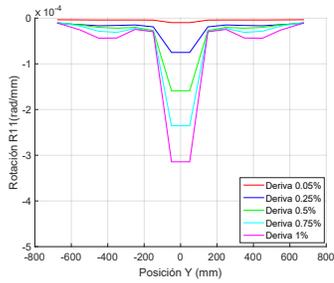
(d) Piso 4.



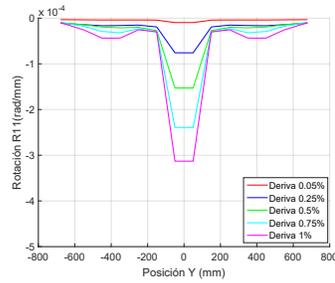
(e) Piso 5.



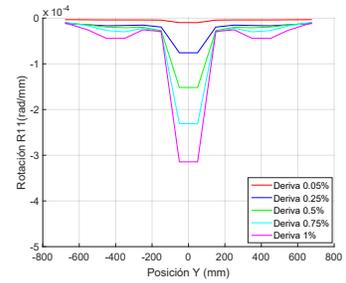
(f) Piso 6.



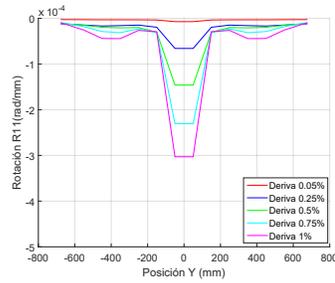
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

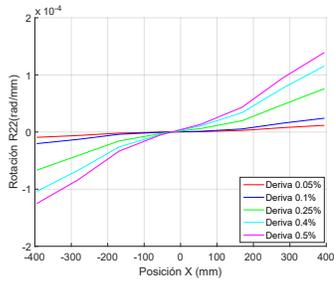


(i) Piso 9.

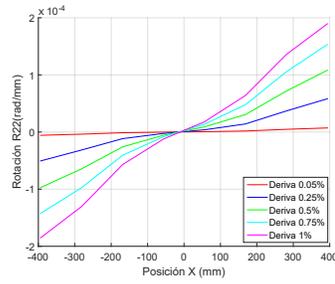


(j) Piso 10.

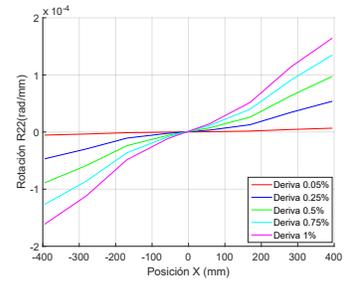
Figura D.8: R11 vs Y.



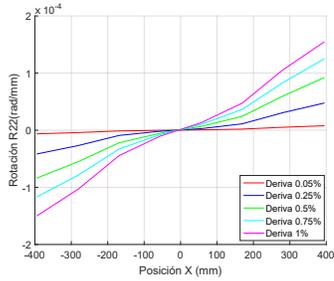
(a) Piso 1.



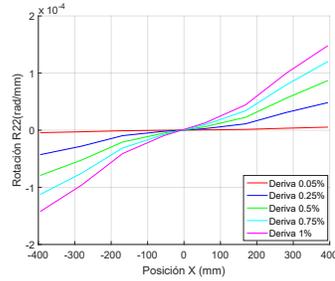
(b) Piso 2.



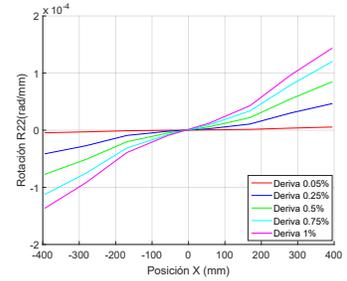
(c) Piso 3.



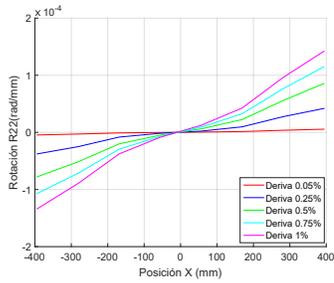
(d) Piso 4.



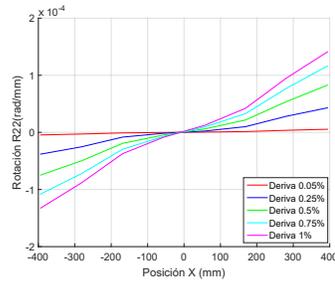
(e) Piso 5.



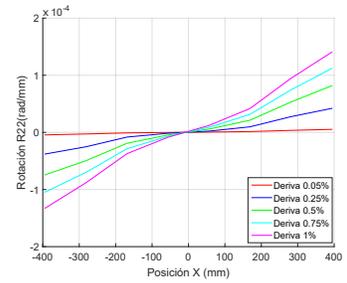
(f) Piso 6.



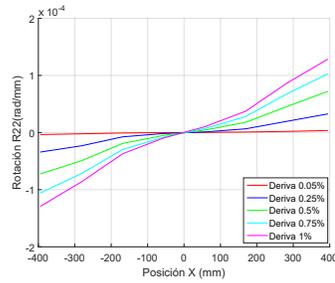
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

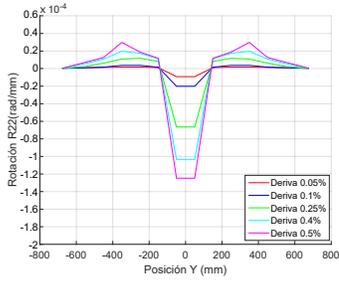


(i) Piso 9.

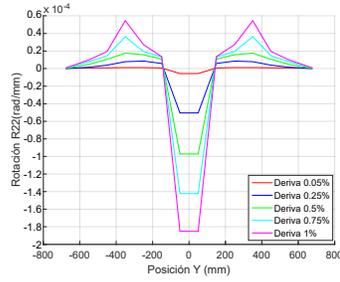


(j) Piso 10.

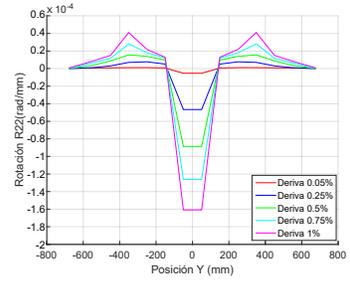
Figura D.9: R22 vs X.



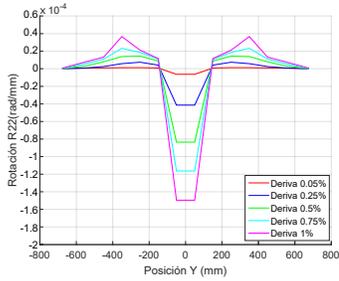
(a) Piso 1.



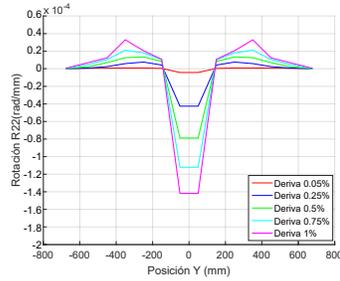
(b) Piso 2.



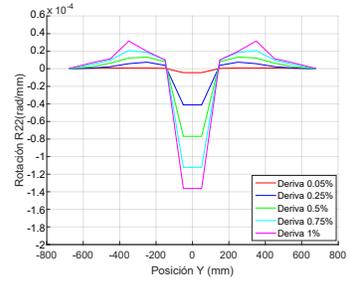
(c) Piso 3.



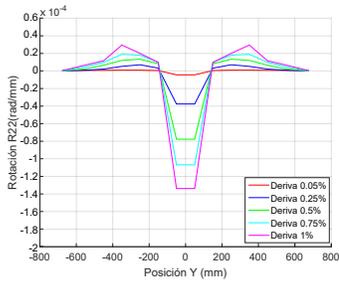
(d) Piso 4.



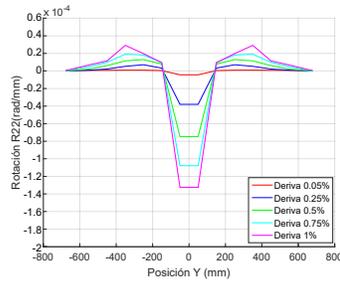
(e) Piso 5.



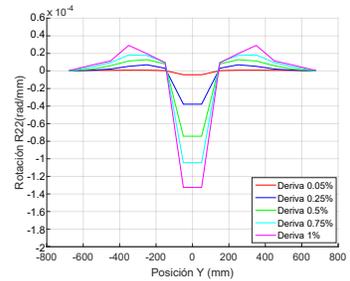
(f) Piso 6.



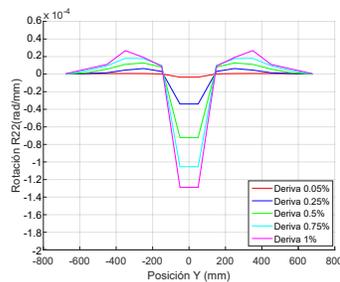
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.



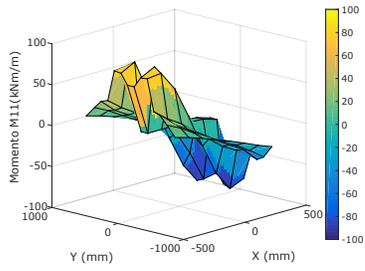
(i) Piso 9.



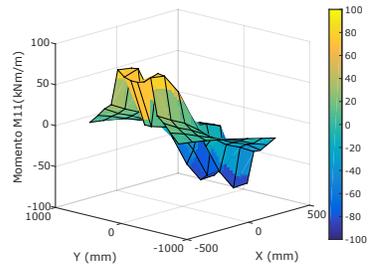
(j) Piso 10.

Figura D.10: R22 vs Y.

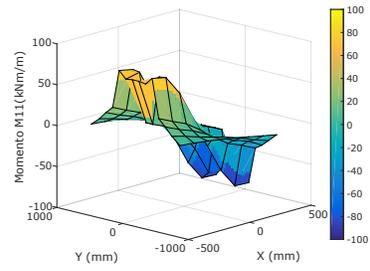
D.4. Esfuerzos resultantes



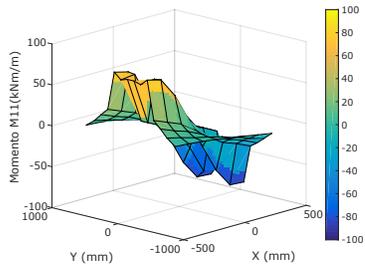
(a) Piso 1.



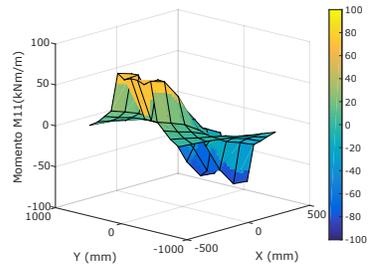
(b) Piso 2.



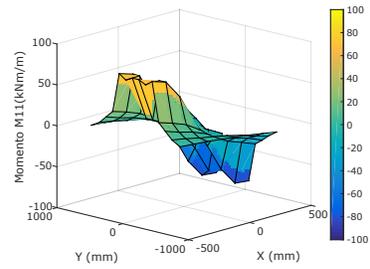
(c) Piso 3.



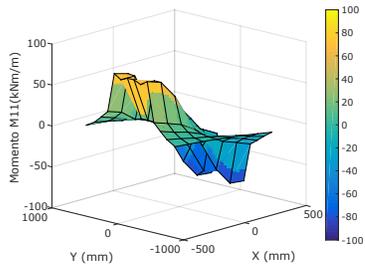
(d) Piso 4.



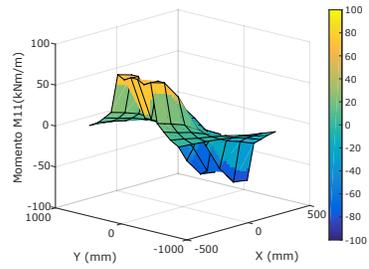
(e) Piso 5.



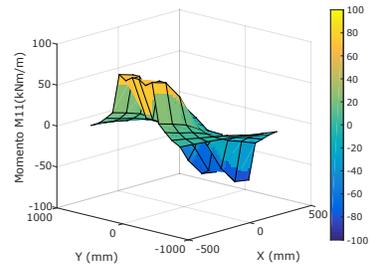
(f) Piso 6.



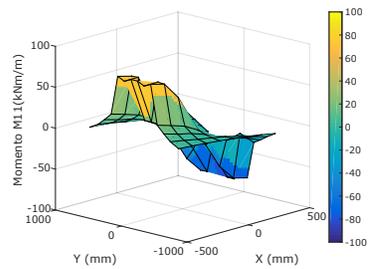
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

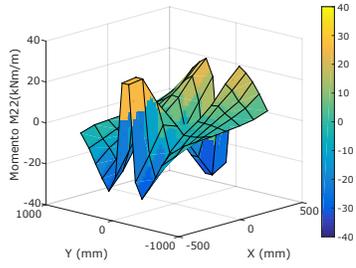


(i) Piso 9.

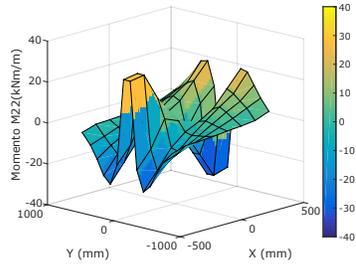


(j) Piso 10.

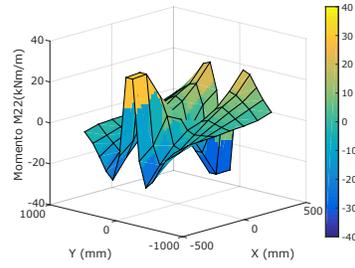
Figura D.11: M11 de la losa para una deriva de 0.50%, modelo de 10 pisos.



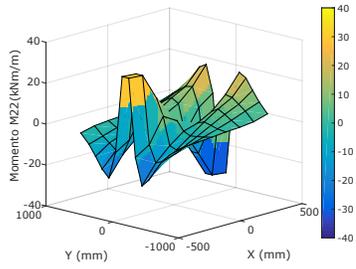
(a) Piso 1.



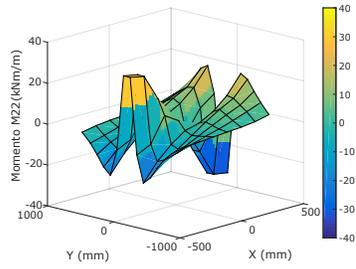
(b) Piso 2.



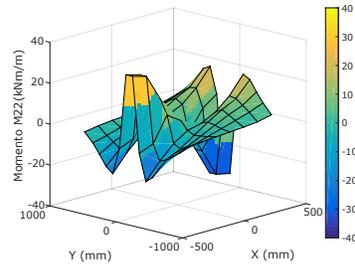
(c) Piso 3.



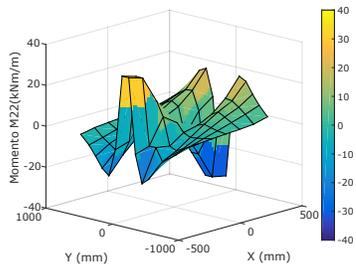
(d) Piso 4.



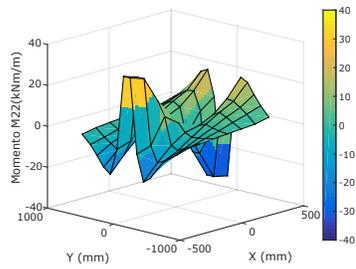
(e) Piso 5.



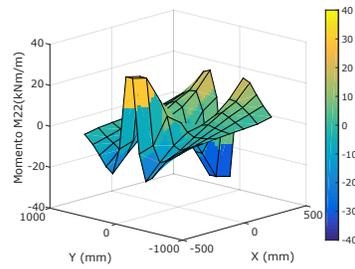
(f) Piso 6.



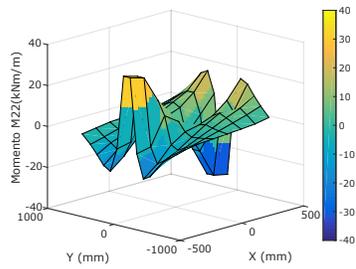
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.



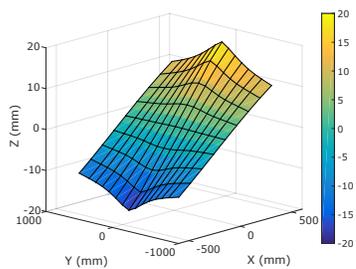
(i) Piso 9.



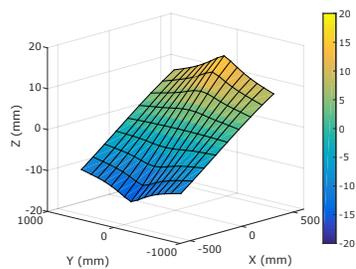
(j) Piso 10.

Figura D.12: M22 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo de 10 pisos

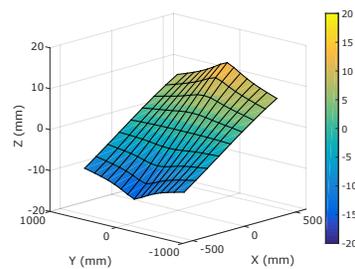
D.5. Deformación resultante



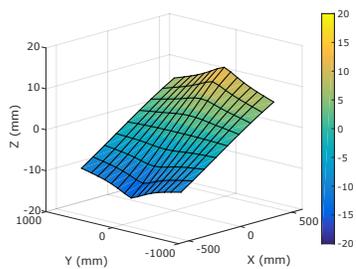
(a) Piso 1.



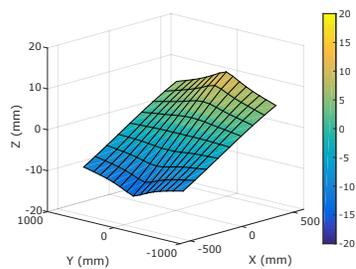
(b) Piso 2.



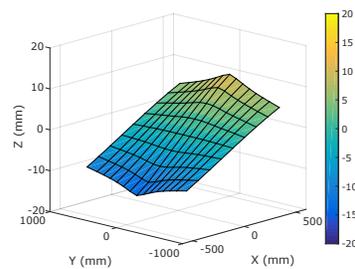
(c) Piso 3.



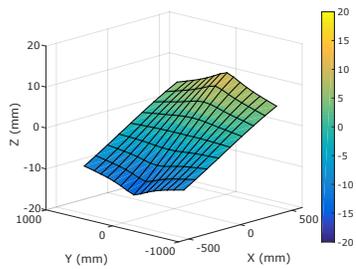
(d) Piso 4.



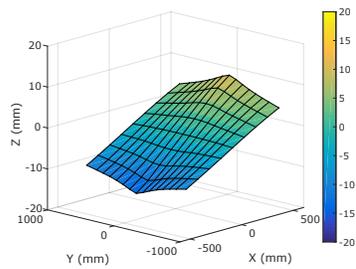
(e) Piso 5.



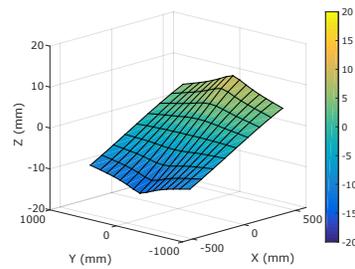
(f) Piso 6.



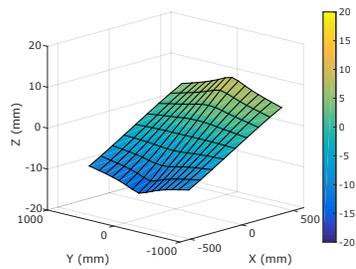
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.



(i) Piso 9.



(j) Piso 10.

Figura D.13: Deformación de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo de 10 pisos.

D.6. Deformaciones unitarias

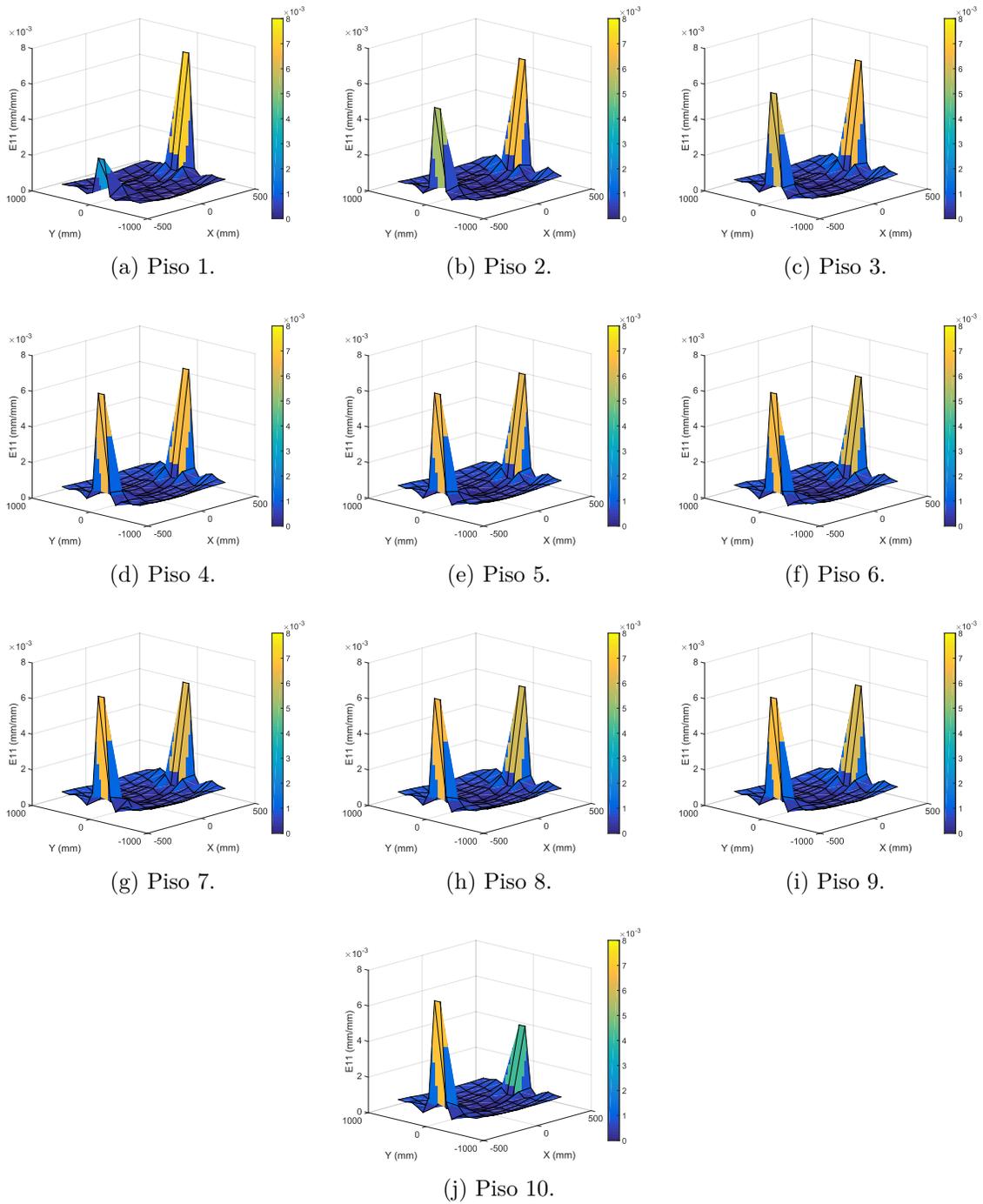
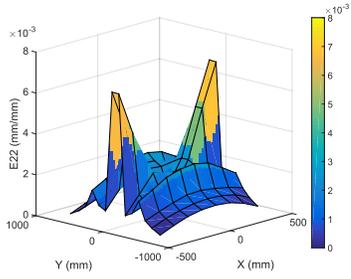
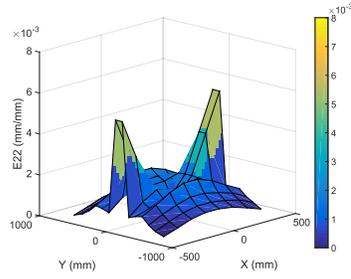


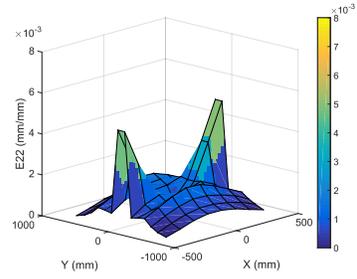
Figura D.14: E11 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelo de 10 pisos.



