

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
POSGRADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

**MÉTODO SIMPLIFICADO PARA DETERMINAR  
EL MOMENTO DE DISEÑO EN NERVADURAS  
DE LOSAS ENCASETONADAS**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

P R E S E N T A:

**GALET VINAT DÍAZ LUGO**

Asesor:

**DR. GELACIO JUÁREZ LUNA**

México, D.F. Noviembre 2015

# Agradecimientos

Agradezco a mis padres Víctor Díaz Sánchez y Margarita Lugo Villeda por su apoyo incondicional, por haberme inculcado los valores de superación, respeto y honradez, muchos de mis logros se los debo a ustedes, a mis hermanos, Víctor y Annel que siempre me han brindado su confianza y respeto.

Agradezco a la vida por haberme brindado la dicha de conocer a la mujer que desinteresadamente ha estado a mi lado y que a pesar de las dificultades siempre ha estado brindándome su comprensión, cariño y amor, gracias Monserrath Vera.

Agradezco al Dr. Gelacio Juárez Luna por su colaboración como director de esta tesis, por creer en este proyecto que sin su ayuda no sería posible y por haberme brindado su amistad y confianza.

Agradezco al Dr. Manuel Eurípides Ruiz Sandoval Hernández, por brindarme sus valiosas sugerencias y comentarios en la revisión para la realización de esta tesis.

Agradezco al Dr. Fernando Peña Mondragón por brindarme un poco de su valioso tiempo para la revisión de este trabajo y por sus acertados comentarios para enriquecer este trabajo de tesis.

A mis profesores del posgrado de Ingeniería Estructural de la UAM-AZC, por brindarme su confianza y una educación de calidad, además de ese amor a la profesión que se inculcan en todas las aulas del posgrado.

A la Universidad Autónoma Metropolitana por haberme albergado como mi casa de estudios de licenciatura y posgrado.

Por último, agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para la realización de este trabajo de investigación.

# Índice

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>7</b>
1.1	SISTEMAS DE PISO .....	7
1.2	ANTECEDENTES.....	8
1.3	OBJETIVOS.....	10
1.3.1	<i>Objetivo general</i> .....	10
1.3.2	<i>Objetivos particulares</i> .....	10
1.4	ALCANCES Y LIMITACIONES.....	11
<b>2</b>	<b>Métodos de análisis para losas encasetonadas .....</b>	<b>12</b>
2.1	MÉTODO ELÁSTICO.....	13
2.2	MÉTODOS PLÁSTICOS.....	13
2.2.1	<i>Método de las líneas de fluencia</i> .....	13
2.2.2	<i>Método de la franja</i> .....	13
2.3	MÉTODO DEL ELEMENTO FINITO.....	14
2.4	MÉTODOS SIMPLIFICADOS.....	14
2.4.1	<i>Método directo ACI-318</i> .....	14
2.4.2	<i>Método de los coeficientes NTCC-04</i> .....	16
2.4.1	<i>Definición de las franjas de un tablero según las NTCC-04</i> .....	18
<b>3</b>	<b>Modelado computacional de losas .....</b>	<b>20</b>
3.1	CRITERIO DE MALLADO .....	20
3.2	CONECTIVIDAD .....	23
3.3	MODELOS DESARROLLADOS .....	24
3.3.1	<i>Descripción de los modelos de estudio</i> .....	25
3.3.2	<i>Curvas de desplazamiento</i> .....	26
3.4	ESPESOR EQUIVALENTE.....	27
3.5	COMPARACIÓN DE MODELOS CON EL CRITERIO DE ESPESOR EQUIVALENTE Y LOSA ENCASETONADA.....	27
3.5.1	<i>Análisis de resultados</i> .....	29
<b>4</b>	<b>Obtención de coeficientes.....</b>	<b>31</b>
4.1	PROPIEDADES DE LOS MODELOS .....	32
4.2	DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DE MODELOS .....	32
4.2.1	<i>Tablero aislado</i> .....	33
4.2.2	<i>Determinación del número de tableros</i> .....	35
4.2.3	<i>Tablero interior</i> .....	38
4.2.4	<i>Panel de borde lado largo continuo y lado corto discontinuo</i> .....	39
4.2.5	<i>Tablero de esquina</i> .....	41
4.2.6	<i>Tablero de extremo</i> .....	43
4.3	COEFICIENTES NUMÉRICOS.....	45
<b>5</b>	<b>Validación de coeficientes.....</b>	<b>49</b>
5.1	MODELO LOSA DE ESTACIONAMIENTO .....	49
5.2	TABLEROS DE ESTUDIO .....	51

5.3	COMPARACIÓN.....	54
<b>6</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>57</b>
6.1	CONCLUSIONES.....	57
6.2	RECOMENDACIONES.....	58
6.3	TRABAJOS FUTUROS.....	58
<b>7</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>Anexo I Variación de momentos en losas encasetonadas.....</b>	<b>62</b>
<b>9</b>	<b>Anexo II Distribucion de coeficientes.....</b>	<b>65</b>

## Lista de figuras

Figura 2.1 Equivalencia entre losa encasetonada y losa maciza de espesor equivalente. ....	12
Figura 2.2 Franja de losa (adaptada de González y Robles 2005). .....	15
Figura 2.3 Tipos de tableros. ....	17
Figura 2.4 Definición de franjas: central y de borde. ....	19
Figura 3.1 Vista superior losa encasetonadas (adaptado de Prasad <i>et al.</i> 2005). ....	21
Figura 3.2 Sección A-A' (adaptado de Prasad <i>et al.</i> 2005).....	21
Figura 3.3 Descripción de modelo (adaptado de Prasad <i>et al.</i> 2005). ....	21
Figura 3.4 Energía de deformación contra divisiones por casetón.....	22
Figura 3.5 Losa con 4x4 divisiones por casetón.....	22
Figura 3.6 Conectividad y localización de nodos elemento cascarón (SAP2000 CSI 2013). .....	23
Figura 3.7 Grados de libertad por nodo en coordenadas locales y globales (SAP 2000 CSI 2013).....	23
Figura 3.8 Vista en planta losa encasetonada (cotas en m). ....	25
Figura 3.9 Modelo discretizado en SAP 2000 v16.....	26
Figura 3.10 Geometría de modelos encasetonados. ....	26
Figura 3.11 Desplazamiento máximo al centro del claro. ....	26
Figura 3.12 Espesor equivalente.....	27
Figura 3.13 Geometría Modelo 1 (cotas en m).....	28
Figura 3.14 Geometría modelo 2 (cotas en m). ....	28
Figura 3.15 Distribución de momentos en losa encasetonada.....	29
Figura 3.16 Distribución de momentos para losa de espesor equivalente.....	29
Figura 3.17 Curvas de momento al centro del claro.....	30
Figura 4.1 Tipos de tableros a analizar.....	31