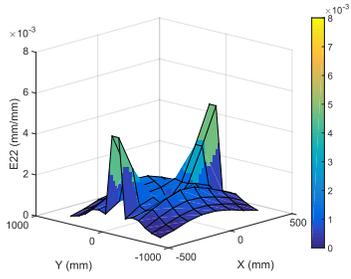
(a) Piso 1.



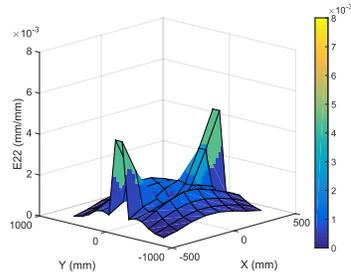
(b) Piso 2.



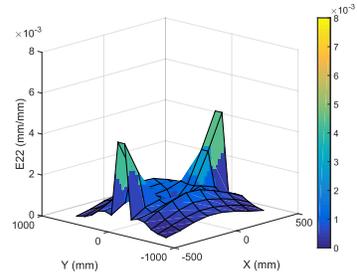
(c) Piso 3.



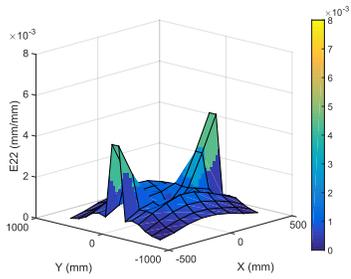
(d) Piso 4.



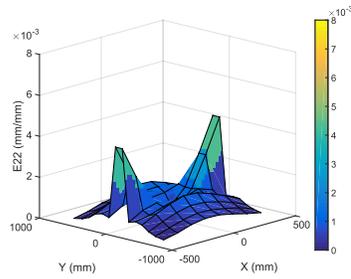
(e) Piso 5.



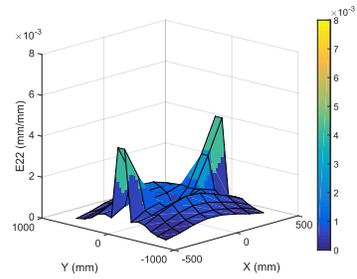
(f) Piso 6.



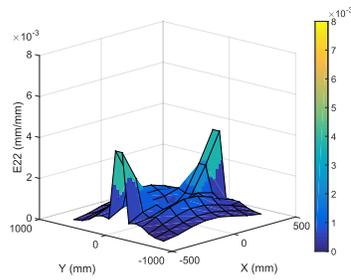
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

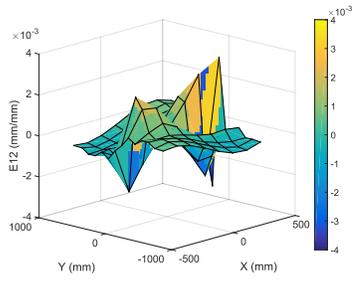


(i) Piso 9.

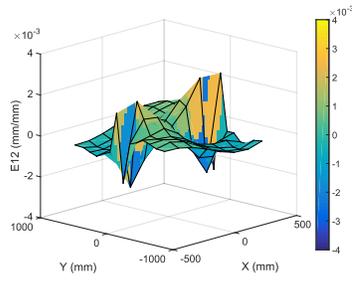


(j) Piso 10.

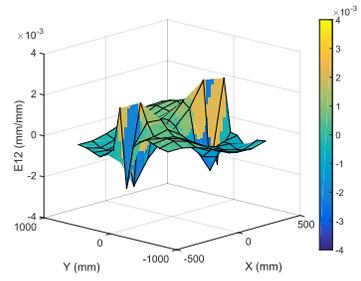
Figura D.15: E22 de la losa para una deriva de 0.50%, modelo de 10 pisos.



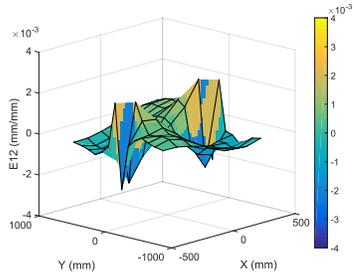
(a) Piso 1.



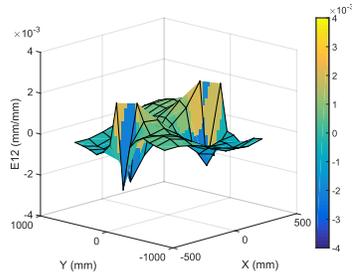
(b) Piso 2.



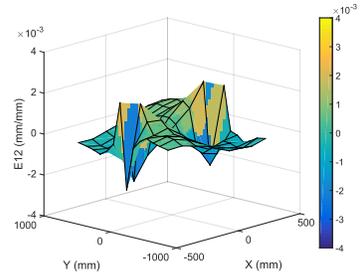
(c) Piso 3.



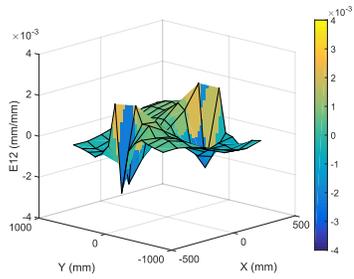
(d) Piso 4.



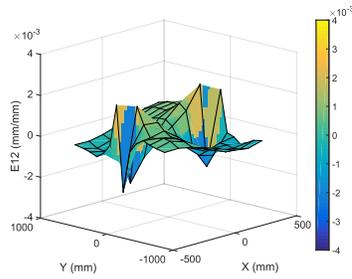
(e) Piso 5.



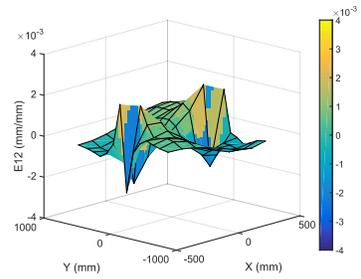
(f) Piso 6.



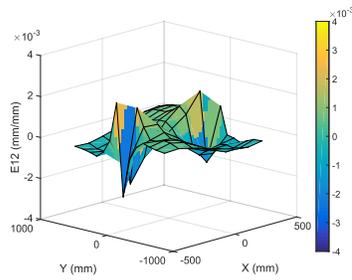
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

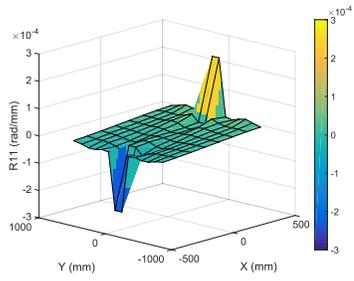


(i) Piso 9.

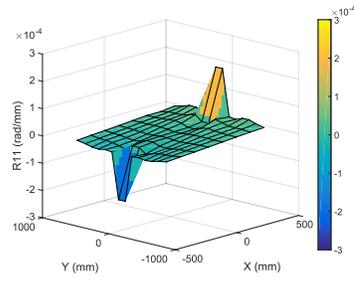


(j) Piso 10.

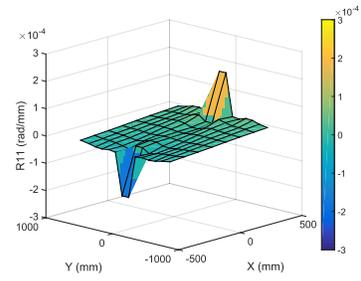
Figura D.16: E12 de la losa para una deriva de 0.50%, modelo de 10 pisos.



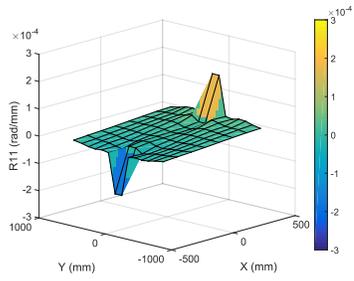
(a) Piso 1.



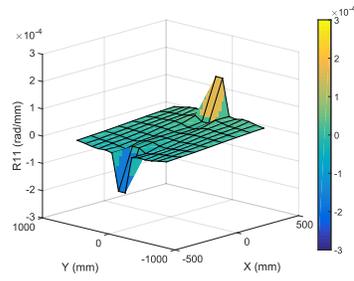
(b) Piso 2.



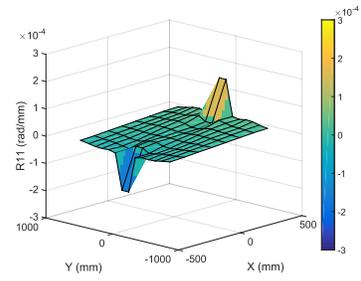
(c) Piso 3.



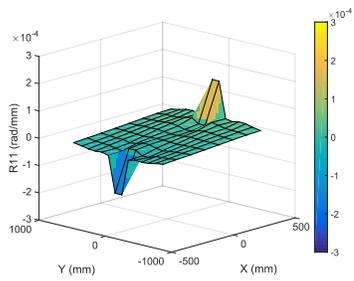
(d) Piso 4.



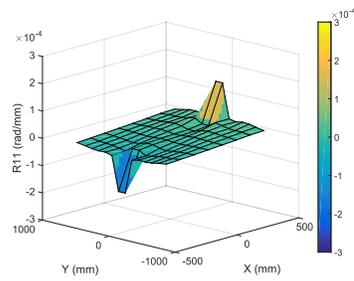
(e) Piso 5.



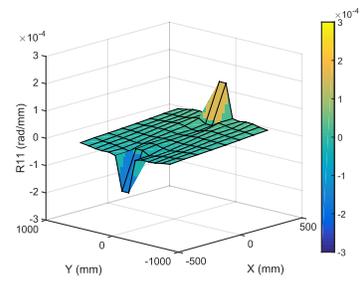
(f) Piso 6.



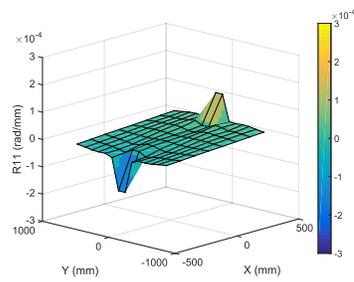
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

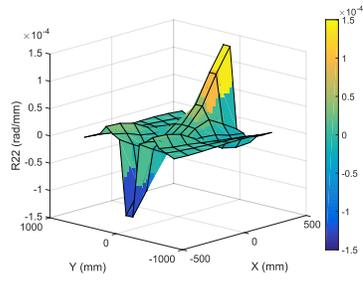


(i) Piso 9.

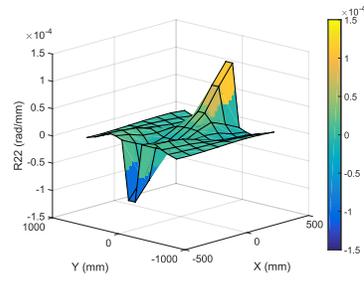


(j) Piso 10.

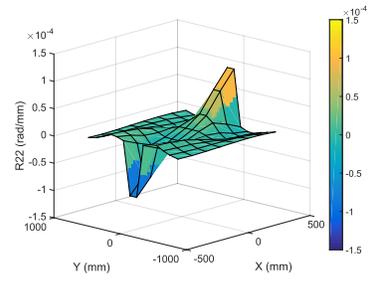
Figura D.17: R11 de la losa para una deriva de 0.50%, modelo de 10 pisos.



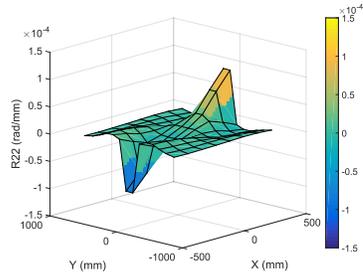
(a) Piso 1.



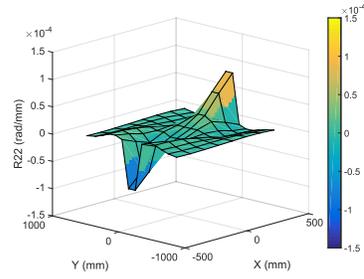
(b) Piso 2.



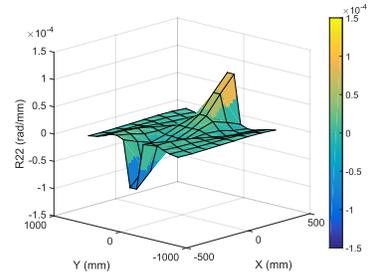
(c) Piso 3.



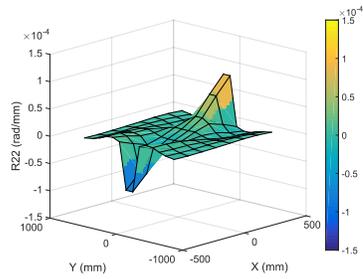
(d) Piso 4.



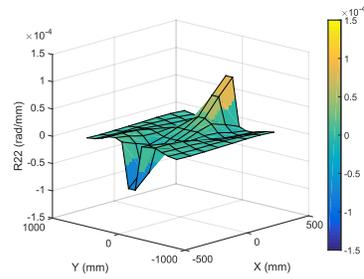
(e) Piso 5.



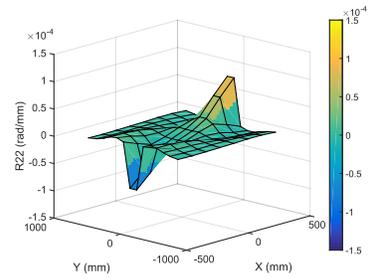
(f) Piso 6.



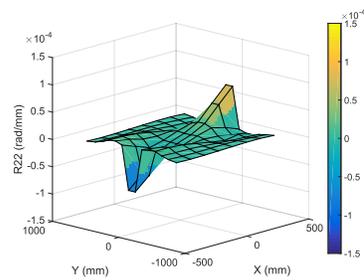
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.



(i) Piso 9.



(j) Piso 10.

Figura D.18: R22 de la losa para una deriva de 0.50%, modelo de 10 pisos.

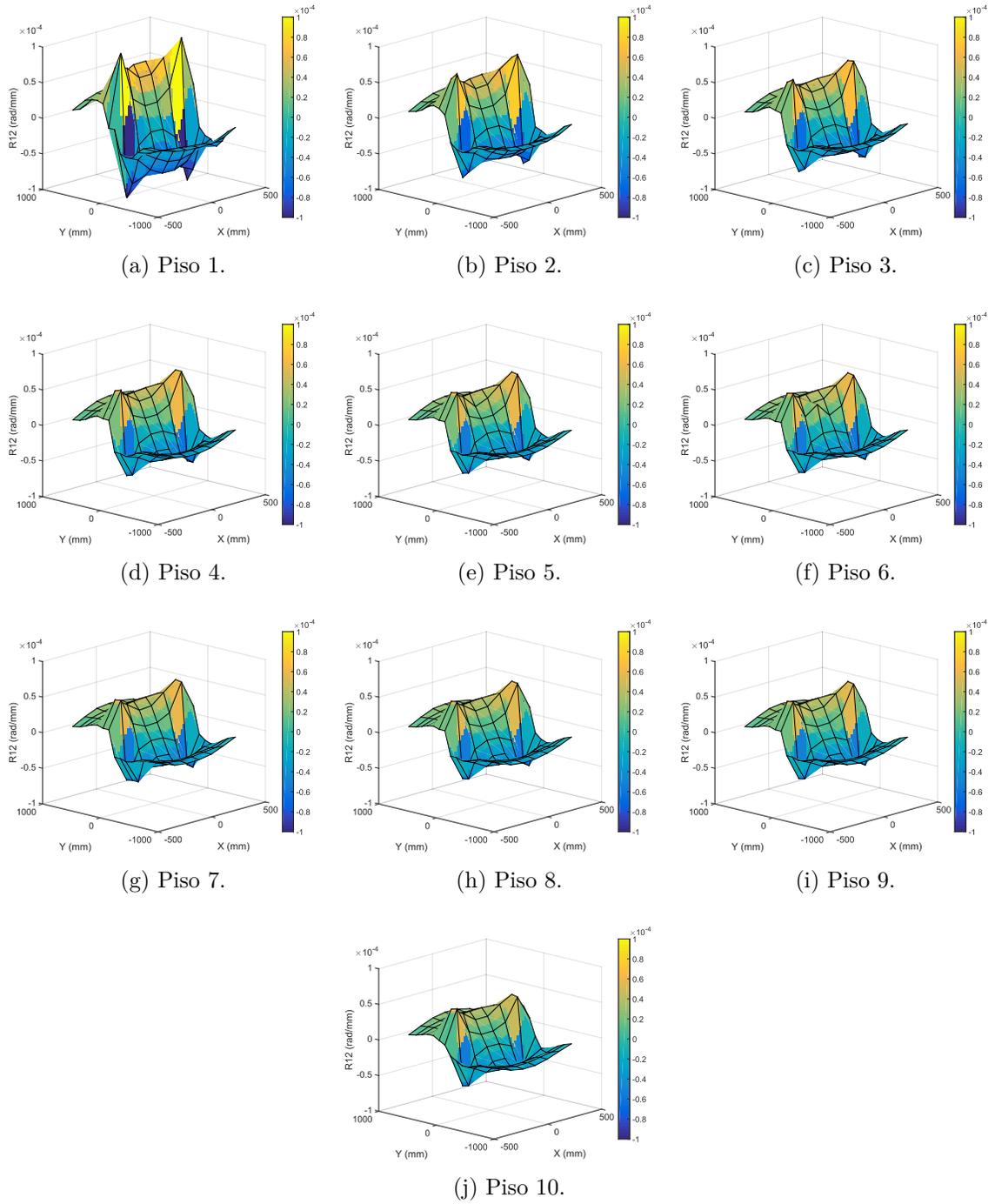
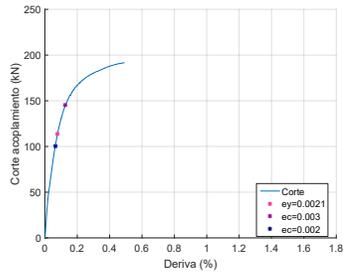
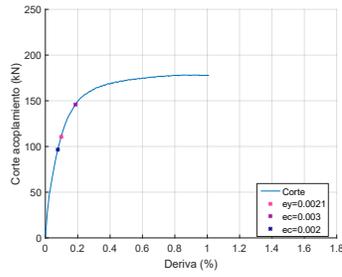


Figura D.19: R12 de la losa para una deriva de 0.50%, modelo de 10 pisos.

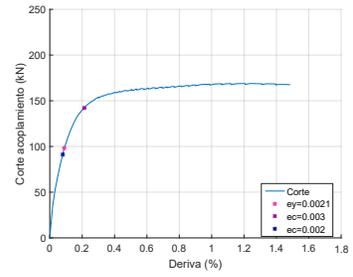
D.7. Concentración de corte y momento



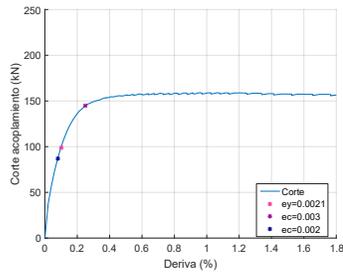
(a) Piso 1.



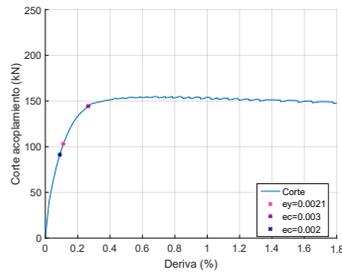
(b) Piso 2.



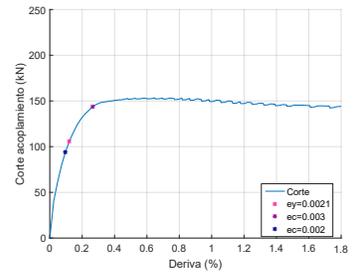
(c) Piso 3.



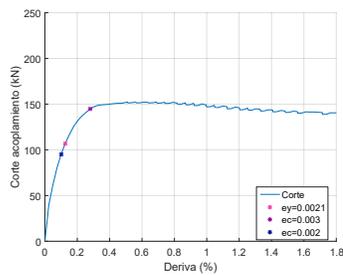
(d) Piso 4.



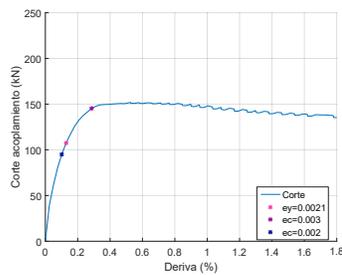
(e) Piso 5.



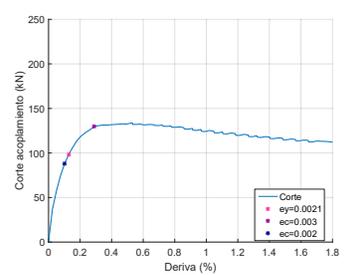
(f) Piso 6.



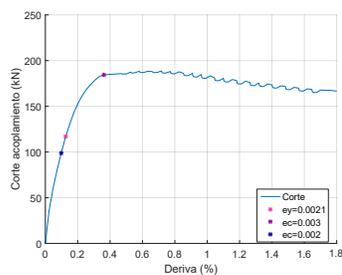
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

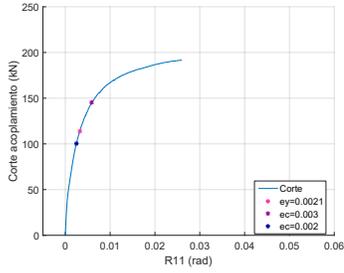


(i) Piso 9.

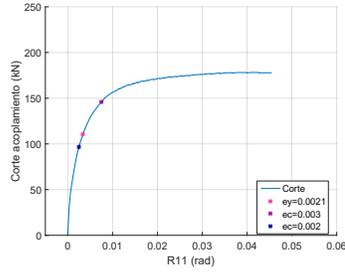


(j) Piso 10.

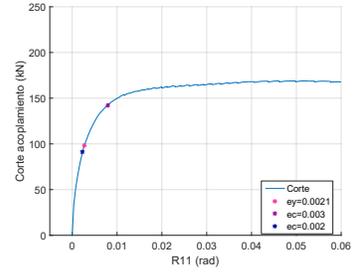
Figura D.20: Corte vs Deriva, modelo de 10 pisos.



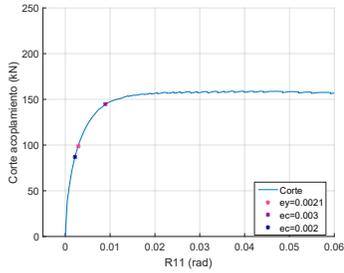
(a) Piso 1.



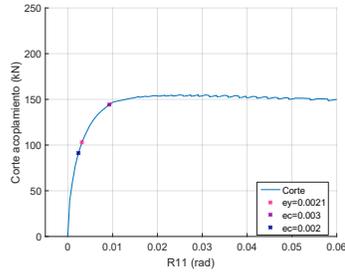
(b) Piso 2.



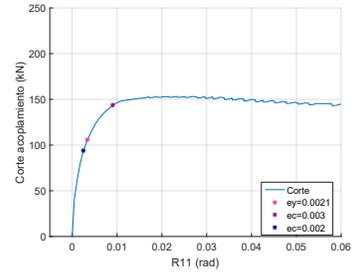
(c) Piso 3.



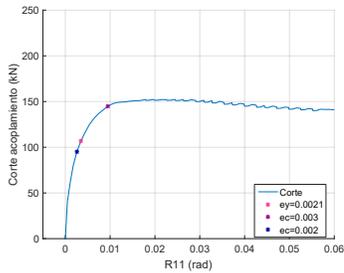
(d) Piso 4.



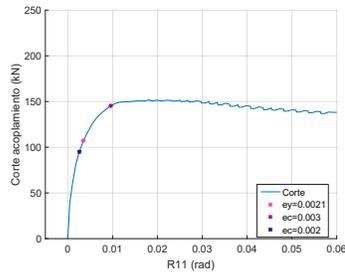
(e) Piso 5.



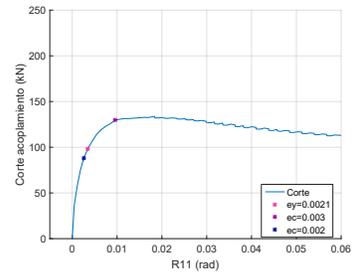
(f) Piso 6.



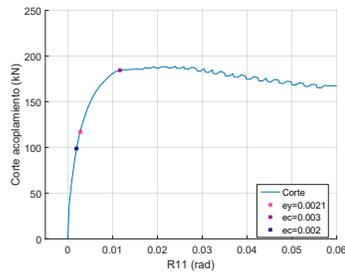
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

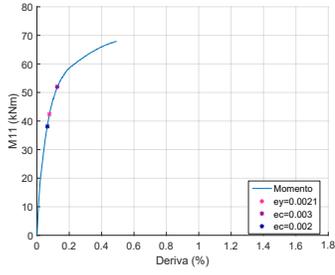


(i) Piso 9.

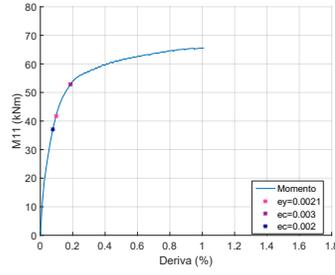


(j) Piso 10.

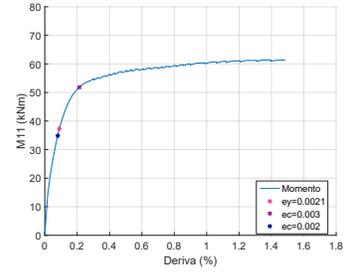
Figura D.21: Corte vs R11 modelo de 10 pisos.



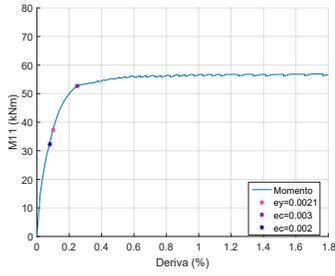
(a) Piso 1.



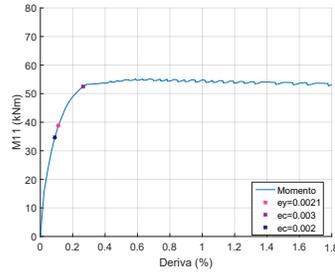
(b) Piso 2.



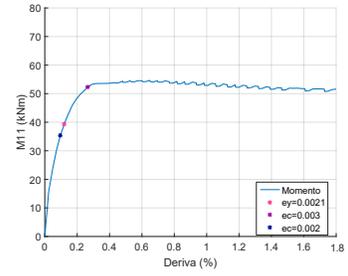
(c) Piso 3.



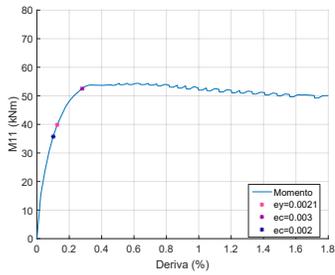
(d) Piso 4.



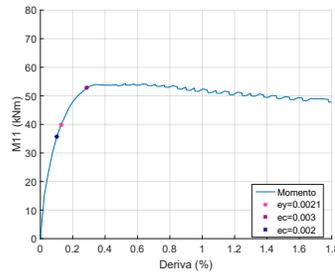
(e) Piso 5.



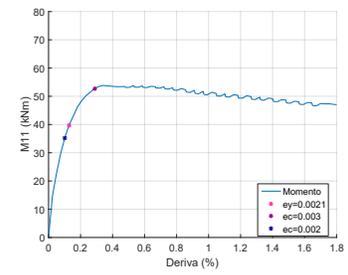
(f) Piso 6.



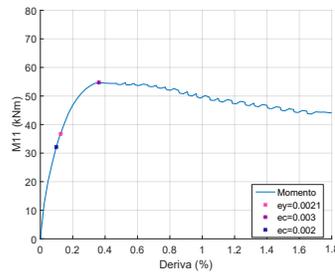
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

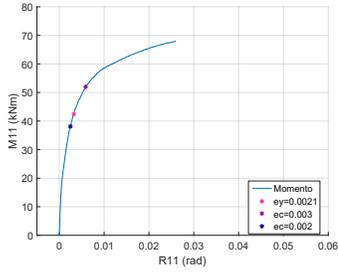


(i) Piso 9.

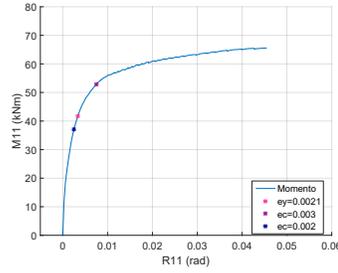


(j) Piso 10.

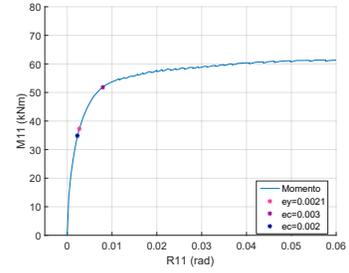
Figura D.22: Momento vs Deriva, modelo de 10 pisos.



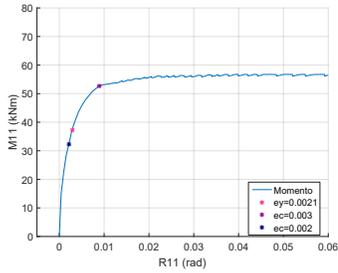
(a) Piso 1.



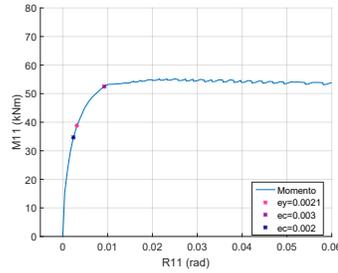
(b) Piso 2.



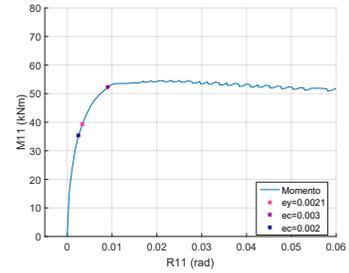
(c) Piso 3.



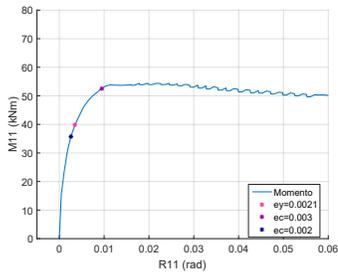
(d) Piso 4.



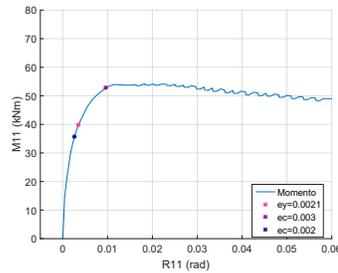
(e) Piso 5.



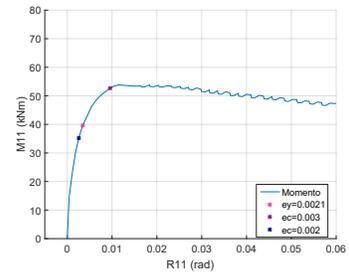
(f) Piso 6.



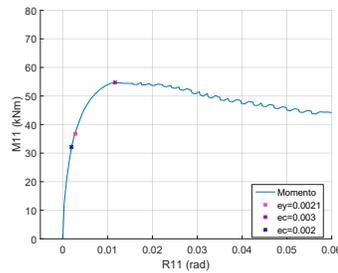
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.



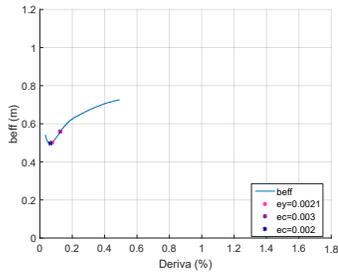
(i) Piso 9.



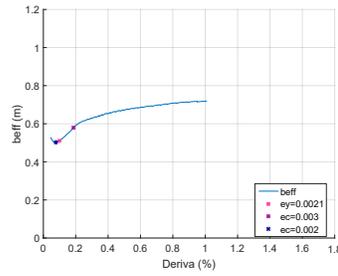
(j) Piso 10.

Figura D.23: Momento vs R11 modelo de 10 pisos.

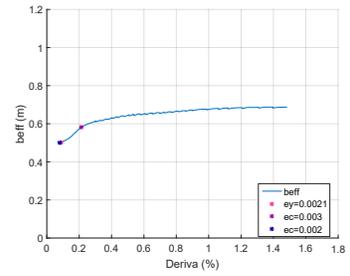
D.8. Ancho efectivo



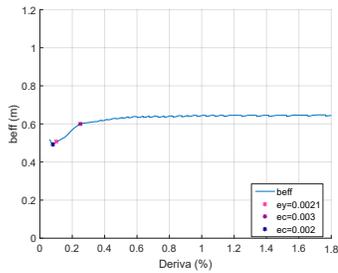
(a) Piso 1.



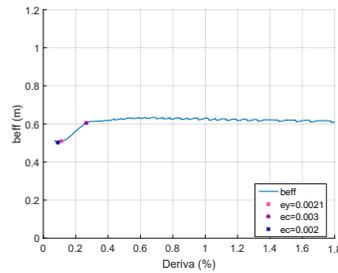
(b) Piso 2.



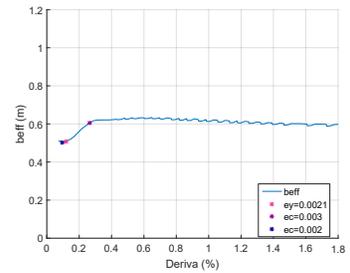
(c) Piso 3.



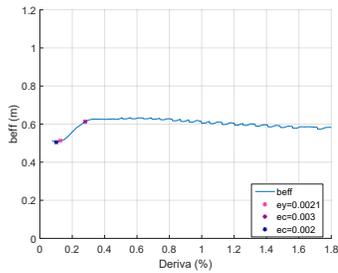
(d) Piso 4.



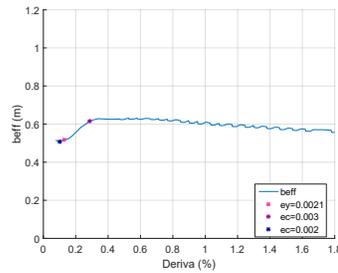
(e) Piso 5.



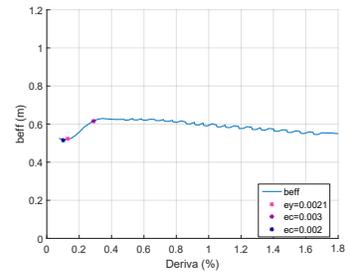
(f) Piso 6.



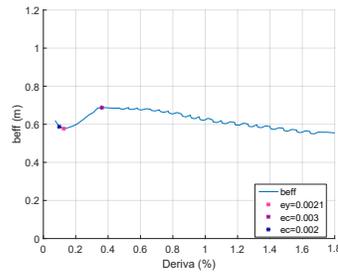
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

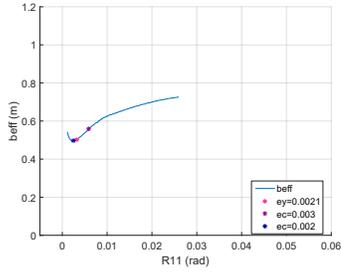


(i) Piso 9.

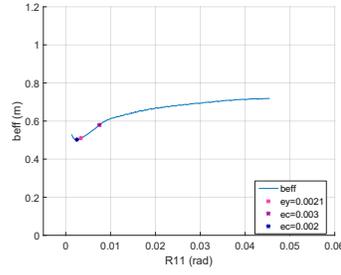


(j) Piso 10.

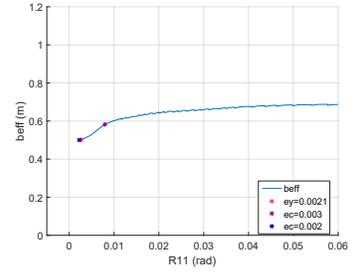
Figura D.24: b_{eff} vs Deriva, modelo de 10 pisos.



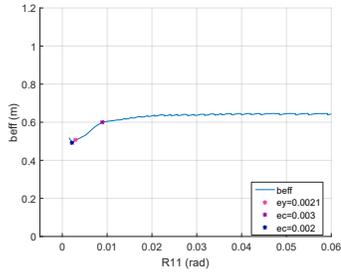
(a) Piso 1.



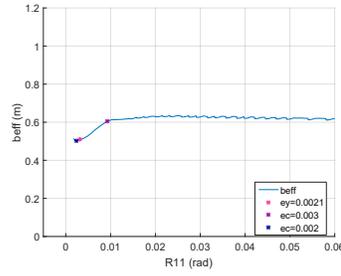
(b) Piso 2.



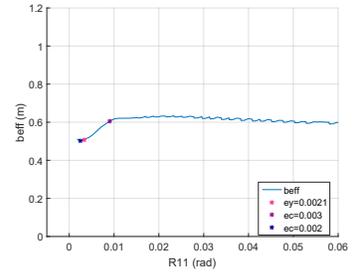
(c) Piso 3.



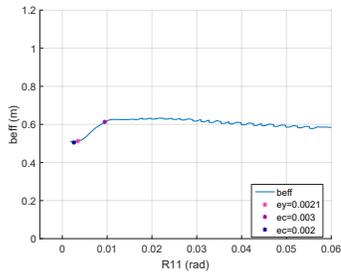
(d) Piso 4.



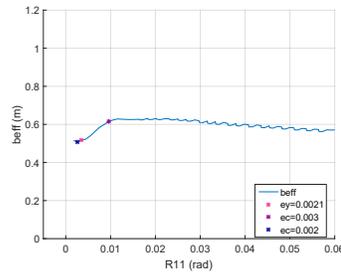
(e) Piso 5.



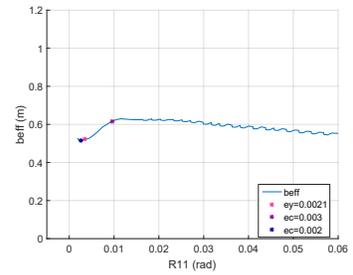
(f) Piso 6.



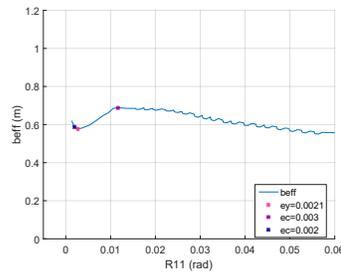
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

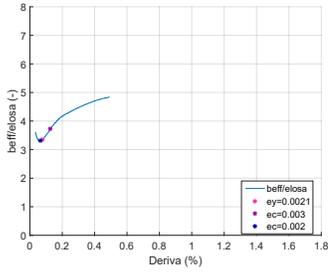


(i) Piso 9.

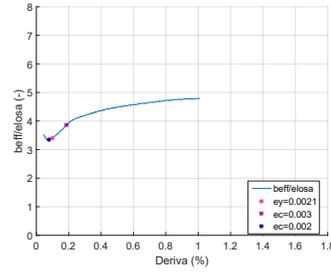


(j) Piso 10.

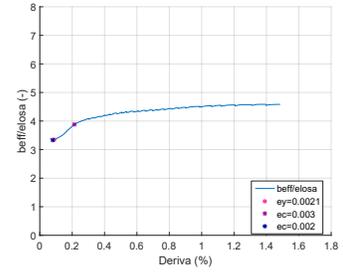
Figura D.25: b_{eff} vs R11 modelo de 10 pisos.



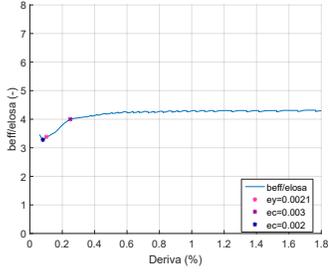
(a) Piso 1.



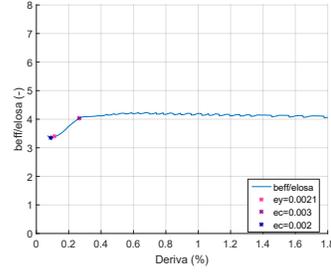
(b) Piso 2.



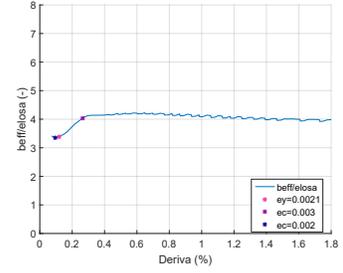
(c) Piso 3.



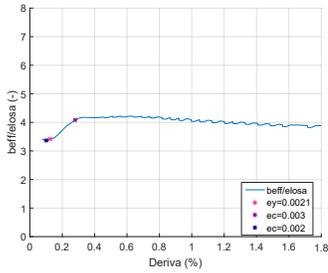
(d) Piso 4.



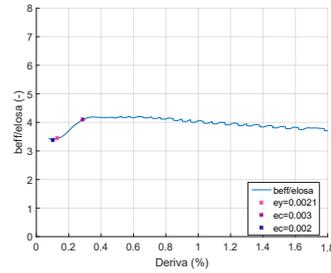
(e) Piso 5.



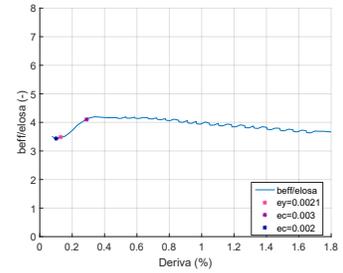
(f) Piso 6.



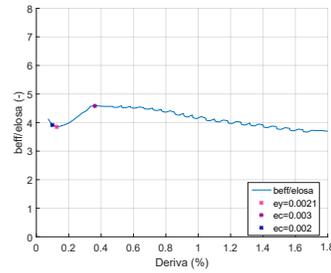
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.

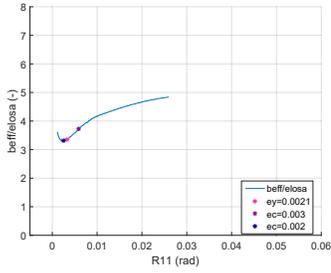


(i) Piso 9.

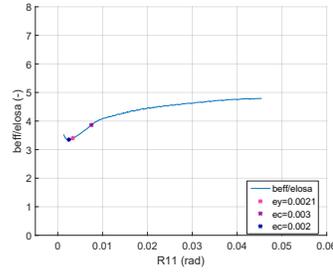


(j) Piso 10.

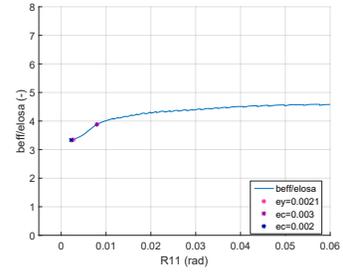
Figura D.26: b_{eff}/e_{losa} vs Deriva, modelo de 10 pisos.



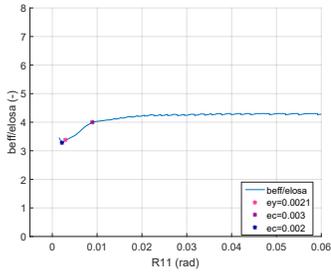
(a) Piso 1.



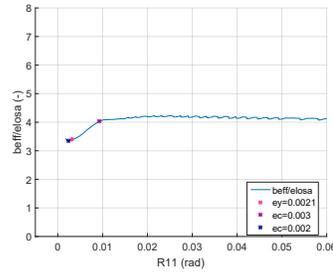
(b) Piso 2.



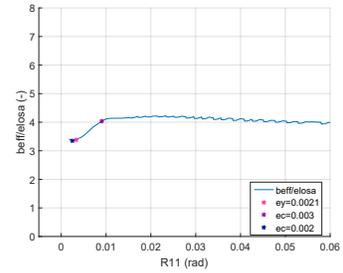
(c) Piso 3.



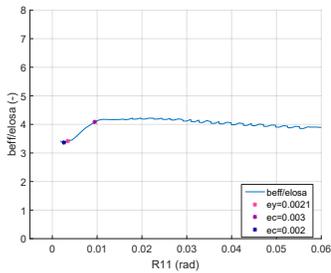
(d) Piso 4.