Figura 4.2 Sección transversal de tableros de estudio.....	32
Figura 4.3 Losa encasetonada tablero aislado con relacion de lados 0.8. ....	34
Figura 4.4 Distribucion de momentos tablero iaslado: a) en direccion al lado largo b) en direccion al lado corto. ....	35
Figura 4.5 Losa encasetonada con: a) tres tableros por borde y b) cinco tableros por borde. ....	35
Figura 4.6 Tablero de extremo de losa encasetonada con: a) tres tableros por borde y b) cinco tableros por borde. ....	36
Figura 4.7 Distribucion de momentos de nervadura central en tablero interior. ....	37
Figura 4.8 Distribución de momentos en nervadura central de tablero de borde.....	37
Figura 4.9 Distribución de momentos en nervadura central de tablero de esquina.....	37
Figura 4.10 Distribución de momentos en nervadura central de tablero de extremo.....	38
Figura 4.11 Tablero interior con relacion de lados 0.7.....	38
Figura 4.12 Distribución de momentos en nervaduras del tablero interior relación de lado 0.7 en: a) lado largo y b) lado corto.....	39
Figura 4.13 Tablero de borde de losa encasetonada con: a) lado largo discontinuo y b) lado corto discontinuo. ....	40
Figura 4.14 Distribución de momentos en nervaduras del tablero de borde lado largo discontinuo relación de lado 0.9 en dirección del: a) lado largo y b) lado corto.....	40
Figura 4.15 Distribución de momentos en las nervaduras del tablero de borde lado corto discontinuo relación de lado 0.8 en dirección del: a) lado largo y b) lado corto.....	41
Figura 4.16 Tablero de esquina con relación de lados 0.7. ....	42
Figura 4.17 Distribución de momentos para tablero de esquina relación de lado 0.7 en dirección del: a) lado largo y b) lado corto.....	42
Figura 4.18 Tablero de extremo de losa encasetonada con: a) lado largo continuo y b) lado corto continuo. ....	43
Figura 4.19 Distribución de momentos para tablero de extremo tres lados discontinuos y un lado largo continuo relación de lado 1.0 en dirección del: a) lado largo y b) lado corto. ....	44
Figura 4.20 Distribución de momentos para tablero de extremo tres lados discontinuos y un lado corto continuo relación de lado 0.9 en dirección del: a) lado largo y b) lado corto. ....	45

Figura 4.21 Distribución de momentos para un panel con 5 tableros por borde con relación de lados igual a 1. ....	46
Figura 5.1 Vista en planta de estructura a estudiar (cotas en cm). ....	50
Figura 5.2 Ubicación de vigas principales y nervaduras (cotas en cm). ....	50
Figura 5.3 Localización de los tableros de estudio.....	51
Figura 5.4 Distribución de momentos para tablero interior: a) lado corto y b) lado largo...	52
Figura 5.5 Distribución de momentos para tablero de borde un lado corto discontinuo: a) lado corto y b) lado largo.....	53
Figura 5.6 Definición de franjas. ....	54
Figura 5.7 Distribucion de momentos tablero interior en direccion: a) larga y b) corta. ....	55
Figura 5.8 Distribucion de momentos tablero de borde en direccion: a) larga y b) corta. ....	56

## **Lista de tablas**

Tabla 2.1 Coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares (adaptado de NTCC-04).....	17
Tabla 3.1 Características de casetones comerciales (adoptado de OPTIMOLDE). ....	24
Tabla 4.1 Propuesta de coeficientes para nervaduras centrales en losas encasetonadas. ....	47
Tabla 4.2 Propuesta de coeficientes para nervaduras de borde en losas encasetonadas. ....	48
Tabla 5.1 Carga muerta adicional.....	49
Tabla 5.2 Dimensión de vigas y columnas. ....	51

## *Resumen*

En este trabajo se propone un método aproximado mediante coeficientes para determinar los momentos de diseño en las nervaduras de losas encasetonadas, el cual es análogo al método de coeficientes de losas macizas de concreto. Estos coeficientes de diseño se obtuvieron para nervaduras de losas encasetonadas para distintos tipos de tableros de losas con distintas relaciones de lado corto entre lado largo, las cuales se modelaron con el software comercial de análisis estructural SAP2000 v16 (CSI 2013). El tamaño de los elementos finitos para discretizar los modelos de losas encasetonadas se realizó con base en la energía de deformación

Se presenta algunos métodos de diseño para losas encasetonadas bajo la acción de cargas gravitacionales. Se comparan modelos numéricos de sistemas estructurados de losa encasetonada con modelos de losa maciza con espesor equivalente, para aprobarse como un método válido en el que los momentos se calculan con un método aproximado como el de los coeficientes. De este análisis se observó que el análisis como losa maciza con espesor equivalente sobredimensionaría las nervaduras de losas encasetonadas, además se observó que la distribución de momentos en losas encasetonadas presenta una distribución de momentos distinta a la de un modelos de losa maciza con espesor equivalente, por lo que no es recomendable el método de losa maciza con espesor equivalente para el análisis de estructuras de losas encasetonadas.

Por último, se validan los momentos de diseño de las nervaduras centrales de una losa encasetonada modelada con software de análisis estructural SAP2000 contra los momentos de diseño calculados con las tablas de coeficientes propuestas en este trabajo. De esta comparación se demuestra que la tabla de coeficientes propuesta proporciona aproximaciones seguras en los momentos de diseño, por lo que se recomienda adoptarla como un método válido.

## Organización de la tesis

La organización de esta tesis se presenta en cinco capítulos:

- El *Capítulo 1* se presenta una introducción sobre losas encasetonadas, así como algunos estudios realizados anteriormente por diversos autores; además se plantean los objetivos y alcances de tema de tesis.
- En el *Capítulo 2* se presentan algunos métodos de diseño para losas encasetonadas diseñadas como una losa maciza de espesor equivalente, incluyendo el método directo del ACI 318 y el método de los coeficientes de las NTCC-04.
- En el *Capítulo 3* se presenta, con base en energía, la determinación del tamaño adecuado de la malla para la obtención de los coeficientes de diseño para losa encasetonada. Además se compara la distribución de momentos de un modelo de un sistema estructura de losa encasetonada y un modelo de losa maciza con espesor equivalente.
- El *Capítulo 4* se presenta la obtención de los coeficientes de diseño para las nervaduras de losas encasetonadas análogo a los distintos tableros que presentan las NTCC-04.
- El *Capítulo 5* se presenta la comparación de los momentos de diseño obtenidos con software de análisis estructural contra los momentos de diseño calculadas con las tablas de coeficientes propuestas en el capítulo 4.
- Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo de tesis, además, se hacen algunas recomendaciones.