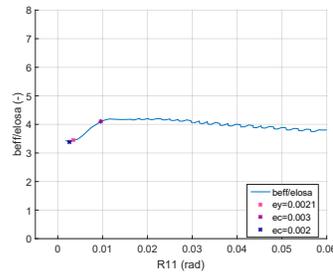
(e) Piso 5.



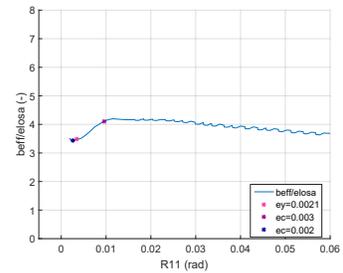
(f) Piso 6.



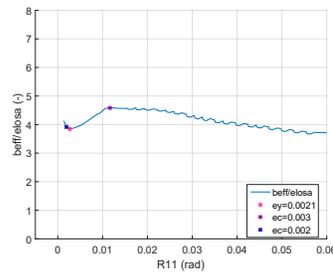
(g) Piso 7.



(h) Piso 8.



(i) Piso 9.



(j) Piso 10.

Figura D.27: b_{eff}/e_{losa} vs R11 modelo de 10 pisos.

Apéndice E

Resultados modelos de 1 piso

E.1. Respuesta pushover

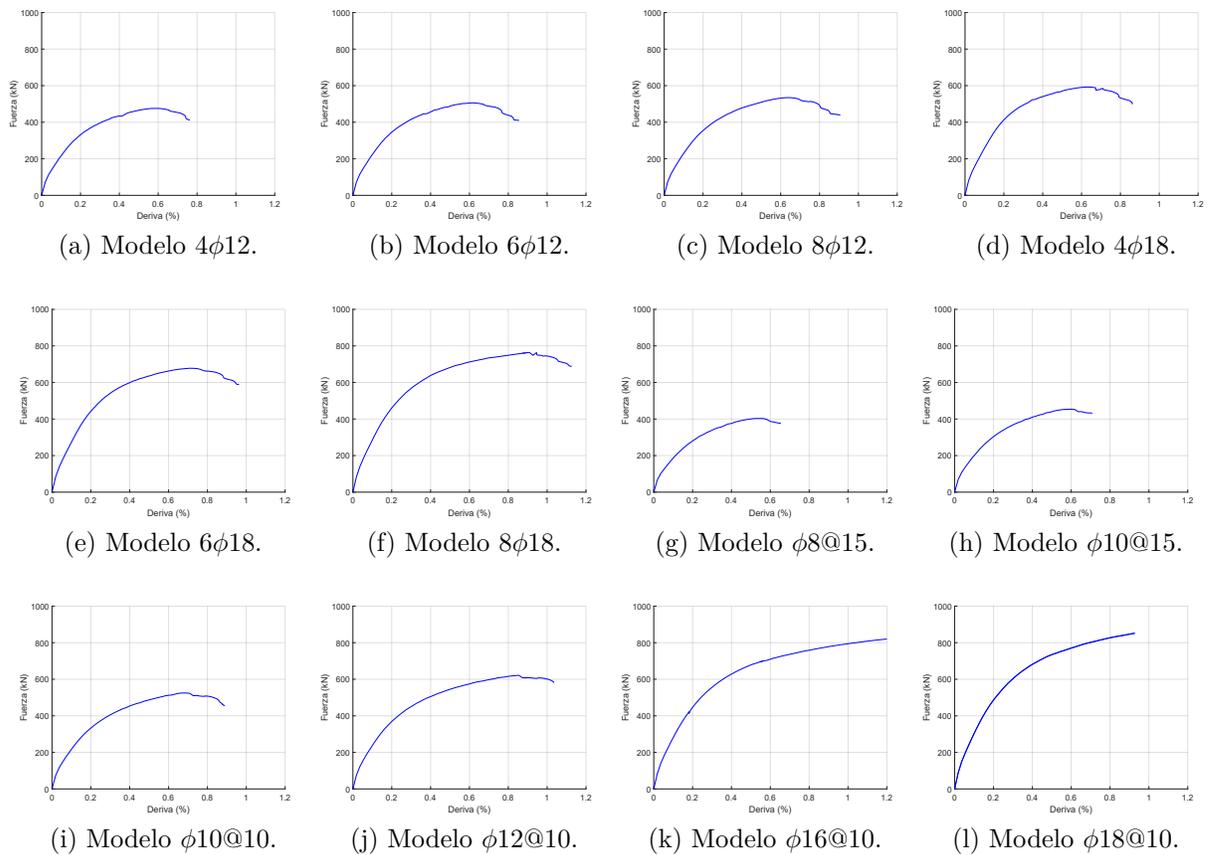
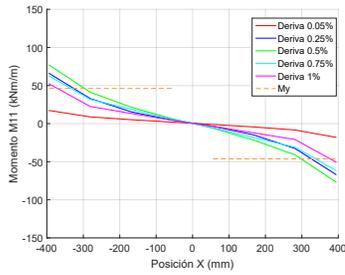
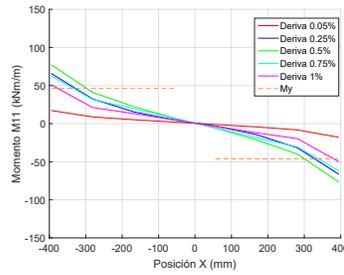


Figura E.1: Histéresis, modelos de 1 piso.

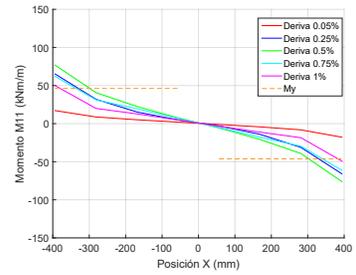
E.2. Distribución de momento y rotación



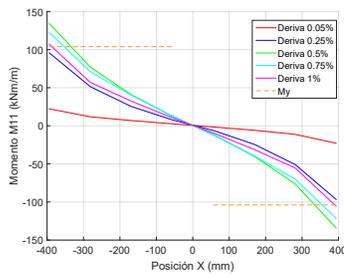
(a) Modelo $4\phi 12$.



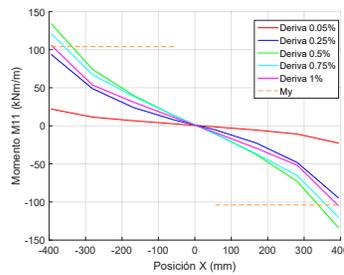
(b) Modelo $6\phi 12$.



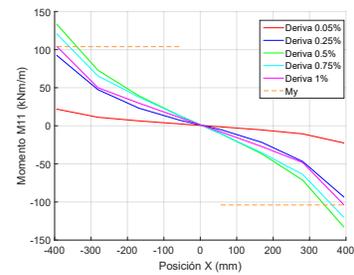
(c) Modelo $8\phi 12$.



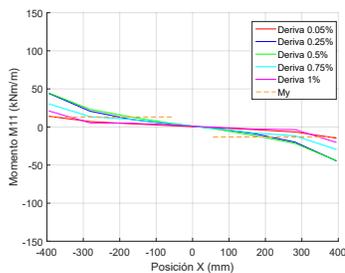
(d) Modelo $4\phi 18$.



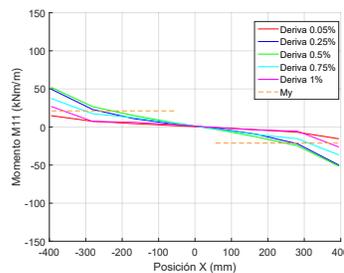
(e) Modelo $6\phi 18$.



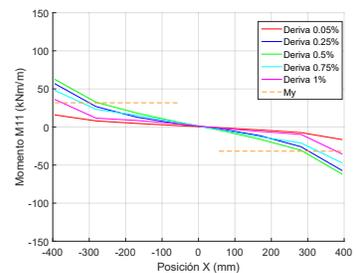
(f) Modelo $8\phi 18$.



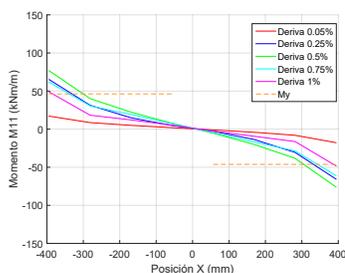
(g) Modelo $\phi 8@15$.



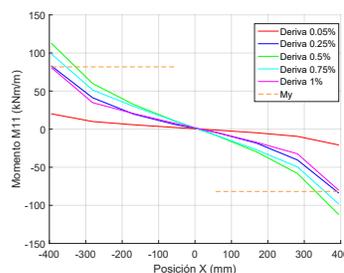
(h) Modelo $\phi 10@15$.



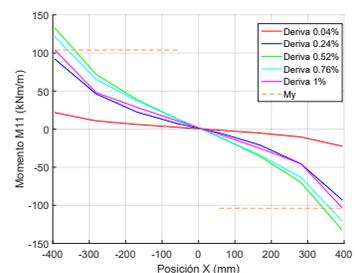
(i) Modelo $\phi 10@10$.



(j) Modelo $\phi 12@10$.

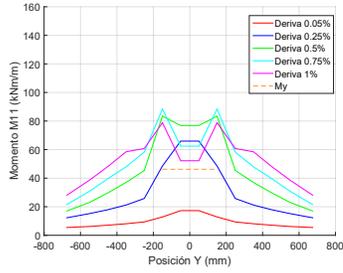


(k) Modelo $\phi 16@10$.

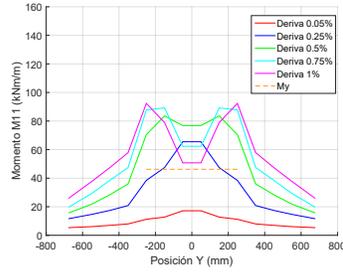


(l) Modelo $\phi 18@10$.

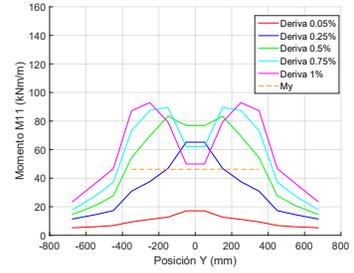
Figura E.2: M11 vs X.



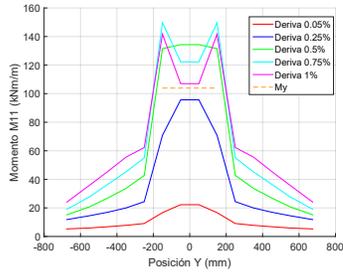
(a) Modelo $4\phi_{12}$.



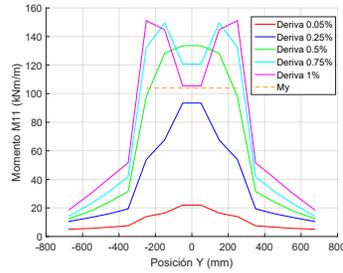
(b) Modelo $6\phi_{12}$.



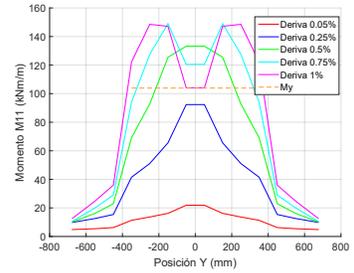
(c) Modelo $8\phi_{12}$.



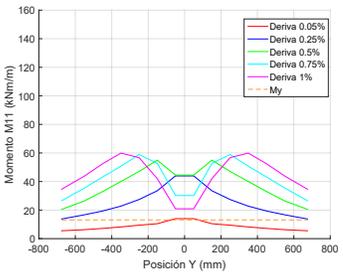
(d) Modelo $4\phi_{18}$.



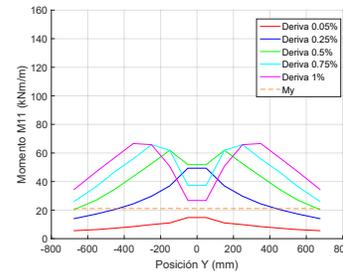
(e) Modelo $6\phi_{18}$.



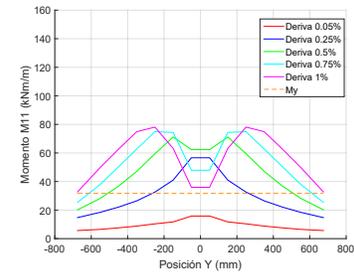
(f) Modelo $8\phi_{18}$.



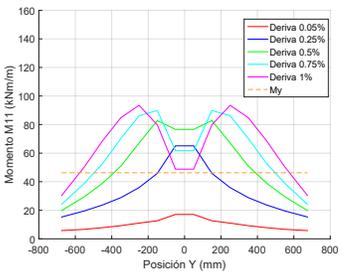
(g) Modelo $\phi_{8@15}$.



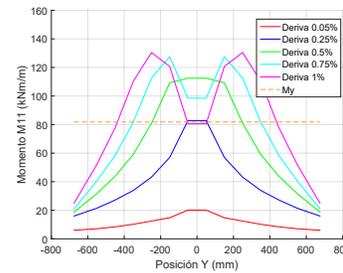
(h) Modelo $\phi_{10@15}$.



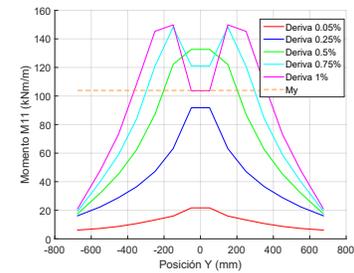
(i) Modelo $\phi_{10@10}$.



(j) Modelo $\phi_{12@10}$.

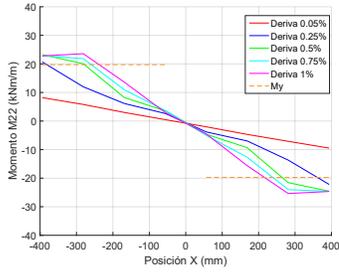


(k) Modelo $\phi_{16@10}$.

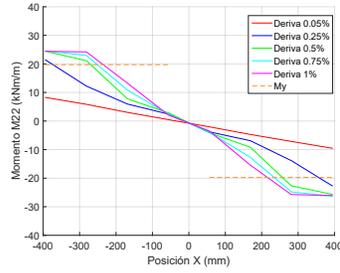


(l) Modelo $\phi_{18@10}$.

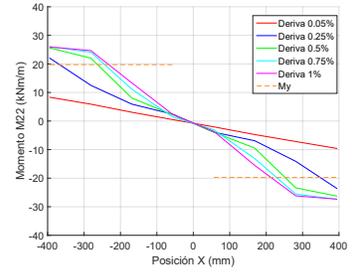
Figura E.3: M11 vs Y.



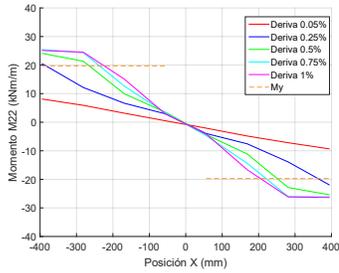
(a) Modelo $4\phi_{12}$.



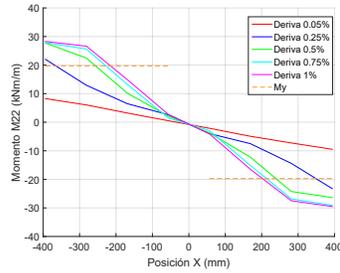
(b) Modelo $6\phi_{12}$.



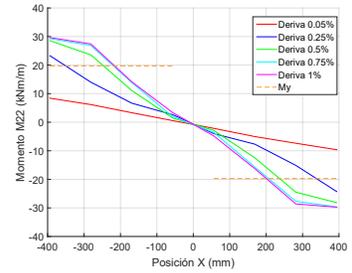
(c) Modelo $8\phi_{12}$.



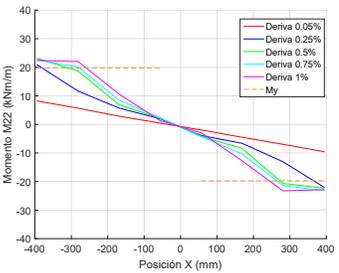
(d) Modelo $4\phi_{18}$.



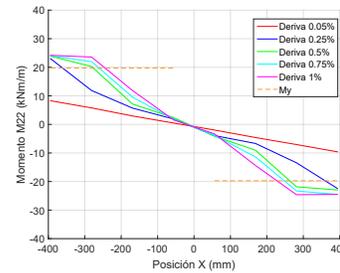
(e) Modelo $6\phi_{18}$.



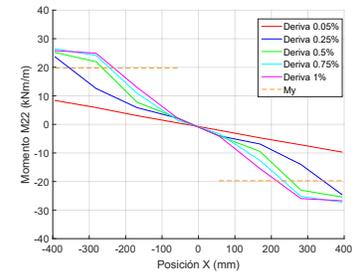
(f) Modelo $8\phi_{18}$.



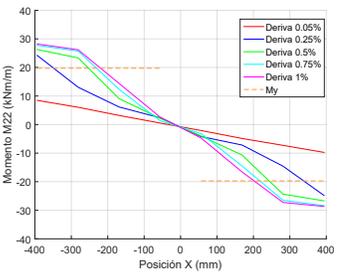
(g) Modelo $\phi_{8@15}$.



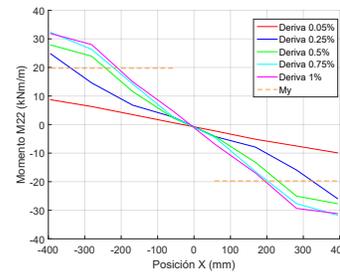
(h) Modelo $\phi_{10@15}$.



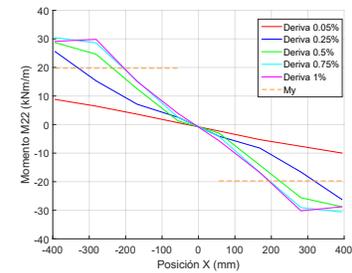
(i) Modelo $\phi_{10@10}$.



(j) Modelo $\phi_{12@10}$.

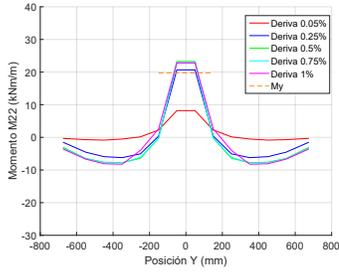


(k) Modelo $\phi_{16@10}$.

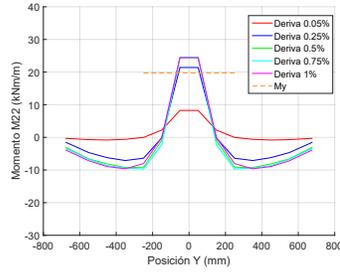


(l) Modelo $\phi_{18@10}$.

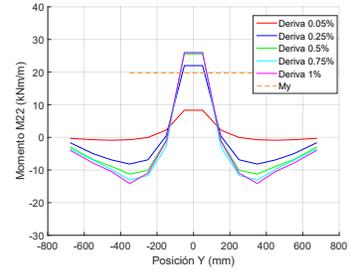
Figura E.4: M22 vs X.



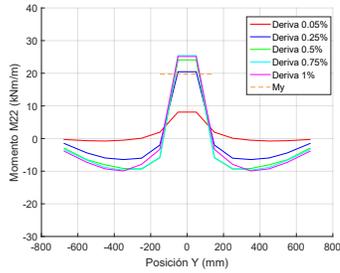
(a) Modelo 4φ12.



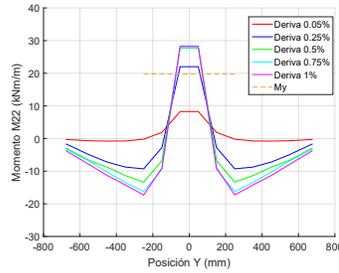
(b) Modelo 6φ12.



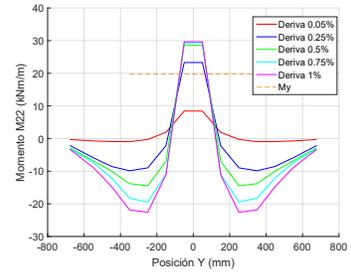
(c) Modelo 8φ12.



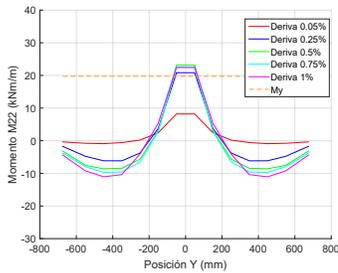
(d) Modelo 4φ18.



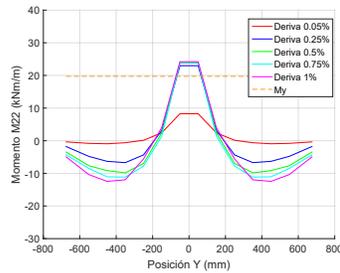
(e) Modelo 6φ18.



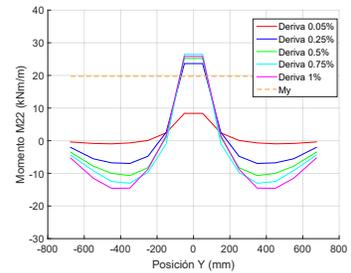
(f) Modelo 8φ18.



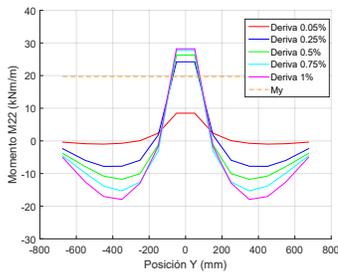
(g) Modelo φ8@15.



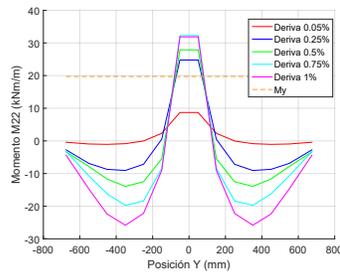
(h) Modelo φ10@15.



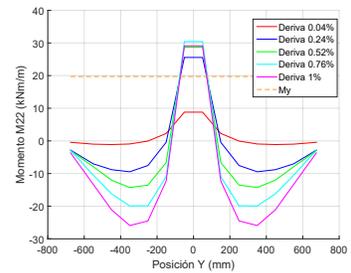
(i) Modelo φ10@10.



(j) Modelo φ12@10.

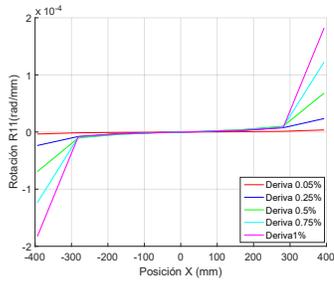


(k) Modelo φ16@10.

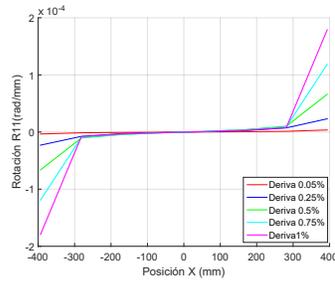


(l) Modelo φ18@10.

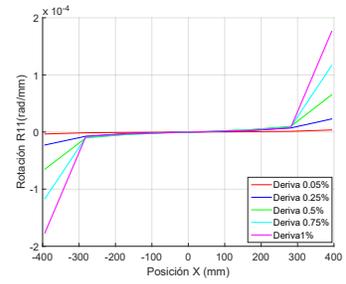
Figura E.5: M22 vs Y.



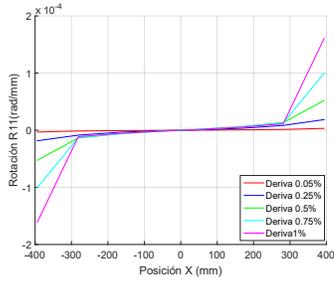
(a) Modelo $4\phi_{12}$.



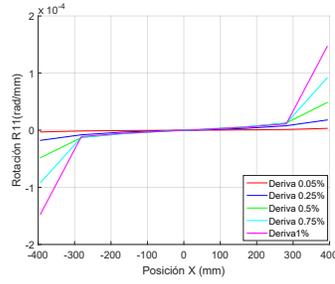
(b) Modelo $6\phi_{12}$.



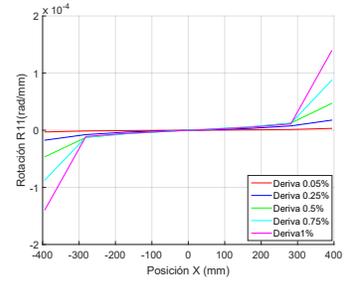
(c) Modelo $8\phi_{12}$.



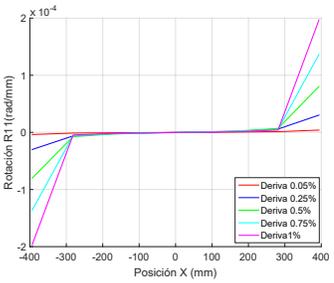
(d) Modelo $4\phi_{18}$.



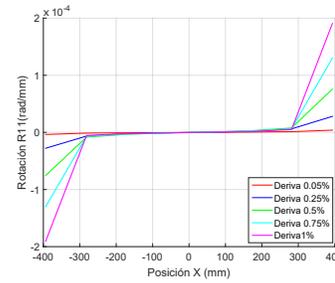
(e) Modelo $6\phi_{18}$.



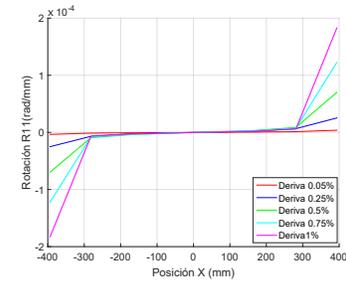
(f) Modelo $8\phi_{18}$.



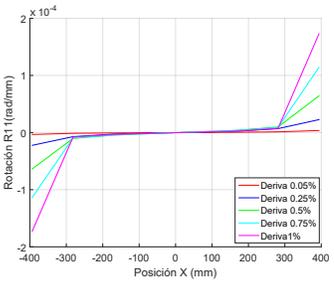
(g) Modelo $\phi_{8@15}$.



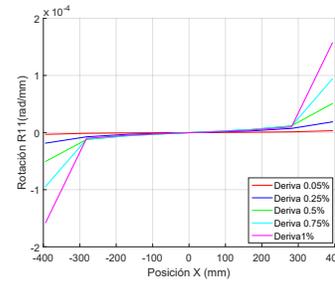
(h) Modelo $\phi_{10@15}$.



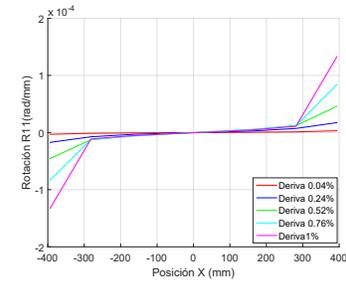
(i) Modelo $\phi_{10@10}$.



(j) Modelo $\phi_{12@10}$.

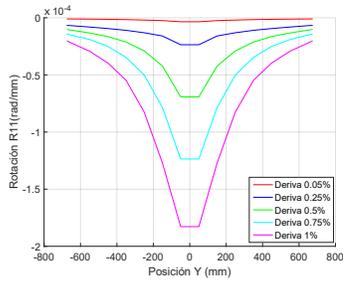


(k) Modelo $\phi_{16@10}$.

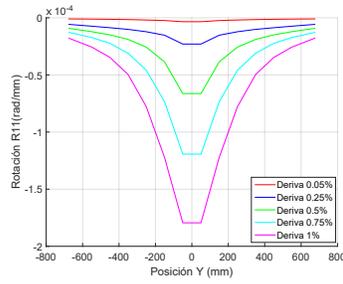


(l) Modelo $\phi_{18@10}$.

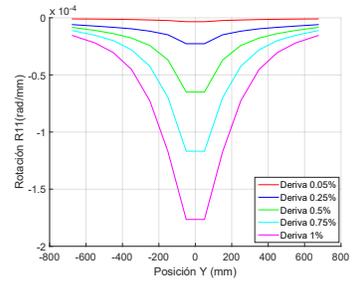
Figura E.6: R11 vs X.



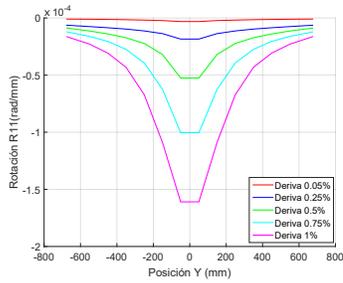
(a) Modelo $4\phi_{12}$.



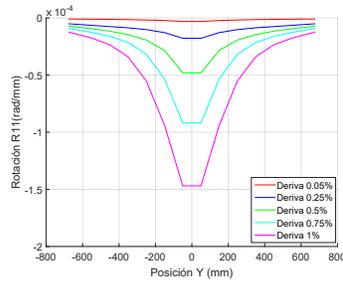
(b) Modelo $6\phi_{12}$.



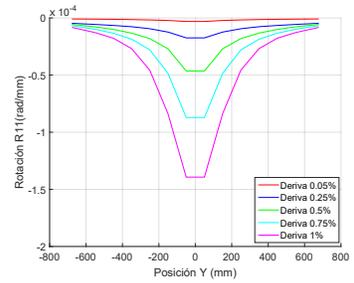
(c) Modelo $8\phi_{12}$.



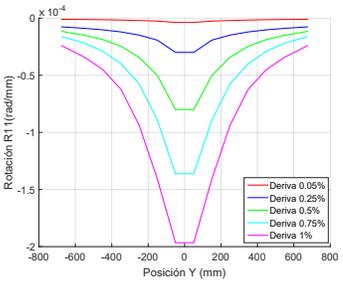
(d) Modelo $4\phi_{18}$.



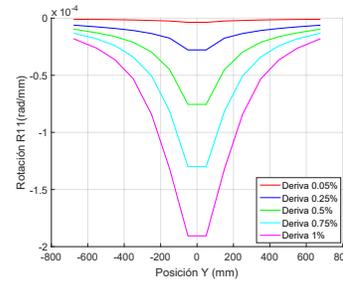
(e) Modelo $6\phi_{18}$.



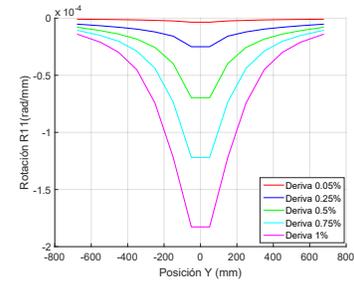
(f) Modelo $8\phi_{18}$.



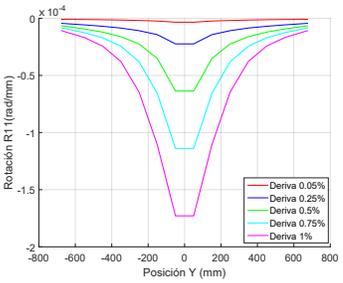
(g) Modelo $\phi_{8@15}$.



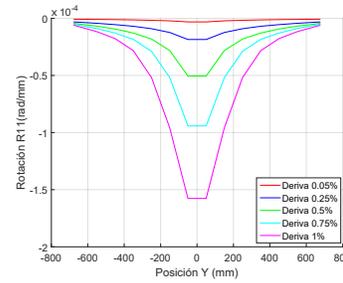
(h) Modelo $\phi_{10@15}$.



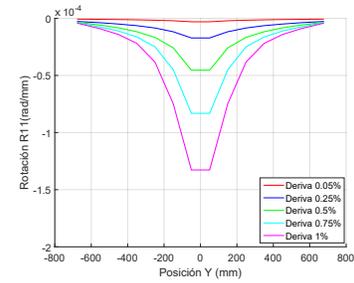
(i) Modelo $\phi_{10@10}$.



(j) Modelo $\phi_{12@10}$.

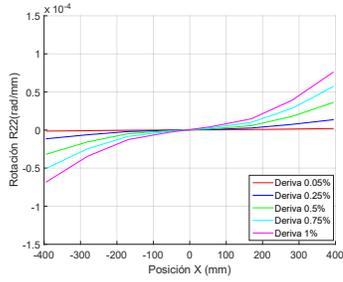


(k) Modelo $\phi_{16@10}$.

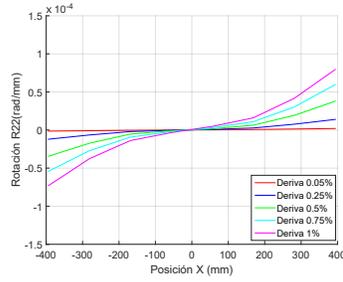


(l) Modelo $\phi_{18@10}$.

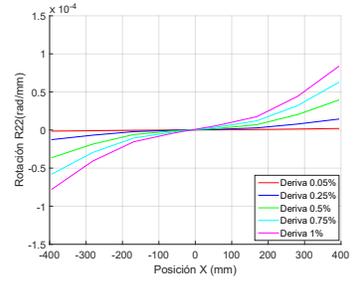
Figura E.7: R11 vs Y.



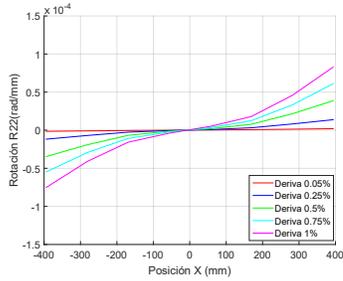
(a) Modelo $4\phi_{12}$.



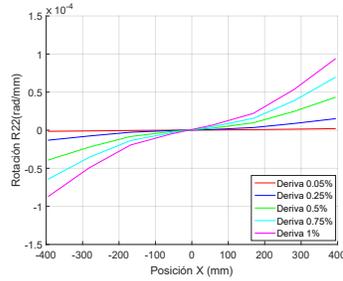
(b) Modelo $6\phi_{12}$.



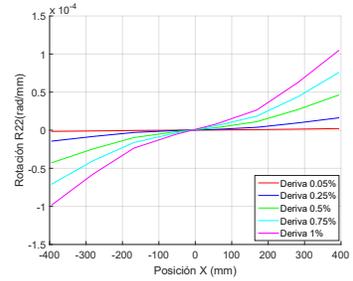
(c) Modelo $8\phi_{12}$.



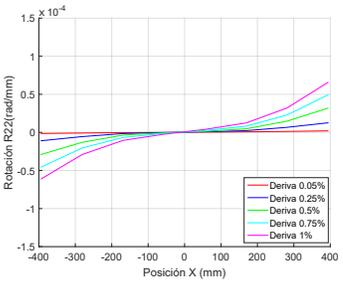
(d) Modelo $4\phi_{18}$.



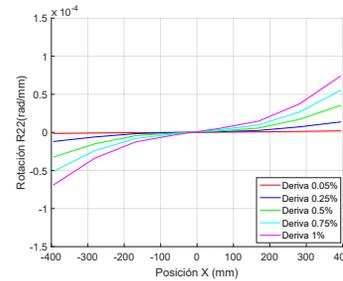
(e) Modelo $6\phi_{12}$.



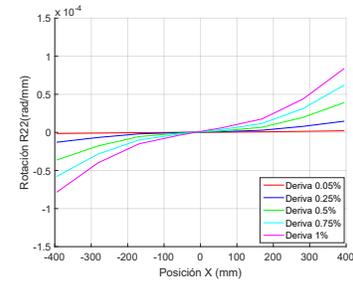
(f) Modelo $8\phi_{18}$.



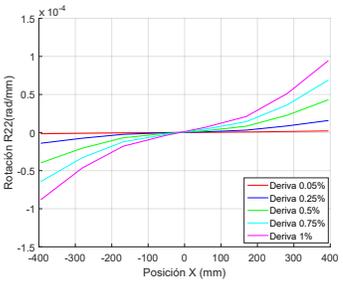
(g) Modelo $\phi_{8@15}$.



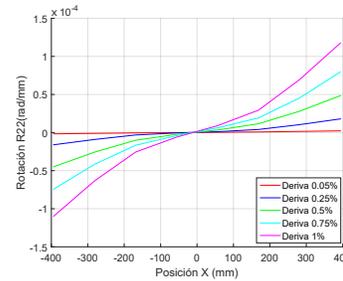
(h) Modelo $\phi_{10@15}$.



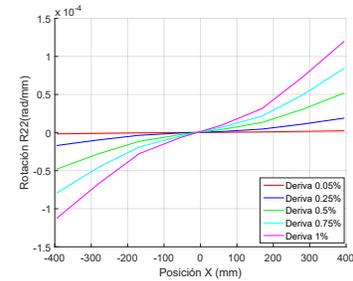
(i) Modelo $\phi_{10@10}$.



(j) Modelo $\phi_{12@10}$.

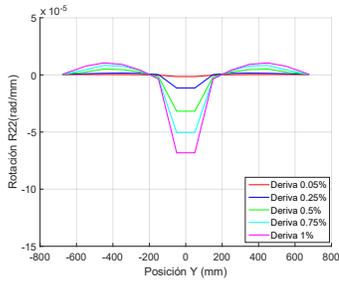


(k) Modelo $\phi_{16@10}$.

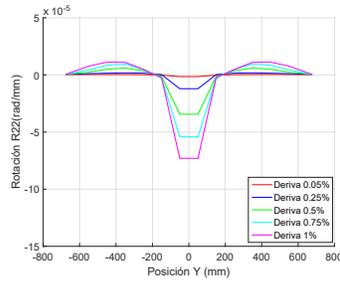


(l) Modelo $\phi_{18@10}$.

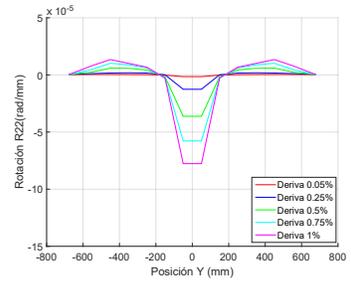
Figura E.8: R22 vs X.



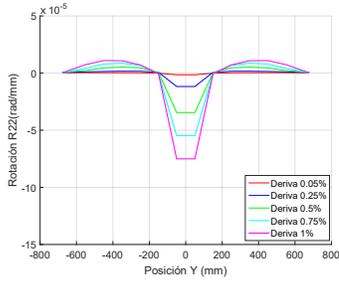
(a) Modelo $4\phi_{12}$.



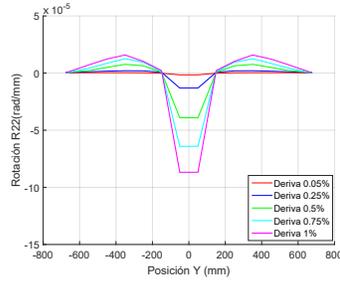
(b) Modelo $6\phi_{12}$.



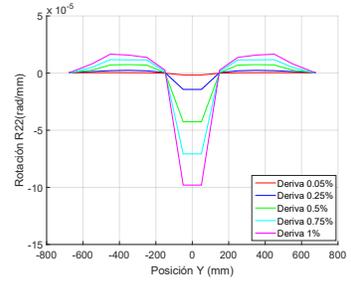
(c) Modelo $8\phi_{12}$.



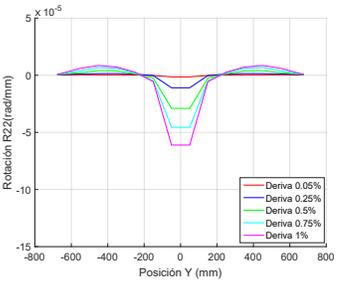
(d) Modelo $4\phi_{18}$.



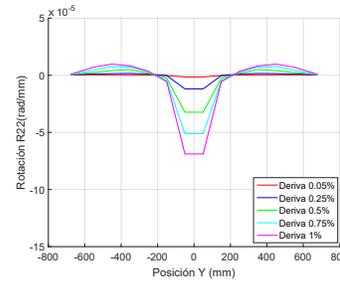
(e) Modelo $6\phi_{18}$.



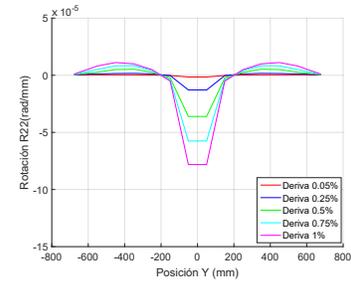
(f) Modelo $8\phi_{18}$.



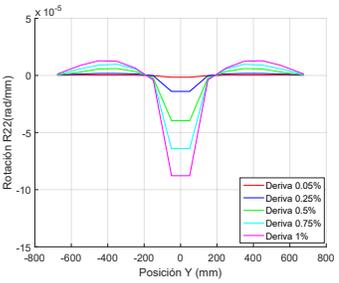
(g) Modelo $\phi_{8@15}$.



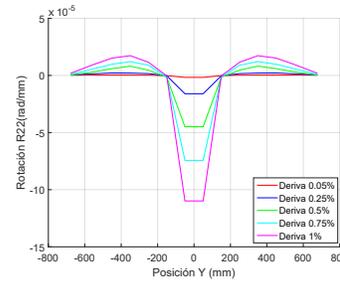
(h) Modelo $\phi_{10@15}$.



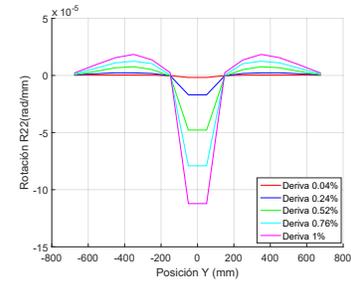
(i) Modelo $\phi_{10@10}$.



(j) Modelo $\phi_{12@10}$.



(k) Modelo $\phi_{16@10}$.



(l) Modelo $\phi_{18@10}$.

Figura E.9: R22 vs Y.

E.3. Esfuerzos resultantes

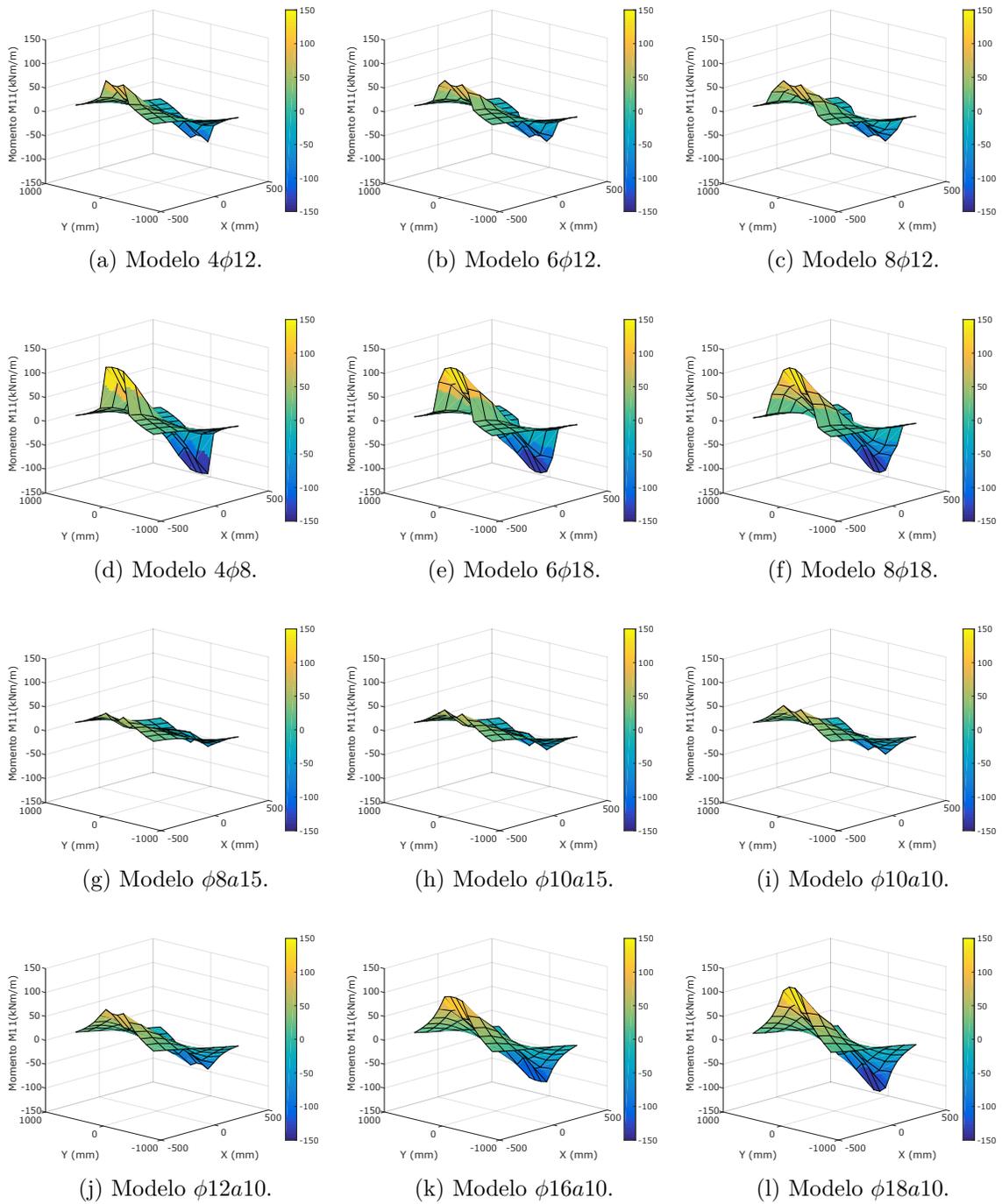
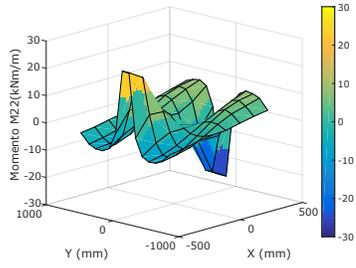
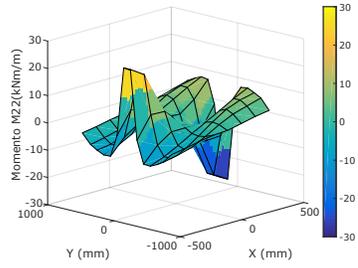


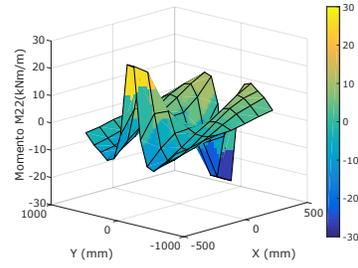
Figura E.10: M11 de la losa para una deriva de 0.50%, modelos de 1 piso.