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Sistemas de piso

En la actualidad existen numerosos sistemas de piso que se utilizan en edificaciones estructuradas con marcos de acero, marcos de concreto reforzado, marcos de sección compuesta y muros de mampostería. Uno de los sistemas de piso más utilizado es la losa maciza, que es aquella que cubre tableros generalmente rectangulares o cuadrados, cuyos bordes se apoyan sobre vigas o muros a las cuales les transmiten su carga, y éstas a su vez a las columnas. Para el análisis de losas macizas, las Normas Técnicas Complementarias de Estructuras de concreto (NTCC-04) recomiendan un método válido, incluyendo el método de los coeficientes, el cual proporciona una tabla que incluye distintos tipos de tableros; con estos coeficientes se determinan los momentos de diseño. El ACI-11, acrónimo de su nombre en el idioma Inglés, American Concrete Institute recomienda el uso de un método válido, incluyendo el método directo y el método del marco equivalente. El Eurocódigo 2 (EC-2) recomienda un método válido; sin embargo, el ISTRUC (2011), acrónimo de su nombre en inglés, The Institution of Structural Engineers proporciona coeficientes para determinar los momentos de diseño. Otro tipo de sistema de piso son las losas aligeradas o nervadas, las cuales tienen vacíos en un arreglo rectilíneo llamado nervaduras que aligeran la carga muerta debido al peso propio.

Las demandas de optimización de espacios en nuestros días es un aspecto primordial para la construcción, depende y está relacionado al método constructivo y a una buena distribución del sistema de piso. En la ciudad de México existen muchas estructuras que se construyen con losa aligerada o nervada, pero la limitación del proceso constructivo está restringido a que escasamente se encuentra información por parte del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF-04) y sus Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de estructuras de Concreto Reforzado (NTCC-04).

## 1.2 Antecedentes

En el capítulo 6.3.6 de las NTCC-04 se indica lo siguiente “las losas encasetonadas, sean planas o perimetralmente apoyadas, en que la distancia centro a centro entre nervaduras *no sea mayor* que un sexto del claro de la losa paralela a la dirección en la que se mide la separación de las nervaduras, se puede analizar como una losa maciza equivalente. En cada caso, de acuerdo con la naturaleza y magnitud de carga viva que actúa, se revisará la resistencia a carga concentrada de las zonas comprendidas entre nervaduras”.

Por otra parte, el código ACI-318-02 en sus requerimientos para concreto estructural: sección 13, recomienda el uso de una losa plana con espesor equivalente. El espesor de la losa debe cumplir con los requisitos de la sección 9.5.3 que se refiere a los requisitos para el cálculo de espesores mínimos en losas en dos direcciones, además debe cumplir con los criterios de diseño a cortante y torsión del capítulo 11.

Abdul-Wahab *et al.* (2000) determinan la resistencia y rigidez ortotrópica de concreto reforzado en losas encasetonadas. Presentan las pruebas experimentales que se realizaron en ocho modelos a gran escala, con separación y profundidad variable de las nervaduras. La validez del concepto de losa maciza con "espesor equivalente" también fue examinado por dos tipos pruebas en losas macizas y encasetonadas. Los autores reportan que el modelo de losa maciza con espesor equivalente subestima la rigidez a flexión y sobrestima la rigidez torsionante. Los resultados experimentales de las rigideces en los intervalos elásticos sin fisuras y agrietadas en la parte elástica se compararon con valores obtenidos a partir de tres métodos: 1) análisis teórico convencional de placa ortotrópica con la cual se obtienen resultados cercanos a los experimentales. Sin embargo para el cálculo de la rigidez torsional se necesitan cálculos más elaborados; 2) losa maciza con espesor equivalente, proporciona una sobre estimación de la rigidez torsional en el intervalo elástico y subestima la deflexión de la losa encasetonada, por lo que los autores proponen una reducción del 25% del espesor equivalente en la zona elástica no agrietada, 3) un método aproximado basado en el módulo de elasticidad efectivo para los intervalos elásticos-no agrietado y elástico-agrietado, con estos valores se puede calcular para cada intervalo la rigidez a flexión efectiva.

Prasad *et al.* (2005) determinaron un diseño óptimo para sistema de piso de tamaño medio (6m x 6m) en losas encasetonadas, obtenido a partir de los resultados de un estudio analítico realizado a un sistema de losas nervadas con el fin de lograr las dimensiones óptimas de separación entre nervaduras, su profundidad y anchura. Abdel Rahman (2005) realizó un estudio numérico del comportamiento estructural en losas encasetonadas con y sin aberturas, para obtener coeficientes de diseño para la columna y las franjas centrales. También determina los efectos del tamaño y ubicación de las aberturas y el impacto que genera en los coeficientes. En la parte numérica realizó modelos en el software de elementos finitos no lineal COSMOS, los autores comparan los resultados obtenidos, concluyendo que los coeficientes de diseño para losas encasetonadas son mayores desde un

12 % y hasta un 50% en algunos casos, a los utilizados en el código Egipcio ECP-203 para losas planas

Ibrahim *et al.* (2011) determinan coeficientes de momento para el diseño de losas nervadas con y sin aberturas. El método directo de diseño recomendado por la ACI es comúnmente usado para el diseño de losas planas, sin embargo, es aplicado a losas nervadas analizadas como losas macizas con espesor equivalente. Además, en la actualidad no existen recomendaciones de diseño de losas encasetonadas, por eso surge la necesidad de los autores por modificar los coeficientes de momento para losas encasetonadas por medio de simulación numérica con ANSYS, aplicadas a modelos de losa nervada con y sin aberturas. Se realizaron 90 modelos para el análisis lineal y no lineal, para observar el comportamiento de la losa encasetonada bajo la acción de carga uniformemente distribuida. El modelo de elementos finitos no lineales fue calibrado con resultados experimentales de dos losas encasetonadas. Los coeficientes obtenidos se utilizan para modificar los coeficientes de losas planas existentes en el ACI y adaptarse a losas encasetonadas.

Arellano y González (2012) determinaron mediante pruebas experimentales la resistencia de fuerza cortante por penetración, de conexiones interiores losa-columna de un sistema estructurado por losas postensadas y encasetonadas. Con diferentes tipos de refuerzo transversal y distintos valores de fuerza cortante  $V_u$ , normalizados con el cortante resistente  $V_{cR}$ . Además, se determinan los desplazamientos laterales relativos que los especímenes pueden resistir con diferentes relaciones de  $(V_u / V_{cR})$  con el fin de establecer la ductilidad cuando la estructura se diseña a cortante por penetración. Se seleccionó una conexión interior de losa postensada-columna para que no se tuvieran momentos de desequilibrio ante cargas verticales, sino que sólo este efecto fuera por carga sísmica. Ensayaron 5 especímenes con estribos y 4 reforzados con pernos conectores de cortante. Estos se sometieron a carga cíclica reversible, que simula el comportamiento sísmico y se controlaron por desplazamientos. Se observa que cuatro especímenes fallaron a cortante por penetración y uno por flexión. La falla se definió como el ciclo en que la fuerza lateral requerida disminuyó en un 20% respecto a la fuerza máxima aplicada.

Gutiérrez Morgado (2013) obtiene, mediante análisis, numéricos coeficientes de diseño para el cálculo de momentos para losas perimetralmente apoyadas. Además comparó el diseño de una losa entre las NTCC-04, el ACI318- 11 y el IStructE-06. La distribución de coeficientes se calculó en la franja central de las losas y fue validada con soluciones exactas. Los coeficientes numéricos calculados fueron comparados con los propuestos por el IStructE-06 y por las NTCC-04, encontrándose diferencias importantes entre los coeficientes propuestos y los numéricos, en los que los propuestos por el IStructE-06 fueron mayores en todos los casos y para el caso de las NTCC-04 resultaron menores los coeficientes calculados.