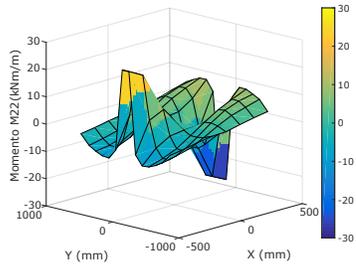
(a) Modelo $4\phi12$.



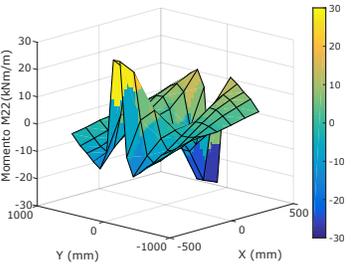
(b) Modelo $6\phi12$.



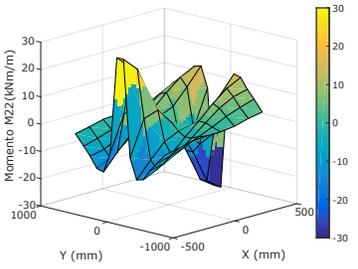
(c) Modelo $8\phi12$.



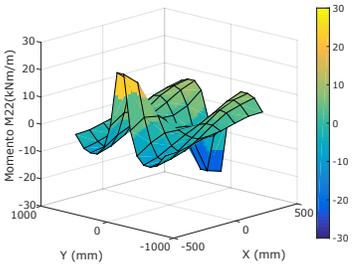
(d) Modelo $4\phi18$.



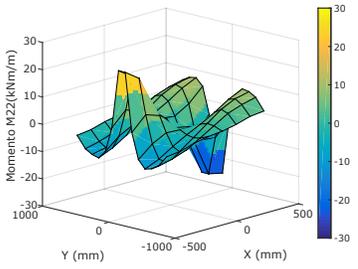
(e) Modelo $6\phi18$.



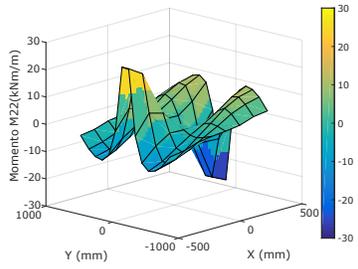
(f) Modelo $8\phi18$.



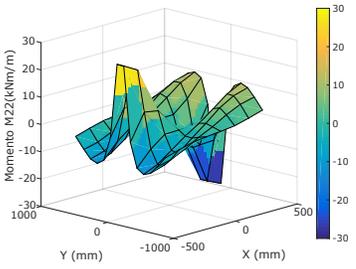
(g) Modelo $\phi8a15$.



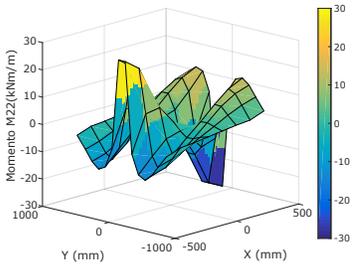
(h) Modelo $\phi10a15$.



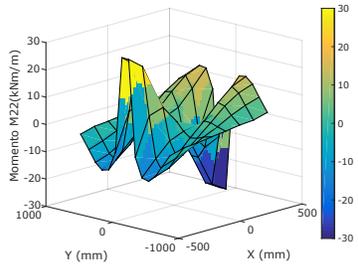
(i) Modelo $\phi10a10$.



(j) Modelo $\phi12a10$.



(k) Modelo $\phi16a10$.



(l) Modelo $\phi18a10$.

Figura E.11: M22 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.

E.4. Deformación resultante

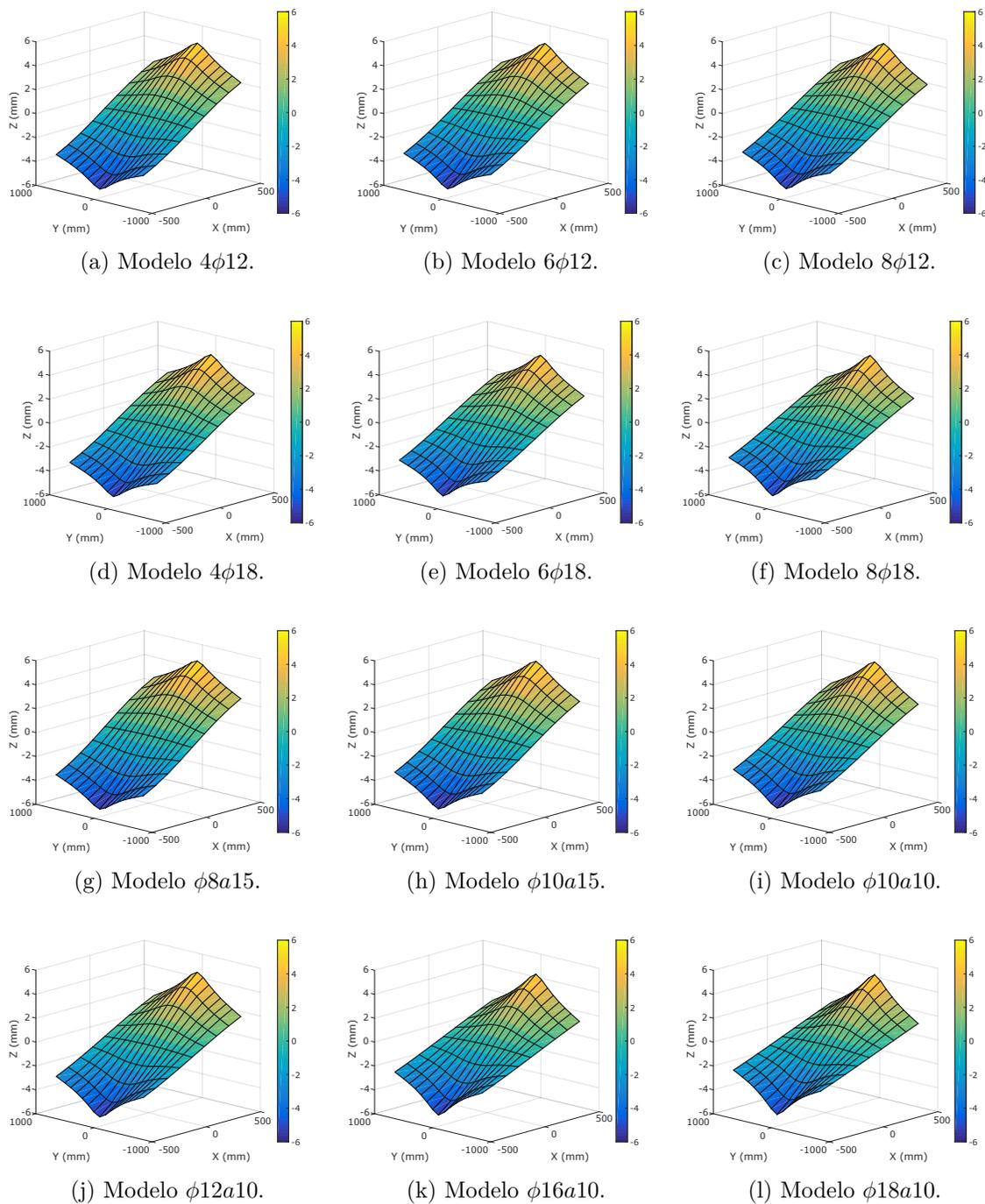


Figura E.12: Deformación de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.

E.5. Deformaciones unitarias

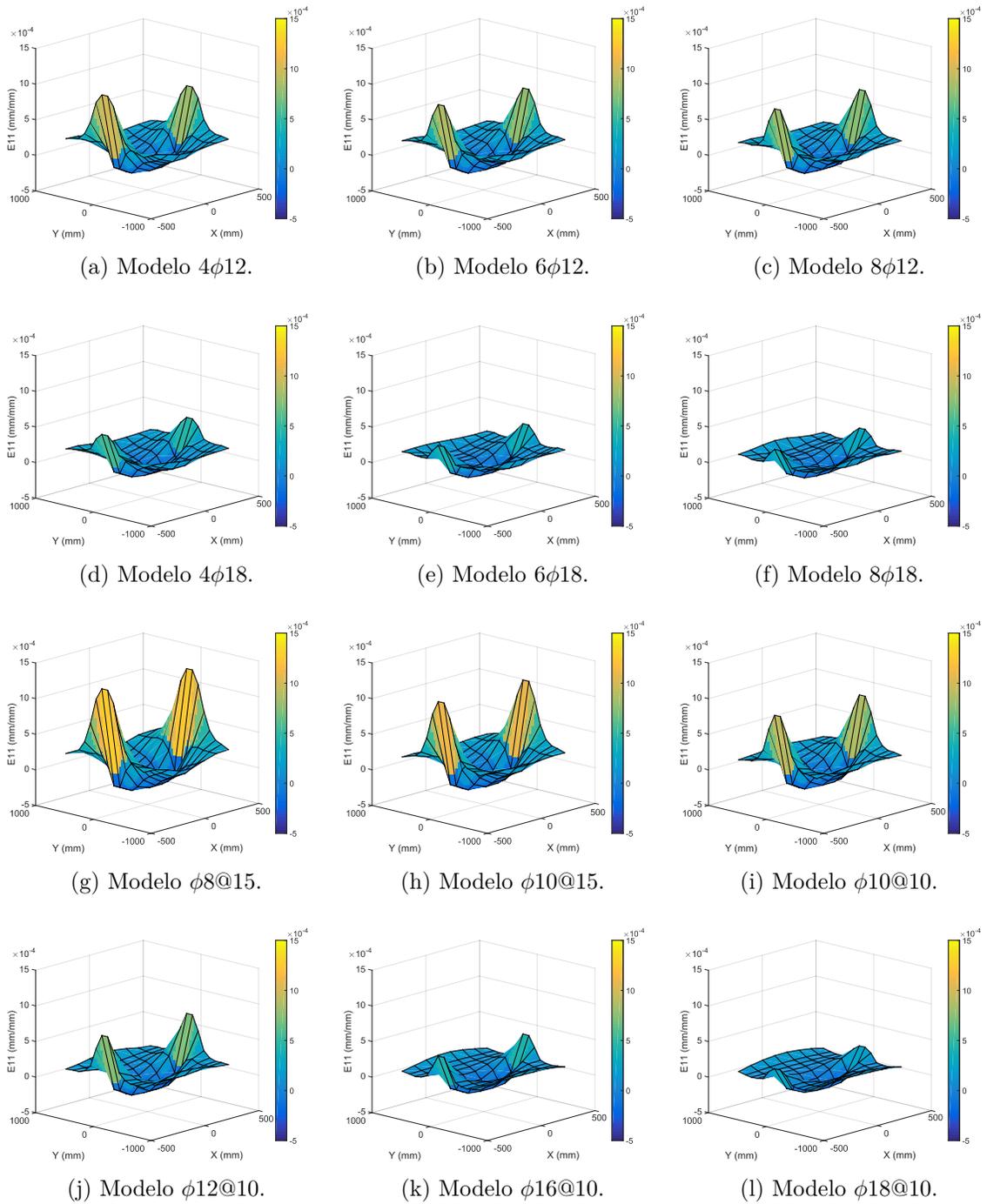


Figura E.13: E_{11} de la losa para una deriva de 0.50%, modelos de 1 piso.

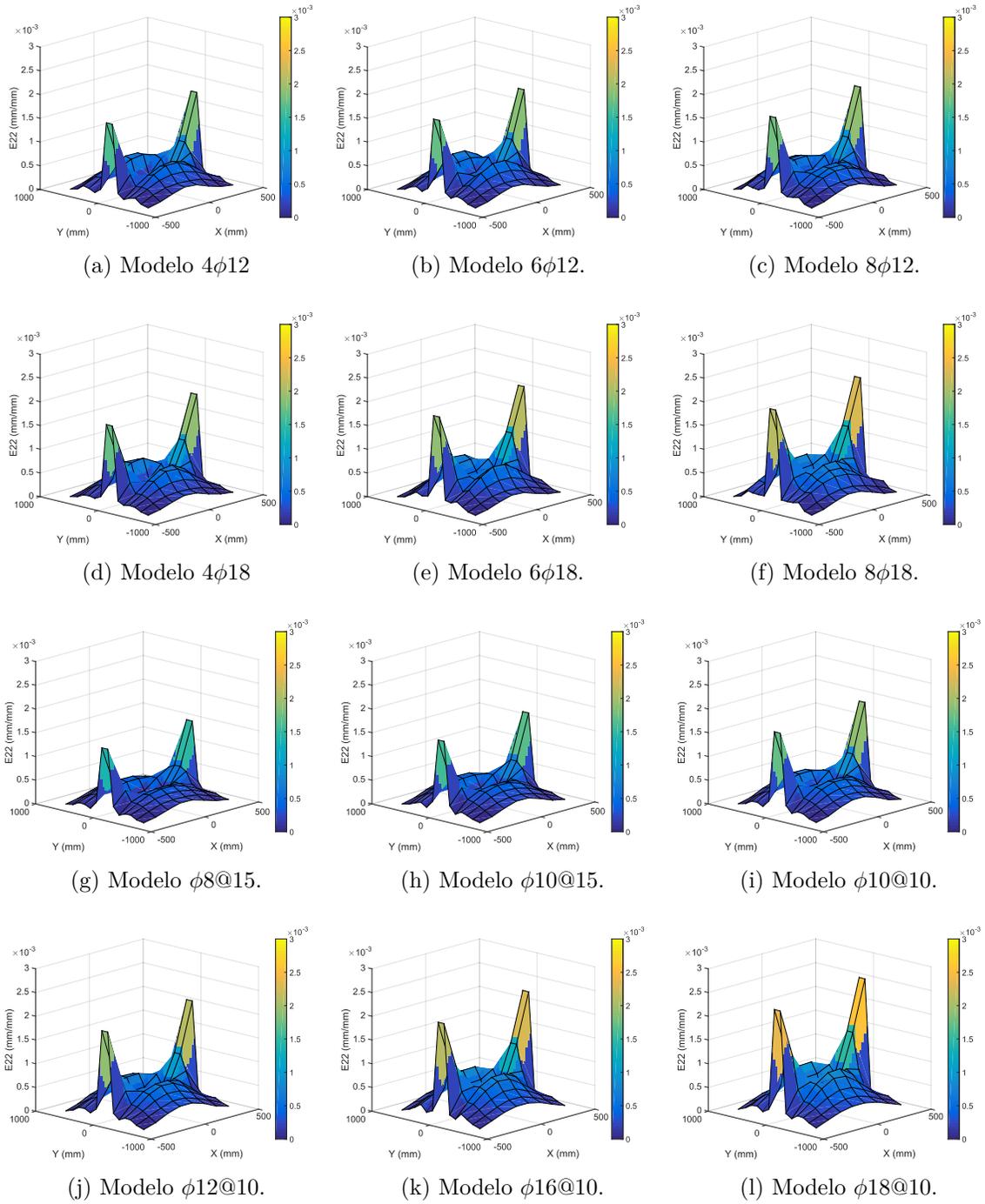
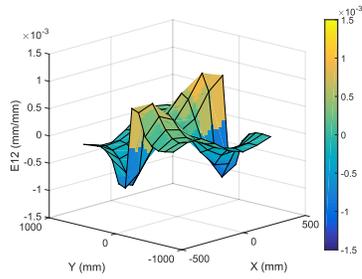
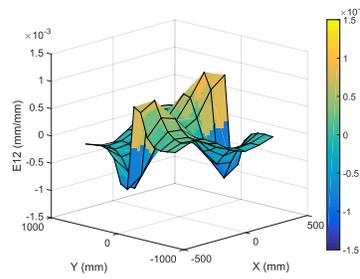


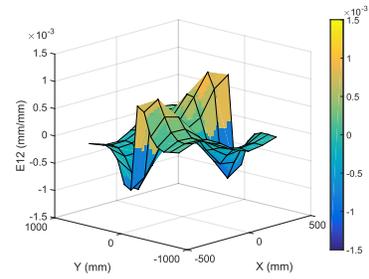
Figura E.14: E22 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.



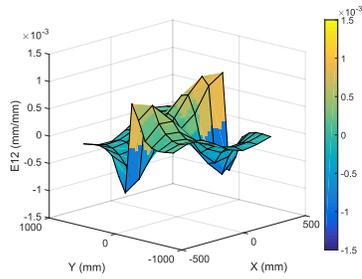
(a) Modelo $4\phi12$.



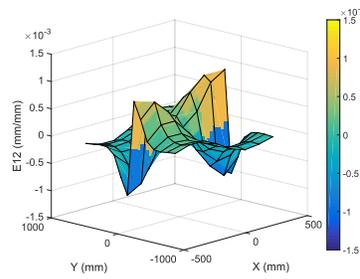
(b) Modelo $6\phi12$.



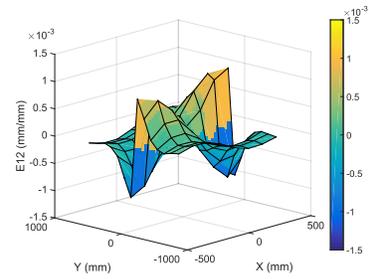
(c) Modelo $8\phi12$.



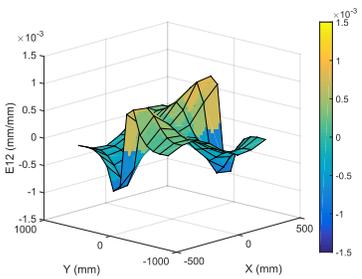
(d) Modelo $4\phi18$.



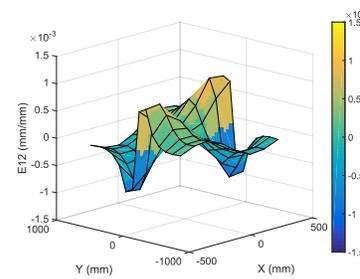
(e) Modelo $6\phi18$.



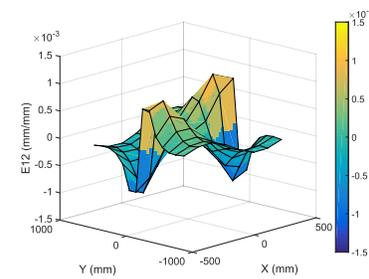
(f) Modelo $8\phi18$.



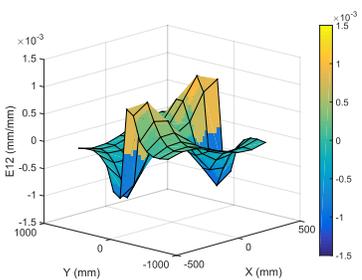
(g) Modelo $\phi8@15$.



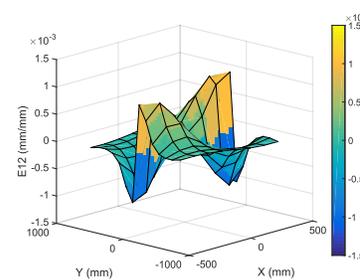
(h) Modelo $\phi10@15$.



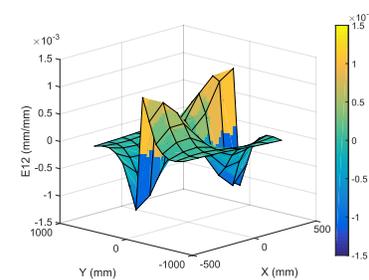
(i) Modelo $\phi10@10$.



(j) Modelo $\phi12@10$.

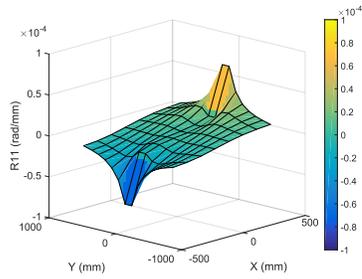


(k) Modelo $\phi16@10$.

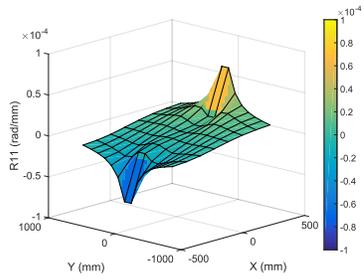


(l) Modelo $\phi18@10$.

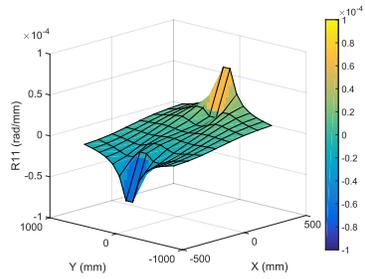
Figura E.15: E12 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.



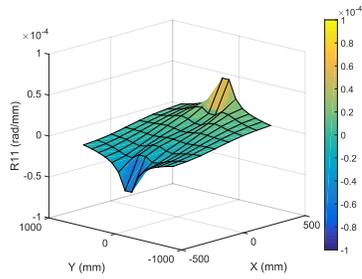
(a) Modelo $4\phi 12$.



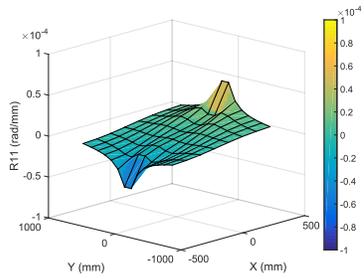
(b) Modelo $6\phi 12$.



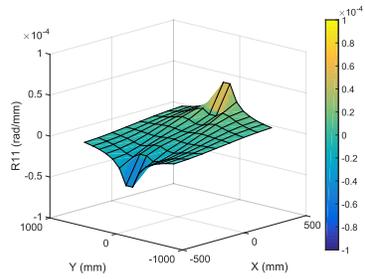
(c) Modelo $8\phi 12$.



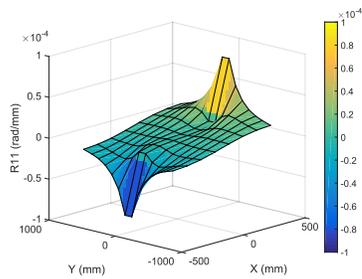
(d) Modelo $4\phi 18$.



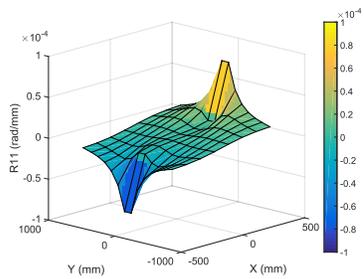
(e) Modelo $6\phi 18$.



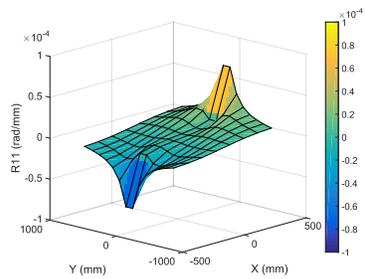
(f) Modelo $8\phi 18$.



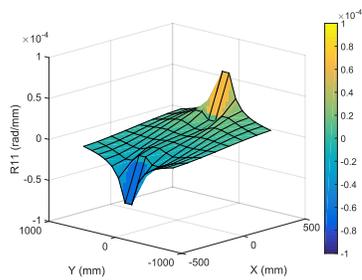
(g) Modelo $\phi 8@15$.



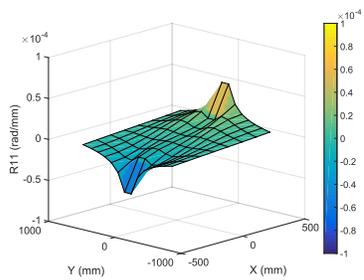
(h) Modelo $\phi 10@15$.



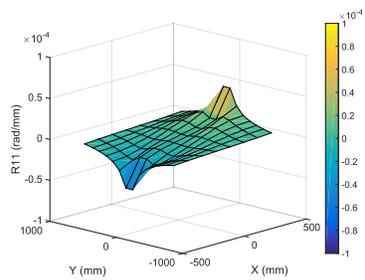
(i) Modelo $\phi 10@10$.



(j) Modelo $\phi 12@10$.

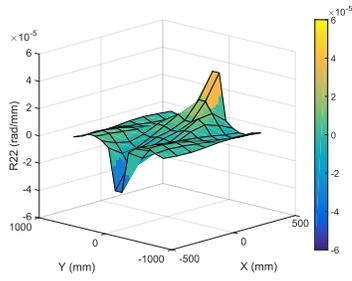


(k) Modelo $\phi 16@10$.

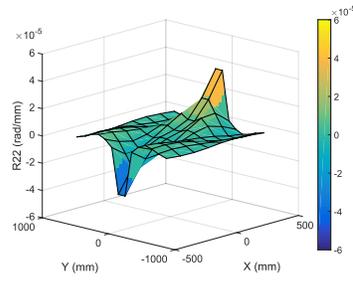


(l) Modelo $\phi 18@10$.

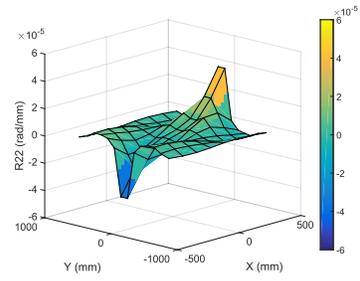
Figura E.16: R11 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.



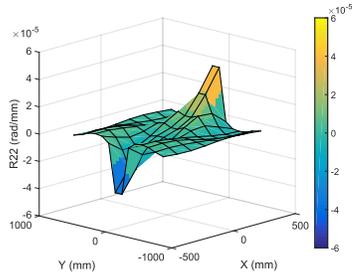
(a) Modelo $4\phi 12$.



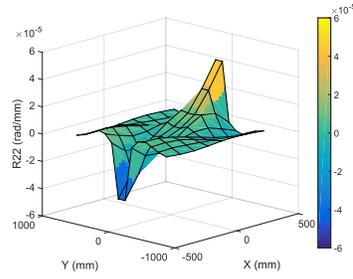
(b) Modelo $6\phi 12$.



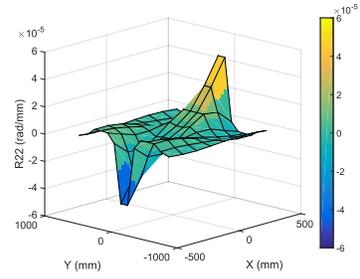
(c) Modelo $8\phi 12$.



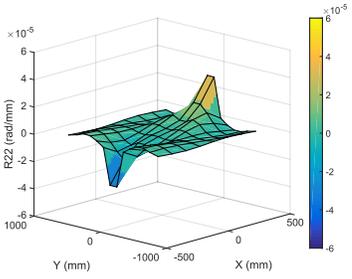
(d) Modelo $4\phi 18$.



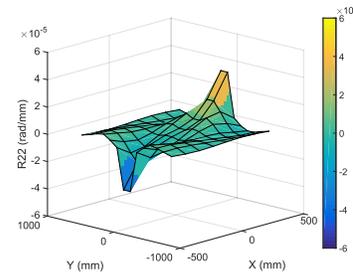
(e) Modelo $6\phi 18$.



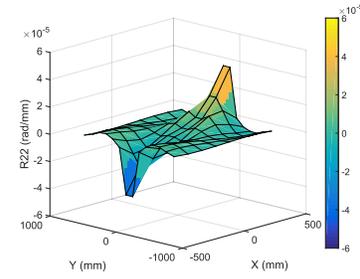
(f) Modelo $8\phi 18$.



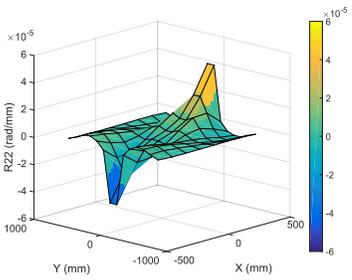
(g) Modelo $\phi 8@15$.



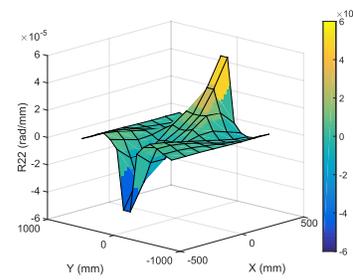
(h) Modelo $\phi 10@15$.



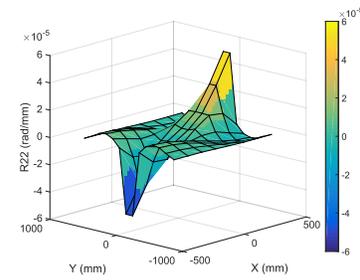
(i) Modelo $\phi 10@10$.



(j) Modelo $\phi 12@10$.

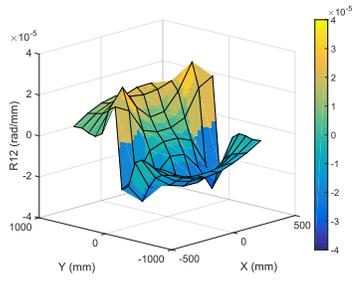


(k) Modelo $\phi 16@10$.

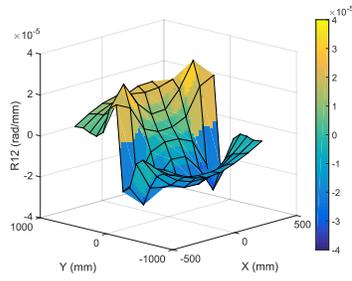


(l) Modelo $\phi 18@10$.

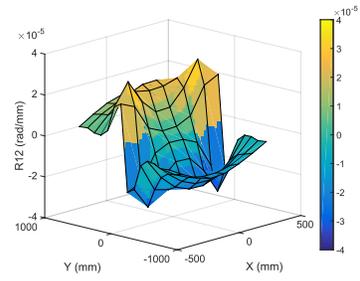
Figura E.17: R22 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.



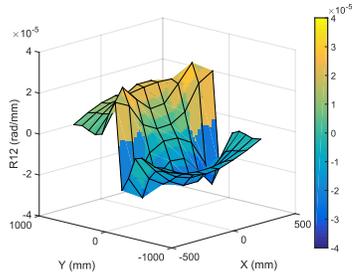
(a) Modelo $4\phi 12$.



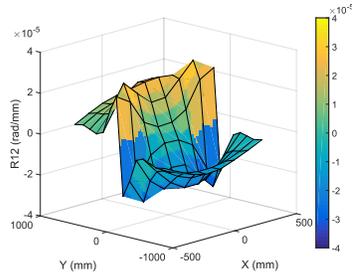
(b) Modelo $6\phi 12$.



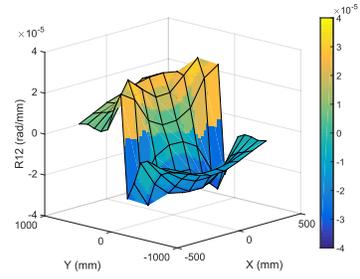
(c) Modelo $8\phi 12$.



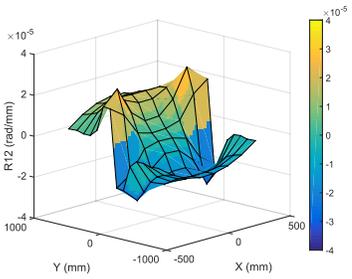
(d) Modelo $4\phi 18$.



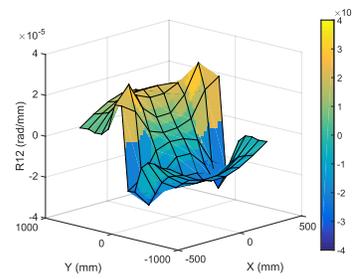
(e) Modelo $6\phi 18$.



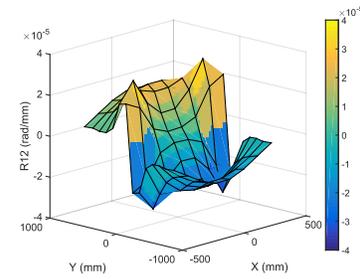
(f) Modelo $8\phi 18$.



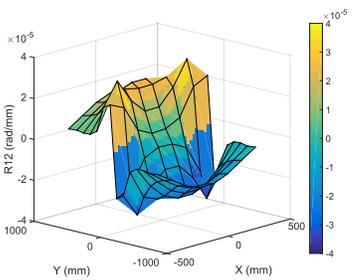
(g) Modelo $\phi 8@15$.



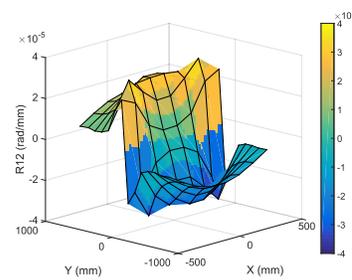
(h) Modelo $\phi 10@15$.



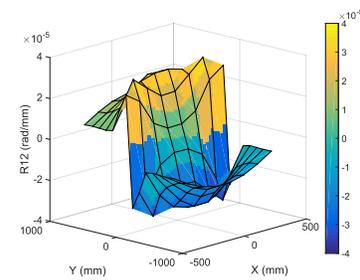
(i) Modelo $\phi 10@10$.



(j) Modelo $\phi 12@10$.



(k) Modelo $\phi 16@10$.



(l) Modelo $\phi 18@10$.

Figura E.18: R12 de la losa para una deriva de 0.50 %, modelos de 1 piso.

E.6. Concentración de corte y momento

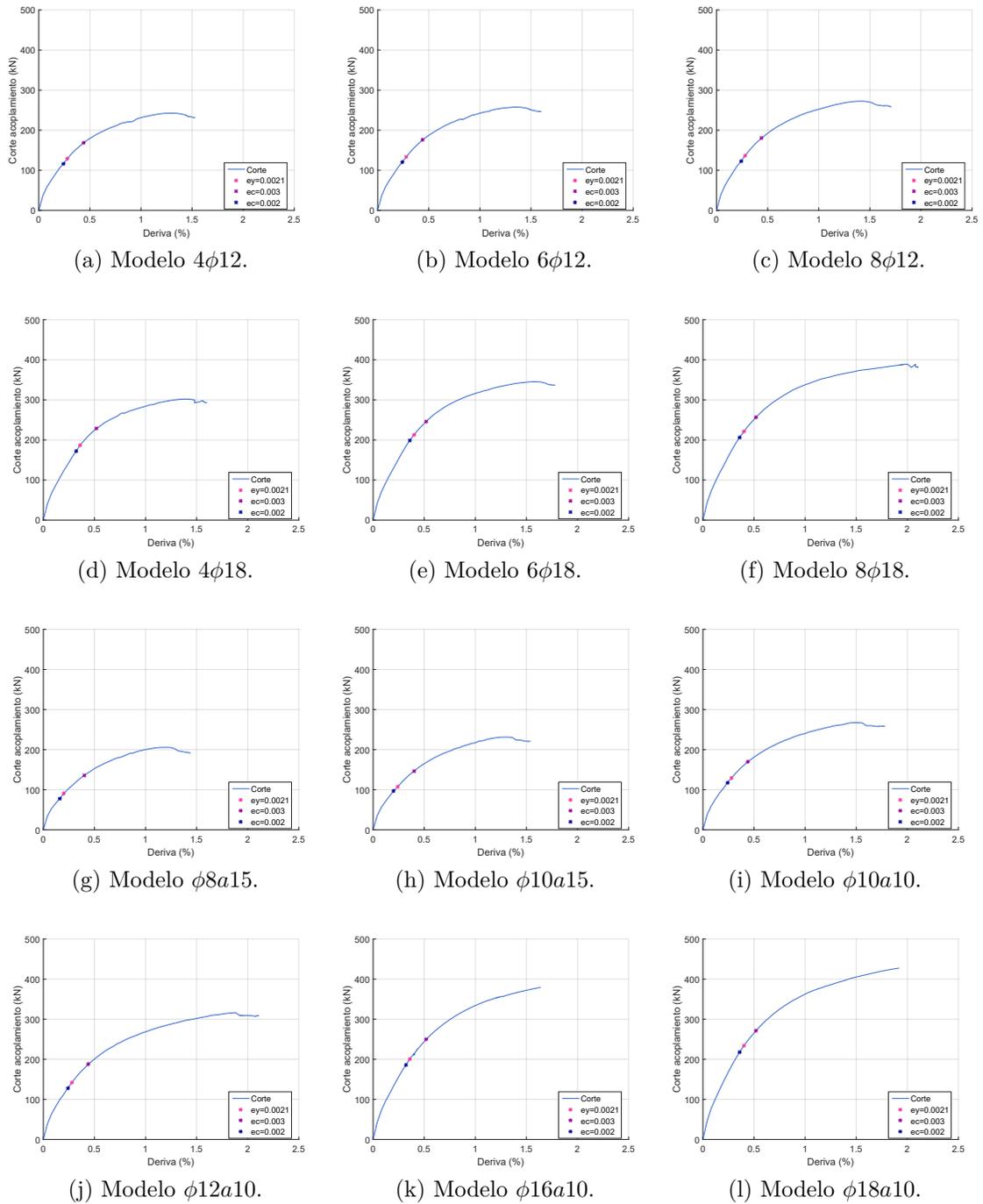
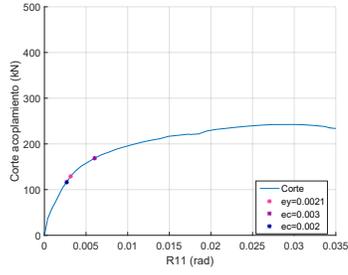
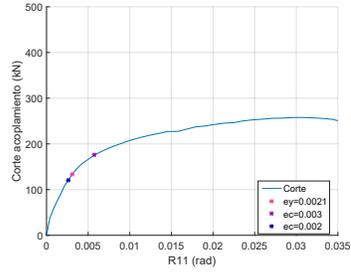


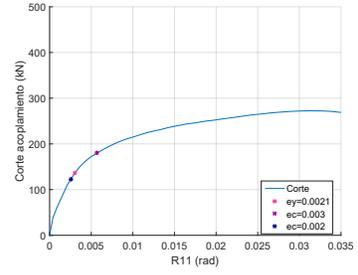
Figura E.19: Corte vs Deriva, modelos de 1 piso.



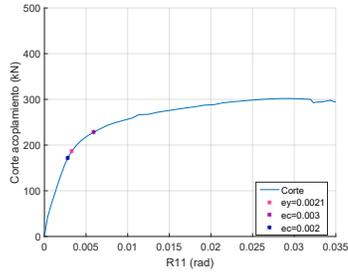
(a) Modelo $4\phi 12$.



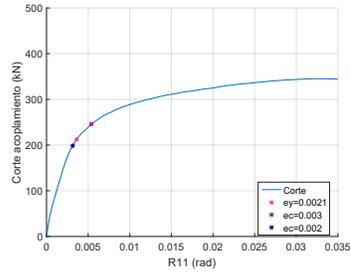
(b) Modelo $6\phi 12$.



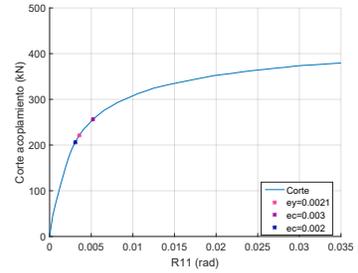
(c) Modelo $8\phi 12$.



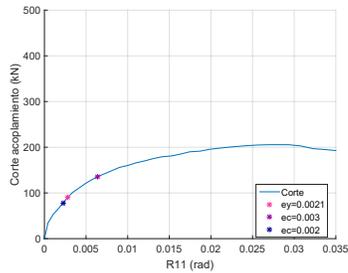
(d) Modelo $4\phi 18$.



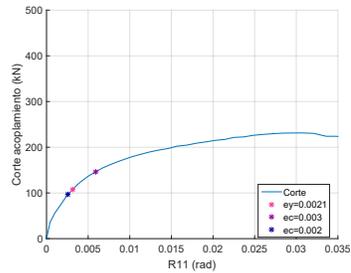
(e) Modelo $6\phi 18$.



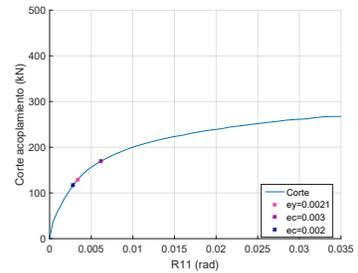
(f) Modelo $8\phi 18$.



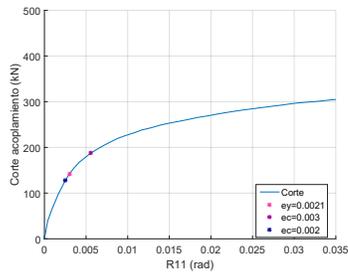
(g) Modelo $\phi 8a15$.



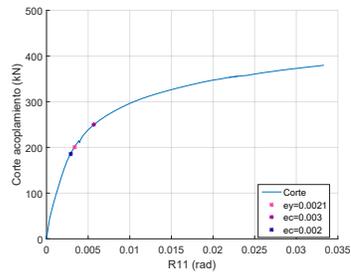
(h) Modelo $\phi 10a15$.



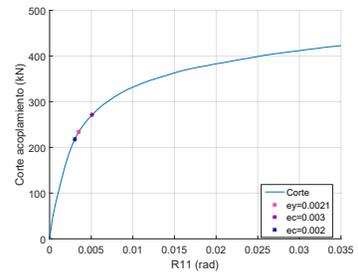
(i) Modelo $\phi 10a10$.



(j) Modelo $\phi 12a10$.

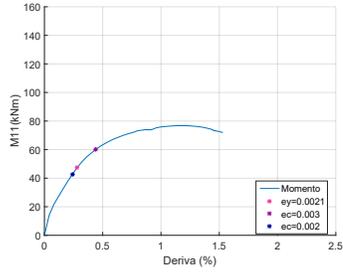


(k) Modelo $\phi 16a10$.

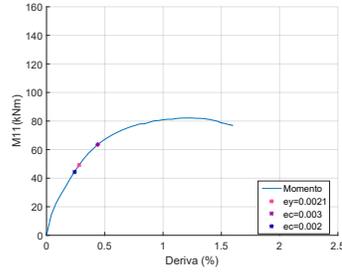


(l) Modelo $\phi 18a10$.

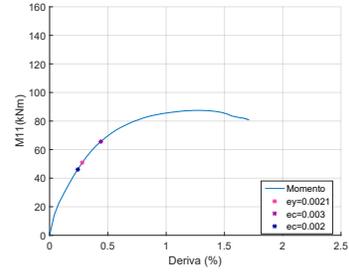
Figura E.20: Corte vs R11, modelos de 1 piso.



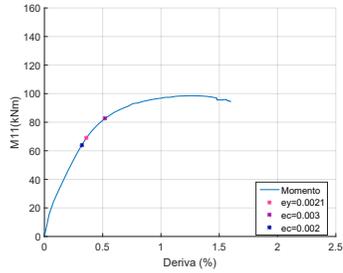
(a) Modelo $4\phi 12$.



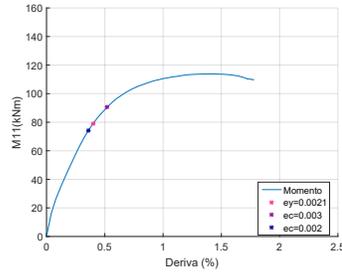
(b) Modelo $6\phi 12$.



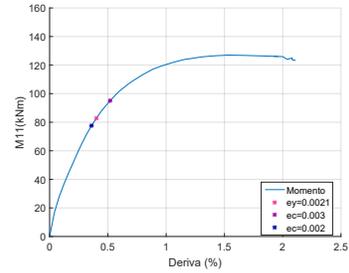
(c) Modelo $8\phi 12$.



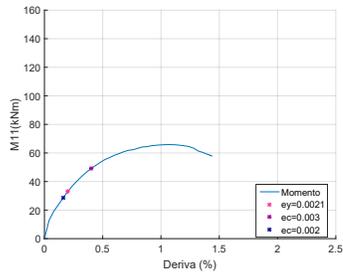
(d) Modelo $4\phi 18$.



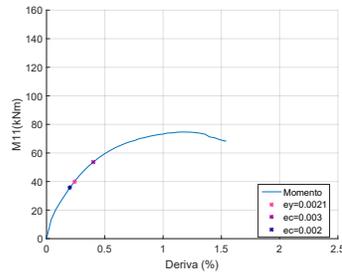
(e) Modelo $6\phi 18$.



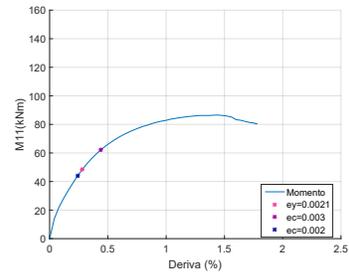
(f) Modelo $8\phi 18$.



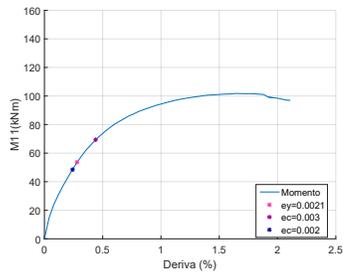
(g) Modelo $\phi 8a15$.



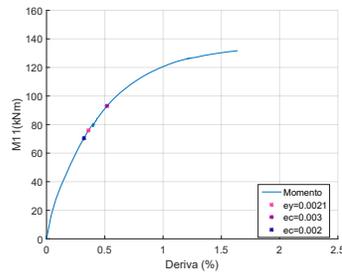
(h) Modelo $\phi 10a15$.