Las losas encasetonadas se modelan fácilmente en el software SAFE, dibujando un objeto de área que representa la losa y asignando sus propiedades. Además, las losas encasetonadas suelen utilizar ábaco y capitel apoyada sobre las columnas. Las nervaduras se definen especificando el ancho, peralte y espaciamiento. SAFE utiliza propiedades de la losa equivalentes para el análisis, lo que representa el comportamiento de una viga T; sin embargo, se mantiene su geometría y detalles para el diseño de la losa y de las nervaduras.

Un estudio realizado por Selot (1966) demuestra que se obtiene un ahorro de hasta un 34% en concreto y un 18 % en acero al utilizar un sistema estructurado de losa encasetonada en comparación con losa maciza. Sin embargo, el uso de losas encasetonadas puede verse seriamente afectada por los requisitos del cortante por penetración en columnas de borde (Whittle 1981) debido a esto determina la profundidad mínima total de la losa para que cumpla con el requisito de penetración por cortante.

Como se muestra anteriormente, se posee poca información sobre el comportamiento del sistema de piso estructurado con losas nervadas, debido a esto surge la necesidad de hacer un método aproximado para el diseño de losas encasetonadas y de donde se plantean los siguientes objetivos y alcances de este trabajo.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

El objetivo general de este trabajo es determinar, mediante simulaciones numéricas, coeficientes de diseño para las nervaduras de losas encasetonadas, análogo al método de los coeficientes para losas macizas proporcionado por las NTCC-2004.

### **1.3.2 Objetivos particulares.**

Los objetivos particulares de esta tesis son:

- Determinar coeficientes de diseño para losas encasetonadas.
- Proporcionar recomendaciones de diseño para losas encasetonadas.
- Validar un ancho equivalente de losa encasetonada para ser analizada como una losa maciza de espesor equivalente.

#### **1.4 Alcances y limitaciones**

Los alcances de esta tesis están enfocados con el desarrollo de un método aproximado de coeficientes de diseño para las nervaduras de losas encasetonadas, para casetones de sección cuadrada, este método aproximado podrá ser considerado como una herramienta de diseño para los ingenieros de la práctica.

Como limitaciones de esta tesis es que el método aproximado propuesto es aplicable únicamente bajo la acción de cargas gravitacionales y no es aplicable para acciones accidentales de carga.

# Capítulo 2

## Métodos de análisis para losas encasetonadas

En la actualidad el análisis de losas encasetonadas se puede realizar por distintos métodos que se presentaran en este capítulo. Por ejemplo el método de elemento finito donde se debe discretizar cada elemento como: losa maciza, capitel, nervaduras, vigas perimetrales o principales y acero de refuerzo; sin embargo, este tipo de métodos puede ser un poco complicado para los ingenieros de la práctica, debido a que se debe tener las herramientas computacionales necesarias para poder desarrollar el método de elemento finito. También existen métodos simplificados tales que, una franja de losa encasetonada se puede diseñar como una losa maciza con espesor equivalente como muestra la Figura 2.1, donde  $c$  es el eje centroidal,  $S$  es el ancho de franja tomado como centro a centro entre nervaduras y  $h_e$  es el espesor equivalente, sin embargo, se sobrestima la rigidez torsional en el intervalo elástico, debido a esto se incrementa los momentos de diseño en la franja. Por lo que en este capítulo se presentan métodos de diseño para losas macizas y los cuales se pueden adoptar para losas encasetonadas diseñadas como una losa maciza de espesor equivalente en el rango elástico y rango plástico. Posteriormente en los siguientes capítulos se adaptará el método de los coeficientes de las NTCC-04 para el diseño de las nervaduras de losas encasetonadas.

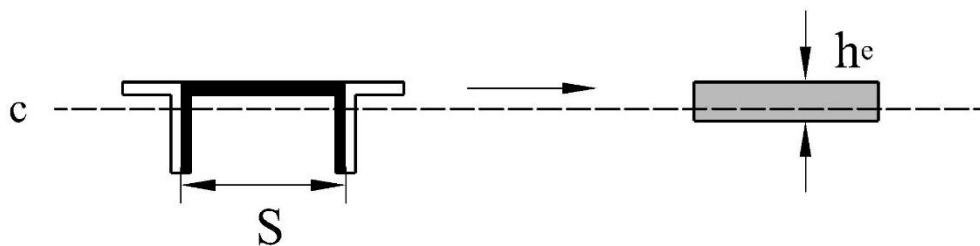


Figura 2.1 Equivalencia entre losa encasetonada y losa maciza de espesor equivalente.

## 2.1 Método elástico

El método elástico se basa en que la losa se comporta como un material isotrópico, homogéneo y elástico para cargas de servicio y por tanto en este rango es válida la ley de Hooke; además, se considera que el espesor de la losa es suficientemente pequeño para que no se tomen en cuenta las deformaciones por cortante, pero a su vez el espesor es suficiente para resistir la flexión. Los primeros estudios sobre la distribución de momentos y cortantes de losas encasetonadas se basan en el análisis de placas ortotrópicas (equivalentes) como lo reportan los estudios de Selot (1966). Sokal y Reiss (1972) notaron la baja rigidez torsional de la losa encasetonada y proponen una solución a la rigidez torsional en placas ortotrópicas. Actualmente, el análisis elástico de estructuras de losas encasetonadas suele realizarse con software comercial, que en su mayoría utiliza el método de los elementos finitos.

## 2.2 Métodos plásticos

El método plástico se basa en la teoría elasto-plástica. En general el comportamiento del sistema de losa se lleva al límite máximo es decir antes de que la losa alcance su capacidad última. Por lo general, los métodos basados en la teoría plástica: simplifican el sistema de losa a un problema relativamente simple, con la aplicación de la teoría de vigas de Euler-Bernoulli o Timoshenko.

### 2.2.1 Método de las líneas de fluencia

El método de las líneas de fluencia fue desarrollado por Johanson (1946) aplicado a sistemas de losa de concreto armado, se propone un mecanismo de colapso y una carga última. El mecanismo de falla es función de la geometría en la losa, la configuración de la carga y la ubicación del acero de refuerzo. Con este método se pretende obtener una carga de colapso equivalente a la carga de falla real, lo que genera una sobrestimación de la carga última. Un problema en aplicar el método de líneas de fluencia es seleccionar la sección crítica donde se supone el mecanismo de falla. Debido a esto, actualmente se recurre más a las tablas de diseño donde se describe el mecanismo de falla y las cargas últimas de diseño.

### 2.2.2 Método de la franja

Este método de diseño desarrollado por Hillerborg (1974) considera el acero de refuerzo para una franja de losa maciza conocida y una distribución de carga dada; sin embargo, es posible aplicar el criterio de un espesor equivalente en una losa encasetonada. Este método también se considera como un método de límite inferior, por lo tanto el diseño está del lado de la seguridad desde el punto de vista de la resistencia. El método se aplica en dos partes: la franja simple y un método avanzado. Para el método de la franja simple se consideran losas regulares apoyadas perimetralmente sobre vigas y con carga uniformemente distribuida. El método avanzado consideran las losas que están apoyadas sobre columnas o esquinas, donde se supondrá que no se concentran reacciones. En años pasados en la

práctica el método de la franja simple no se utilizó como solución; sin embargo, con el método avanzado se tenían mejores resultados, aunque no era tan conocido por los ingenieros de la práctica.

### **2.3 Método del elemento finito**

Este método permite la discretización de una estructura en una serie de elementos con geometrías regulares, las cuales están interconectados. Los elementos finitos se clasifican en función de su geometría y del tipo de funciones de interpolación para aproximar la variable de estudio dentro de cada elemento como: el desplazamiento, esfuerzo y deformación. Existen varios programas de elemento finito como: ANSYS, SAP2000, ETABS, ADINA, ATENA, entre otros, que debido a su capacidad pueden resolver distintos problemas.

Algunos modelos de losas encasetonadas pueden tener un número considerable de elementos y grados de libertad, lo que puede generar un costo computacional considerable. Por lo que una manera de reducir este costo computacional, es mediante el modelado de la losa encasetonada con un modelo equivalente de losa maciza en el que se conserva la inercia de la sección; sin embargo se sobrestima la rigidez torsional y subestima la deflexión del sistema.

### **2.4 Métodos simplificados**

Los métodos simplificados de análisis son los más utilizados, debido a que se detallan en algunos códigos para resolver problemas de sistemas estructurados de losas regulares, que a menudo se realizan en la práctica. Los métodos simplificados son aplicables para estructuras regulares, desprecian efectos de torsión y de agrietamiento de la estructura. Los métodos simplificados permiten calcular de una manera sencilla los momentos de diseño de la estructura, además se debe considerar que los momentos calculados son aproximados, por lo que para una estructura irregular, se recomienda utilizar métodos más detallados.

#### **2.4.1 Método directo ACI-318**

Con el método directo es posible calcular directamente los momentos flexionantes en losas y vigas en sus dos direcciones, sin la necesidad de hacer previamente un análisis estructural. El método directo es aplicable a estructuras que cumplan con las limitantes siguientes:

- a) Debe existir un mínimo de tres claros continuos en cada dirección;
- b) Los tableros de la losa deben ser rectangulares, con una relación de claro largo entre claro corto no mayor que dos, medido de centro a centro de los apoyos de los tableros;
- c) Los claros sucesivos medidos de centro a centro de los apoyos de cada dirección no deben ser mayor que un tercio del mayor de ellos;

- d) Las columnas pueden estar desalineadas hasta un 10 por ciento medido del eje de las columnas al centro de la columna en dirección del desplazamiento de la columna;
- e) Las cargas deben ser únicamente gravitacionales y estar uniformemente distribuidas en todo el tablero, la carga viva no debe exceder dos veces la carga muerta; y
- f) Para un tablero con vigas en sus cuatro bordes, su rigidez relativa en dos direcciones perpendiculares definida por la ecuación (2.1).

$$0.2 \leq \frac{\alpha_1 * \ell_2^2}{\alpha_2 * \ell_1^2} \geq 0.5 \quad (2.1)$$

donde  $\ell_1$  es el claro en donde se determinan los momentos, medido de centro a centro de apoyos,  $\ell_2$  es el claro en dirección perpendicular, como se muestra en la Figura 2.2, los términos de  $\alpha_1$  corresponde a la rigidez a flexión de la viga y los términos  $\alpha$  es la relación entre la rigidez a flexión de la viga y rigidez a flexión de la franja de losa limitada lateralmente por los ejes centrales de los paneles adyacentes a cada lado de la viga,  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  son las relaciones de rigidez en dirección de  $\ell_1$  y  $\ell_2$ , las cuales se calculan con la ecuación (2.2), donde  $I_b$  es el momento de inercia de la viga,  $I_s$  es el momento de inercia de la losa,  $E_{cb}$  y  $E_{cs}$  son los módulos de elasticidad del concreto y la losa.

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \quad (2.2)$$

Con estas consideraciones se calcula el momento estático total con la ecuación (2.3).

$$M_o = \frac{\omega_u \ell_2 l_n^2}{8} \quad (2.3)$$

Donde  $\omega_u$  es la combinación de carga viva y muerta y  $l_n$  es el claro libre entre apoyos.

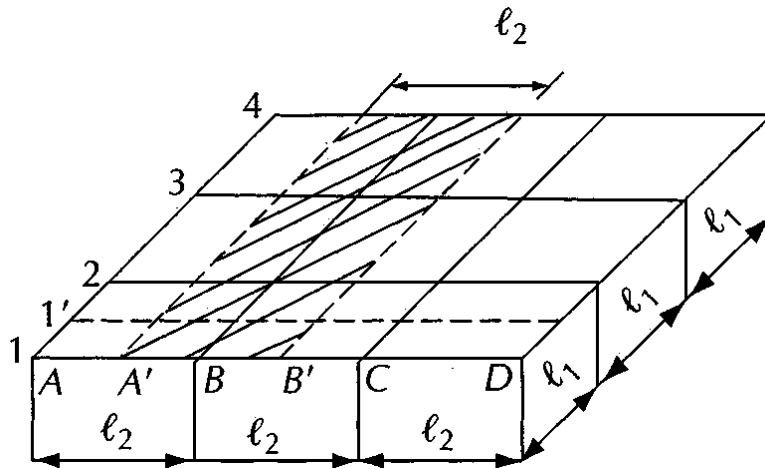


Figura 2.2 Franja de losa (adaptada de González y Robles 2005).

### **2.4.2 Método de los coeficientes NTCC-04**

El método de las NTCC-04 se basa en una tabla de coeficientes como se muestra en la Tabla 2.1 para el cálculo de momentos flexionantes en las franjas centrales para el diseño de losas perimetralmente apoyadas ya sean monolíticamente apoyadas caso I o simplemente apoyadas caso II. Para poder aplicar el método de los coeficientes debe cumplir con algunas limitaciones:

- a) Los tableros deben ser aproximadamente rectangulares.
- b) La distribución de las cargas que actúan sobre la losa debe ser uniformemente distribuida en cada tablero.
- c) Los momentos negativos en el apoyo común de dos tableros adyacentes no difieren entre sí en más del cincuenta por ciento del menor de ellos.
- d) La relación de carga viva a carga muerta no es mayor que 2.5 para losas monolíticamente con sus apoyos, ni mayor que 1.5 en otros casos.

Además el método de los coeficientes distingue siete diferentes tipos de tableros de losa como muestra la Figura 2.3, para los cuales se proponen distintos coeficientes, con los cuales es posible determinar los momentos de diseño considerando el tipo de continuidad entre paneles.