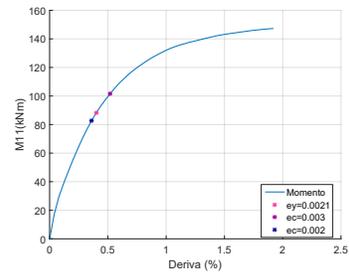
(i) Modelo $\phi 10a10$.



(j) Modelo $\phi 12a10$.

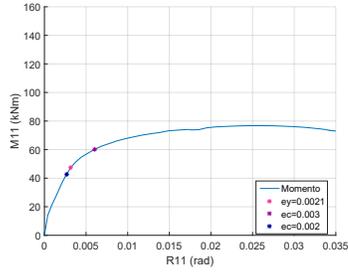


(k) Modelo $\phi 16a10$.

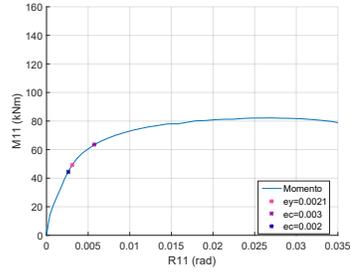


(l) Modelo $\phi 18a10$.

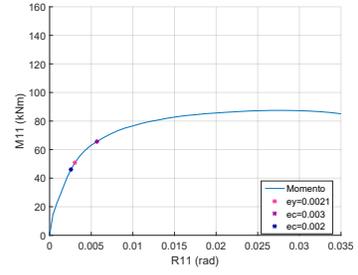
Figura E.21: Momento vs Deriva, modelos de 1 piso.



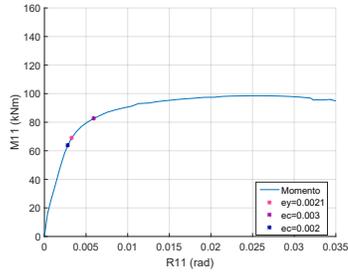
(a) Modelo $4\phi 12$.



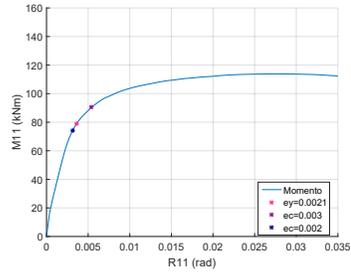
(b) Modelo $6\phi 12$.



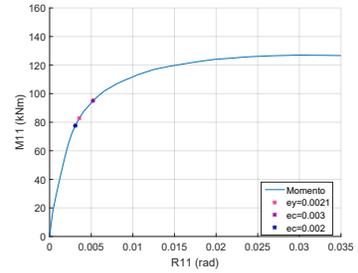
(c) Modelo $8\phi 12$.



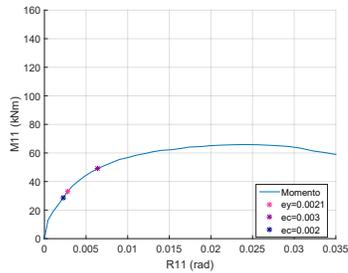
(d) Modelo $4\phi 18$.



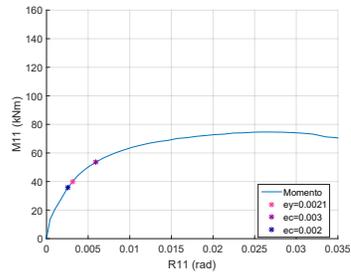
(e) Modelo $6\phi 18$.



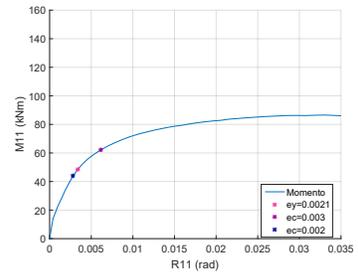
(f) Modelo $8\phi 18$.



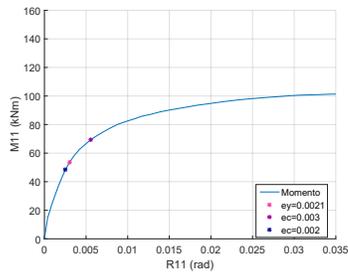
(g) Modelo $\phi 8a15$.



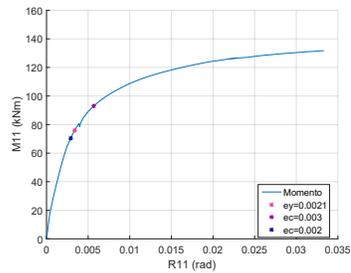
(h) Modelo $\phi 10a15$.



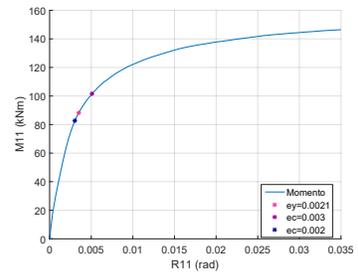
(i) Modelo $\phi 10a10$.



(j) Modelo $\phi 12a10$.



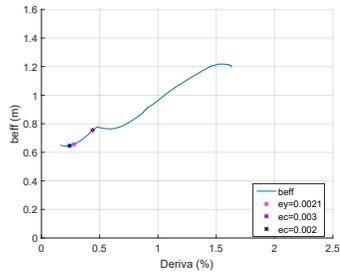
(k) Modelo $\phi 16a10$.



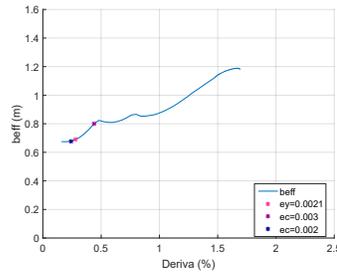
(l) Modelo $\phi 18a10$.

Figura E.22: Momento vs R11, modelos de 1 piso.

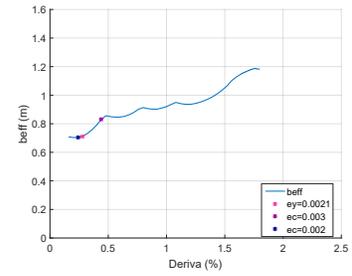
E.7. Ancho efectivo



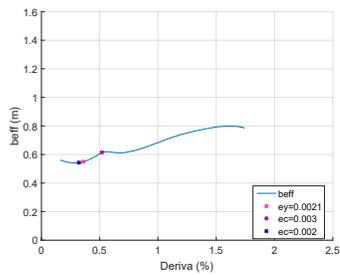
(a) Modelo $4\phi 12$.



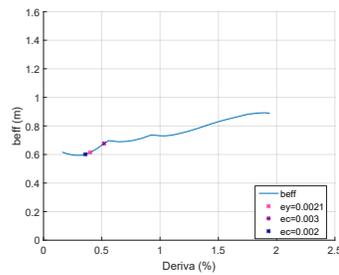
(b) Modelo $6\phi 12$.



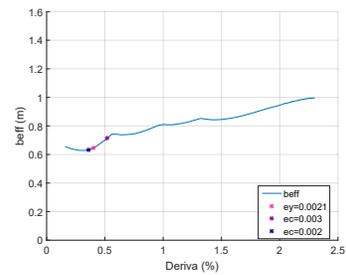
(c) Modelo $8\phi 12$.



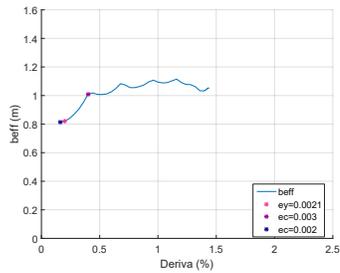
(d) Modelo $4\phi 18$.



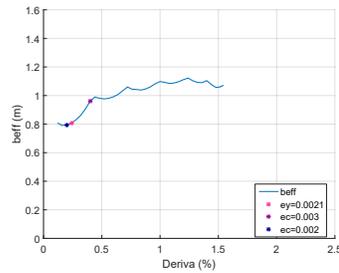
(e) Modelo $6\phi 18$.



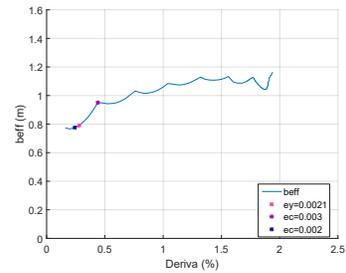
(f) Modelo $8\phi 18$.



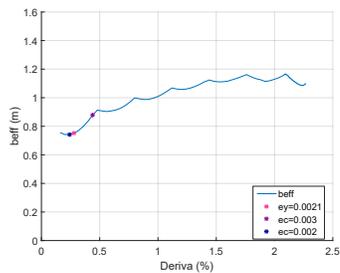
(g) Modelo $\phi 8a15$.



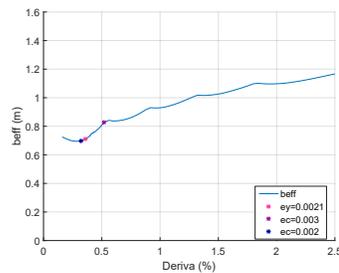
(h) Modelo $\phi 10a15$.



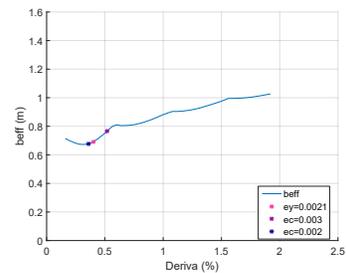
(i) Modelo $\phi 10a10$.



(j) Modelo $\phi 12@10$.

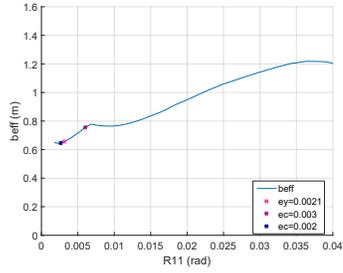


(k) Modelo $\phi 16@10$.

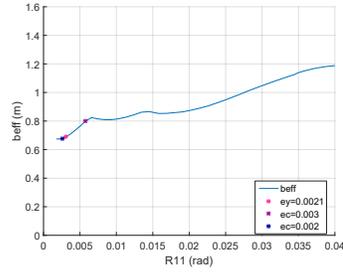


(l) Modelo $\phi 18@10$.

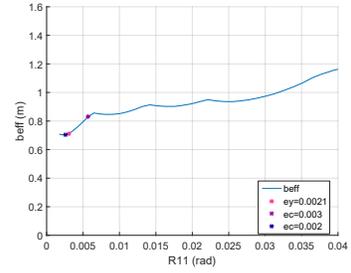
Figura E.23: b_{eff} vs Deriva, modelos de 1 piso.



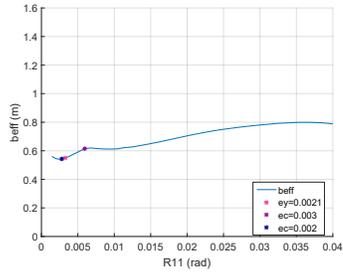
(a) Modelo $4\phi 12$.



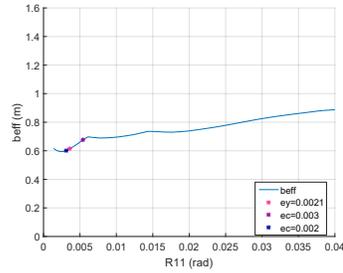
(b) Modelo $6\phi 12$.



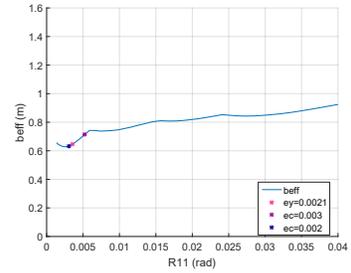
(c) Modelo $8\phi 12$.



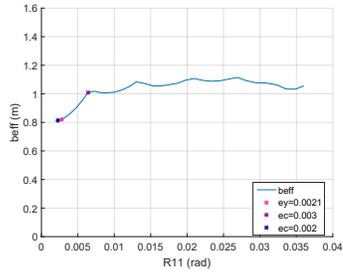
(d) Modelo $4\phi 18$.



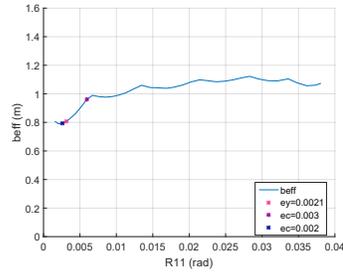
(e) Modelo $6\phi 18$.



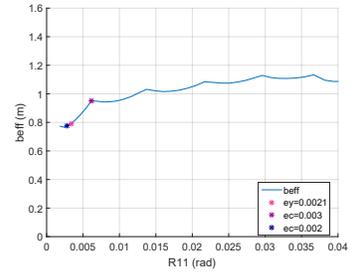
(f) Modelo $8\phi 18$.



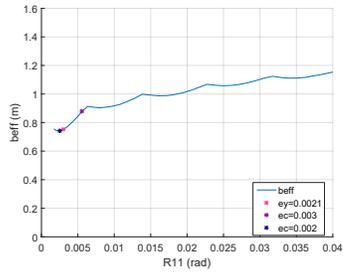
(g) Modelo $\phi 8a15$.



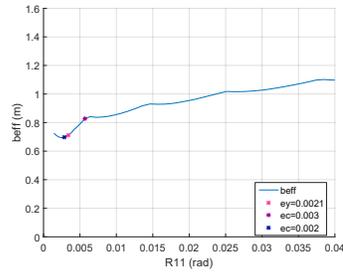
(h) Modelo $\phi 10a15$.



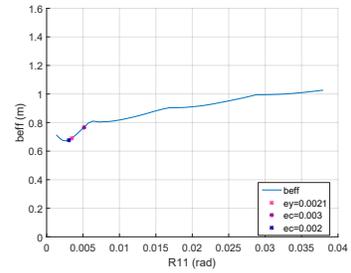
(i) Modelo $\phi 10a10$.



(j) Modelo $\phi 12@10$.

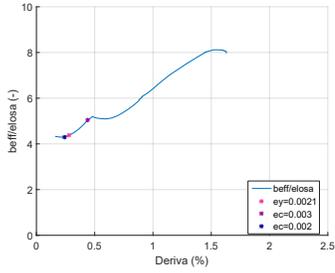


(k) Modelo $\phi 16@10$.

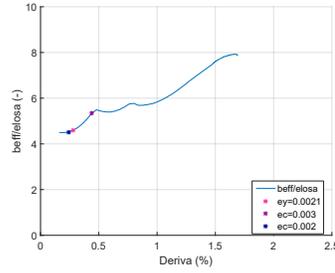


(l) Modelo $\phi 18@10$.

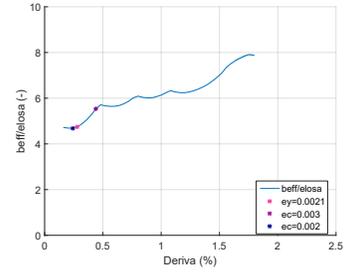
Figura E.24: b_{eff} vs R_{11} , modelos de 1 piso.



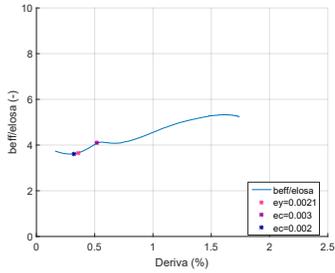
(a) Modelo $4\phi 12$.



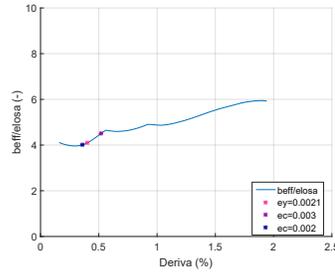
(b) Modelo $6\phi 12$.



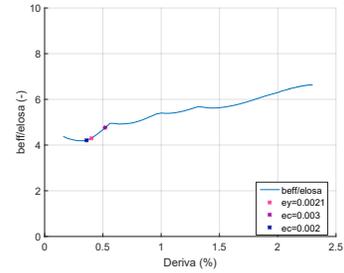
(c) Modelo $8\phi 12$.



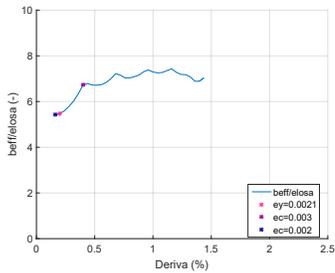
(d) Modelo $4\phi 18$.



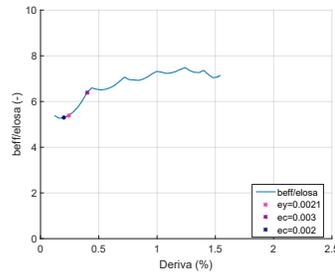
(e) Modelo $6\phi 18$.



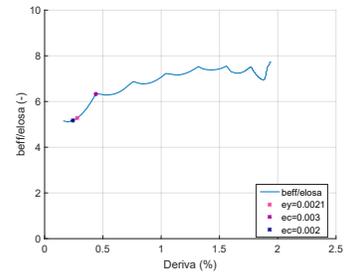
(f) Modelo $8\phi 18$.



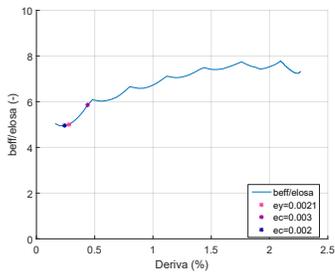
(g) Modelo $\phi 8@15$.



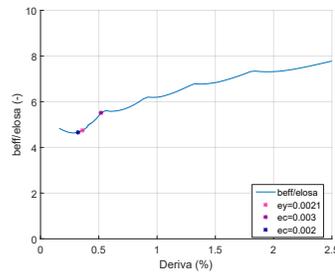
(h) Modelo $\phi 10@15$.



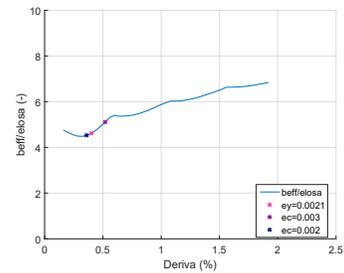
(i) Modelo $\phi 10@10$.



(j) Modelo $\phi 12@10$.

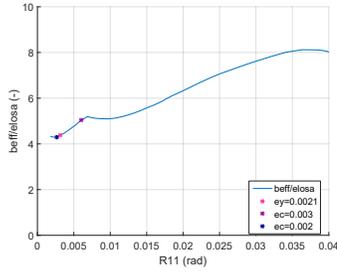


(k) Modelo $\phi 16@10$.

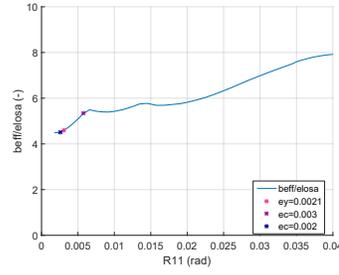


(l) Modelo $\phi 18@10$.

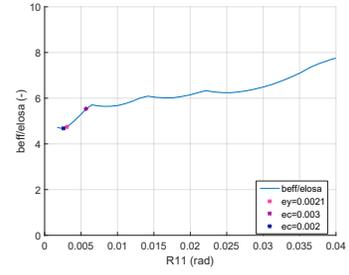
Figura E.25: b_{eff}/e_{losa} vs Deriva, modelos de 1 piso.



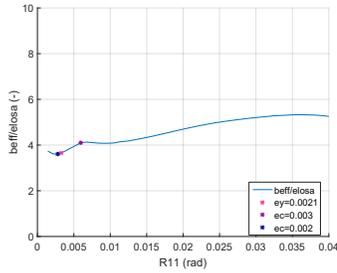
(a) Modelo $4\phi_{12}$.



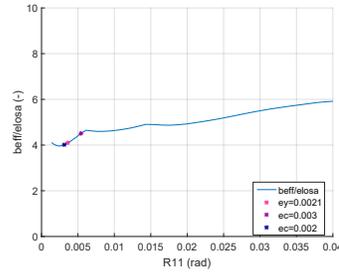
(b) Modelo $6\phi_{12}$.



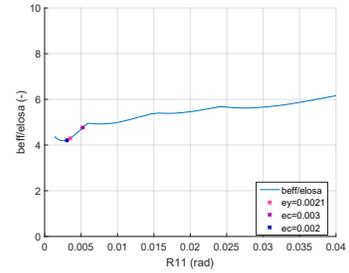
(c) Modelo $8\phi_{12}$.



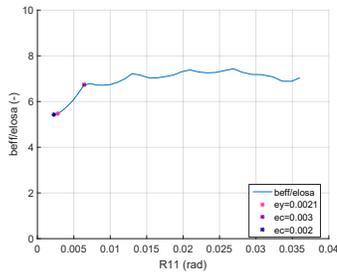
(d) Modelo $4\phi_{18}$.



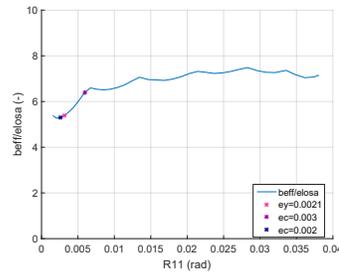
(e) Modelo $6\phi_{18}$.



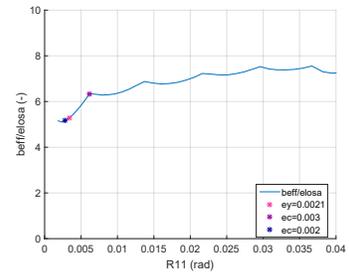
(f) Modelo $8\phi_{18}$.



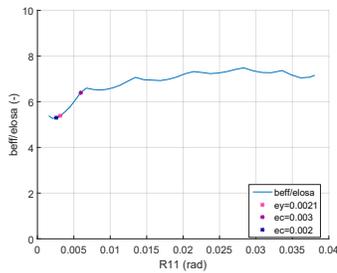
(g) Modelo $\phi_{8@15}$.



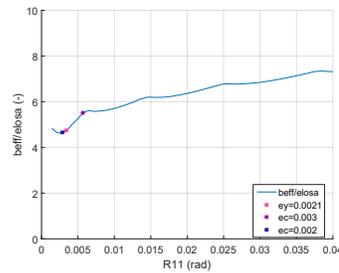
(h) Modelo $\phi_{10@15}$.



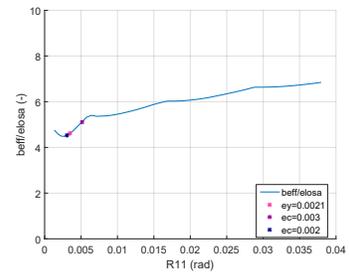
(i) Modelo $\phi_{10@10}$.



(j) Modelo $\phi_{12@10}$.



(k) Modelo $\phi_{16@10}$.



(l) Modelo $\phi_{18@10}$.

Figura E.26: b_{eff}/e_{losa} vs R11, modelos de 1 piso.