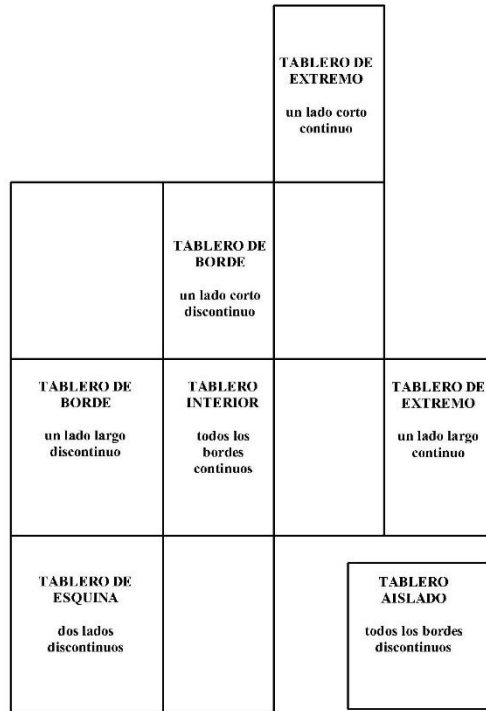


Figura 2.3 Tipos de tableros.

Tabla 2.1 Coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares (adaptado de NTCC-04)

Tablero	Momento	Claro	Relación de lados corto a largo, m = L <sub>2</sub> /L <sub>1</sub>														
			0		0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		1.0		
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
Interior todos los bordes continuos	Neg. en bordes interiores	corto	998	1018	553	565	489	498	432	438	381	387	333	338	288	292	
		largo	516	544	409	431	391	412	371	388	347	361	320	330	288	292	
	Positivo	corto	630	668	312	322	268	276	228	236	192	199	158	164	126	130	
		largo	175	181	139	144	134	139	130	135	128	133	127	131	126	130	
De borde un lado corto discontinuo	Neg. en bordes interiores	corto	998	1018	568	594	506	533	451	478	403	431	357	388	315	346	
		largo	516	544	409	431	391	412	372	392	350	369	326	341	297	311	
	Neg. en bordes discontinuos	largo	326	0	258	0	248	0	236	0	222	0	206	0	190	0	
		corto	630	668	329	356	292	306	240	261	202	219	167	181	133	144	
	Positivo	largo	179	187	142	149	137	143	133	140	131	137	129	136	129	135	
		corto	1060	1143	583	624	514	548	453	481	397	420	346	364	297	311	
De borde un lado largo discontinuo	Neg. en bordes interiores	largo	587	687	465	545	442	513	411	470	379	426	347	384	315	346	
		corto	651	0	362	0	321	0	283	0	250	0	219	0	190	0	
	Positivo	corto	751	912	334	366	285	312	241	263	202	218	164	175	129	135	
		largo	185	200	147	158	142	153	138	149	135	146	134	145	133	144	
	De esquina dos lados adyacentes discontinuos	Neg. en bordes interiores	corto	1060	1143	598	653	530	582	471	520	419	464	371	412	324	364
			largo	600	713	475	564	455	541	429	506	394	457	360	410	324	364
Neg. en bordes discontinuos		corto	651	0	362	0	321	0	277	0	250	0	219	0	190	0	
		largo	326	0	258	0	248	0	236	0	222	0	206	0	190	0	
Positivo	corto	751	912	358	416	306	354	259	298	216	247	176	199	137	153		
	largo	191	212	152	168	146	163	142	158	140	156	138	154	137	153		
De extremo Tres bordes discontinuos un lado largo continuo	Neg. En borde continuo	corto	1060	1143	970	1070	890	1010	810	940	730	870	650	790	570	710	
		largo	651	0	370	0	340	0	310	0	280	0	250	0	220	0	
	Neg. en bordes discontinuos	largo	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0	
		corto	751	912	730	800	670	760	610	710	550	650	490	600	430	540	
Positivo	largo	185	200	430	520	430	520	430	520	430	520	430	520	430	520		
	corto	1100	1670	960	1060	840	950	730	850	620	740	540	660	430	520		
De extremo Tres bordes discontinuos un lado corto continuo	Neg. En borde continuo	largo	570	710	570	710	570	710	570	710	570	710	570	710	570	710	
		corto	570	0	480	0	420	0	370	0	310	0	270	0	220	0	
	Neg. en bordes discontinuos	largo	330	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0	
		corto	1100	1670	960	1060	840	950	730	850	620	740	540	660	430	520	
	Positivo	largo	200	250	430	540	430	540	430	540	430	540	430	540	430	540	
		corto	570	0	550	0	530	0	470	0	430	0	380	0	330	0	
Aislado cuatro lados discontinuos	Neg. en bordes discontinuos	largo	330	0	330	0	330	0	330	0	330	0	330	0	330	0	
		corto	1100	1670	830	1380	800	1330	720	1190	640	1070	570	950	500	830	
	Positivo	largo	200	250	500	830	500	830	500	830	500	830	500	830	500	830	
		corto	1100	1670	830	1380	800	1330	720	1190	640	1070	570	950	500	830	

Para utilizar la tabla de los coeficientes se debe considera la dirección en la que actúa el momento, el cual se calcula con la ecuación (2.4).

$$M = \omega * L_2^2 * \alpha \quad (2.4)$$

donde  $M$  es el momento por unidad de ancho en la franja central de la losa,  $\omega$  es la carga distribuida uniformemente sobre la losa en  $kg / m^2$ ,  $L_2$  es el menor de los lados de la losa y  $\alpha$  es el coeficiente de momento, el cual debe multiplicarse por  $10^{-4}$ .

### 2.4.1 Definición de las franjas de un tablero según las NTCC-04

Las NTCC-04 establece que los tableros con relaciones de claro corto a largo mayores a 0.5, la franja central tendrá un ancho igual a la mitad del claro perpendicular entre ellas y cada franja de borde serán igual a la cuarta parte del mismo como se muestra en la Figura 2.4. Para relaciones menores de 0.5, la franja central perpendicular a la lado largo tendrá un ancho igual al lado largo menos el lado corto ( $L_1 - L_2$ ) y cada franja de extremo tendrá un ancho igual al lado corto entre dos ( $L_2$ ).

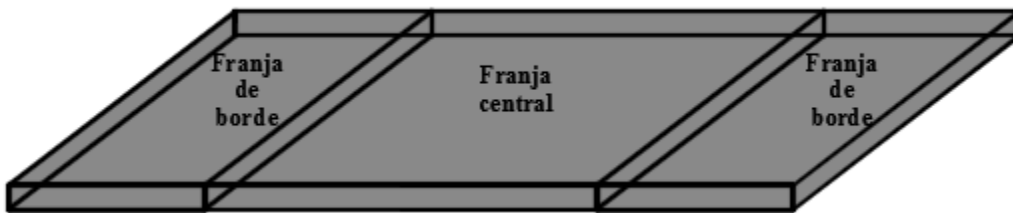


Figura 2.4 Definición de franjas: central y de borde.

# Capítulo 3

## Modelado computacional de losas

En este capítulo se modelan en SAP2000 v16 (CSI 2013) losas como: un sistema de losa encasetonada como una losa maciza con espesor equivalente y se compara contra un sistema estructurado de losa encasetonada, con vigas y elementos cascaron. El propósito de los modelos es comparar los desplazamientos y distribución de momentos, con lo que se validará el uso de un modelo equivalente, para posteriormente adoptar un modelo adecuado para el cálculo de los coeficientes de diseño en losas encasetonadas.

### 3.1 Criterio de mallado

Para tener un criterio de mallado óptimo se utilizó el criterio de la energía de deformación, la cual se obtiene con el cálculo de la energía en el interior de un medio continuo, como resultado del trabajo realizado por las fuerzas externas actuantes que provocan la configuración deformada de un medio continuo. Las cargas externas inducen desplazamientos mediante el trabajo interno,  $U_e$  el cual se puede calcular con la ecuación (3.1).

$$U_e = \frac{1}{2} \sum P_i \delta_i \quad (3.1)$$

donde  $P_i$  y  $\delta_i$  son la carga y el desplazamiento en el nodo  $i$ . El trabajo externo se transforma en energía de deformación interna,  $U_i$ , que se almacena en el modelo continuo, la cual se utiliza para regresar a su posición original, no deformada, al retirar las cargas, siempre con la condición de que el material trabaje en el intervalo elástico lineal. Con base en este criterio, en el que el trabajo externo es igual a la energía de deformación, se determinó el tamaño del mallado de los modelos.

Para discretizar los modelos de espesor equivalente y modelos de losa encasetonada de los cuales se obtendrán los coeficientes numéricos, se calculó la energía de deformación para cinco modelos de losas encasetonadas de 5.1 m por lado como se muestra en la Figura 3.1, nervaduras de 0.1x0.13m y losa 0.065 m de espesor como se muestra en las Figuras 3.2 y 3.3, con diferentes tamaño de malla, 1x1, 2x2, 4x4, 8x8 y 16x16, divisiones por casetón.

Esta losa fue estudiada por Prasad *et al.* (2005) quienes determinaron el dimensionamiento óptimo para losas encasetonadas. La losa se modeló como simplemente apoyada en todo su perímetro y se consideró una carga uniformemente distribuida de  $10 \text{ kN/m}^2$  ( $9810 \text{ kg/m}^2$ ) con un factor de carga de 1.4, en el modelo se consideró las propiedades mecánicas del concreto con una resistencia a la compresión de  $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , una relación de Poisson  $\nu = 0.2$  y módulo de Young  $E$ , el cual se determinó con la ecuación (3.2)

$$E = 14000\sqrt{f'_c} \quad (3.2)$$

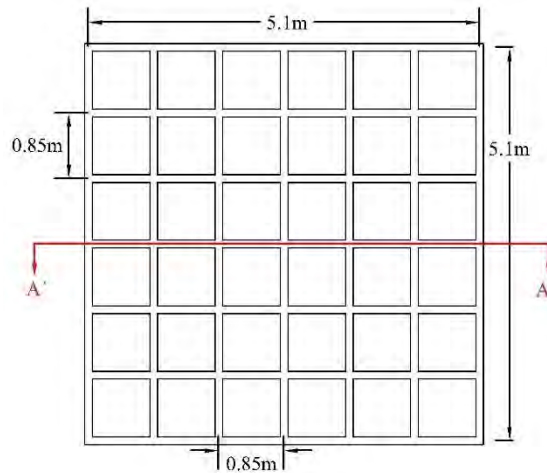


Figura 3.1 Vista superior losa encasetonadas (adaptado de Prasad *et al.* 2005).

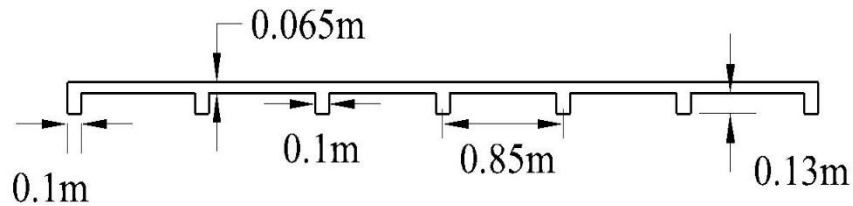


Figura 3.2 Sección A-A' (adaptado de Prasad *et al.* 2005)

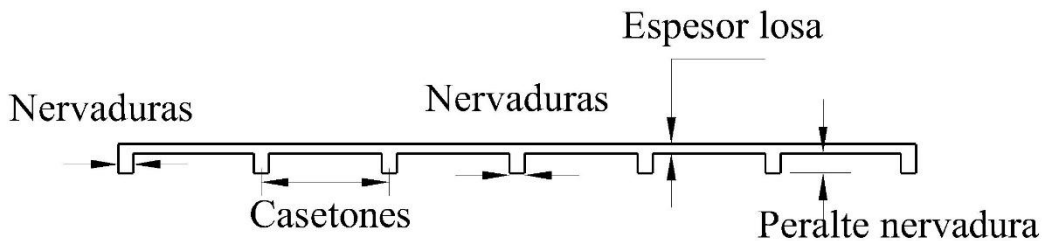


Figura 3.3 Descripción de modelo (adaptado de Prasad *et al.* 2005).

De la descripción anterior del modelo de Prasad se hizo el análisis bajo la acción de cargas gravitacional de donde se obtuvo la curva de energía de deformación como se muestra en la Figura 3.4, donde se observa que la energía de deformación presenta un comportamiento lineal, por lo que tiende a estabilizarse cuando se tienen al menos 4x4 divisiones por casetón. Con base en este resultado los modelos estudiados se discretizaron con 4 elementos por borde de cada casetón, de igual manera los elementos del tipo (barra) fueron discretizados con el mismo criterio como se muestra en la Figura 3.5.

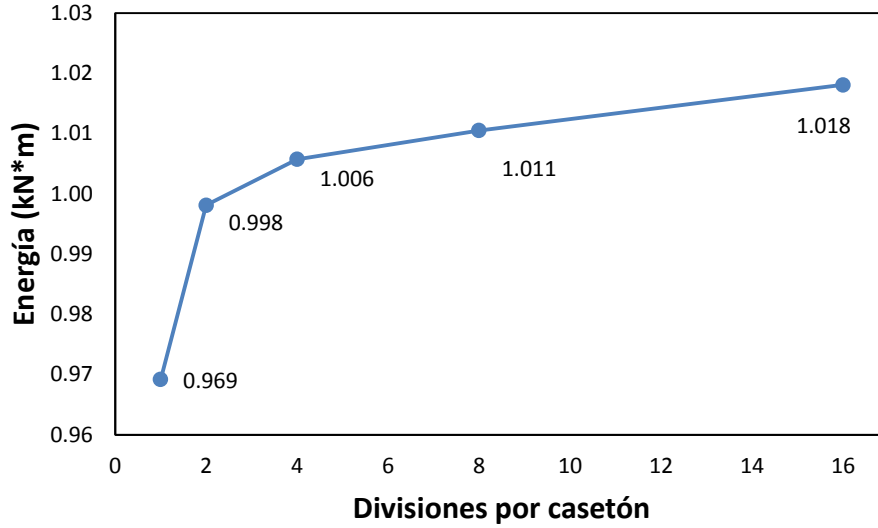


Figura 3.4 Energía de deformación contra divisiones por casetón.

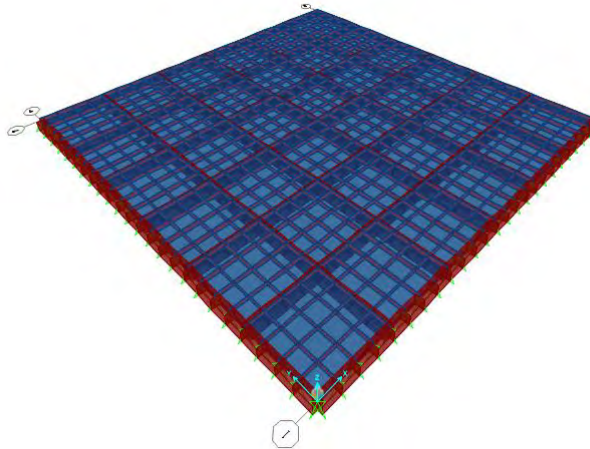
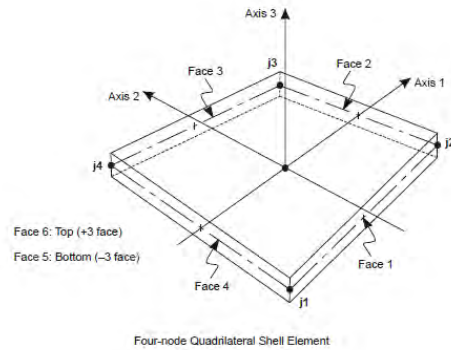


Figura 3.5 Losa con 4x4 divisiones por casetón.

### 3.2 Conectividad

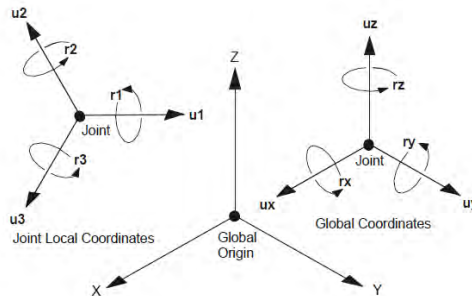
Para los modelos estudiados, se asume una conectividad del tipo I entre la losa encasetonada, nervaduras y vigas perimetrales, según su clasificación en las NTCC-04, en el que la losa está colada monolíticamente con sus nervaduras de apoyo.

Las vigas y nervaduras se modelaron en el software de análisis estructural SAP 2000 (CSI 2013) como elemento tipo barra formulado con dos nodos, las losas son del tipo cascaron, los cuales están formulados con cuatro nodos como se muestra en la Figura 3.6. La losa del casetón está asignada como un cascaron delgado debido a que no considera las deformaciones por cortante y el capitel como cascaron grueso, el cual considera las deformaciones por cortante, además se debe de cumplir con la relación  $t/L > 0.2$ , donde  $t$  es el espesor de la losa y  $L$  es la longitud del casetón en la dirección de análisis deseado.



**Figura 3.6 Conectividad y localización de nodos elemento cascarón (SAP2000 CSI 2013).**

Cada uno de estos elementos tienen seis grados de libertad ( $d_x, d_y, d_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$ ) por nodo los cuales corresponden a los desplazamientos y rotaciones perpendiculares al plano del elemento como se muestra en la Figura 3.7. Para el caso colado monolítico, los elementos tipo *barra* y *cascarón* se acoplan en sus nodos, en sus seis grados de libertad correspondientes.



**Figura 3.7 Grados de libertad por nodo en coordenadas locales y globales (SAP 2000 CSI 2013)**

### 3.3 Modelos desarrollados

Para los modelos desarrollados se debe cumplir con las especificaciones de las NTCA-04 en el capítulo de Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, dentro de la sección de estados límites de servicio, recomienda que todas las estructuras que están sobre la acción de cargas permanentes y variables, debe cumplir con un desplazamiento máximo igual al claro entre 240 más 5 mm, ecuación (3.3).

$$\delta_{\max} = \frac{L}{240} + 5mm \quad (3.3)$$

Además para los modelos propuestos de losa encajonada, se consideró un catálogo de la empresa OPTIMOLDE de casetones los cuales son los que se encuentran en la industria de la construcción Mexicana, para los modelos sólo se consideró los moldes de sección cuadrada para conservar la relación de lados igual a uno, las dimensiones de los moldes se presentan en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Características de casetones comerciales (adoptado de OPTIMOLDE).**

MEDIDA EXTERIOR	MEDIDA INTERIOR	PERALTE [d]	VOLUMEN DESALOJADO
[cm]	[cm]	[cm]	[m <sup>3</sup> ]
87 x 87	75 x 75	20	0.105
87 x 43.5	75 x 31.5	20	0.042
87 x 87	75 x 75	25	0.129
87 x 43.5	75 x 31.5	25	0.051
87 x 87	75 x 75	30	0.153
87 x 43.5	75 x 31.5	30	0.063
87 x 87	75 x 75	35	0.177
87 x 43.5	75 x 31.5	35	0.069
87 x 87	75 x 75	40	0.199
87 x 43.5	75 x 31.5	40	0.077
87 x 87	75 x 75	45	0.222
87 x 43.5	75 x 31.5	45	0.084

### 3.3.1 Descripción de los modelos de estudio

En esta sección se describen los modelos de un sistema de losa encasetonada, como el que se muestra en la Figura 3.8, apoyada perimetralmente por vigas. El tablero tiene 9.1 m x 9.1 m en sus lados, un espesor de losa de 5 cm, en el que se varía el peralte de las nervaduras y vigas principales, desde los 25 cm hasta los 45cm, con las características descritas en la Tabla 3.1. El modelo se realizó como un tablero aislado en el software de análisis con elementos finitos SAP2000 v16, como se muestra en la Figura 3.9, las vigas perimetrales de la losa está simplemente apoyada mediante capiteles sobre columnas cuadradas de 50 x 50 cm y 250 cm de altura. Las dimensiones de las vigas y de la losa se muestran en la Figura 3.10, donde se observa la sección transversal de la losa. Las propiedades de los materiales son: resistencia a la compresión del concreto  $f'_c = 250kg / cm^2$  y un coeficiente de Poisson  $\nu = 0.2$ . En el análisis se consideró solo acciones verticales, que incluyen una carga viva máxima de  $250kg / m^2$ , una sobrecarga de una carpeta de asfalto con un espesor de 5 cm, con un peso volumétrico de  $1500kg / m^3$ , además por reglamento se le agrego  $20kg / m^2$  y el peso propio de la estructura.

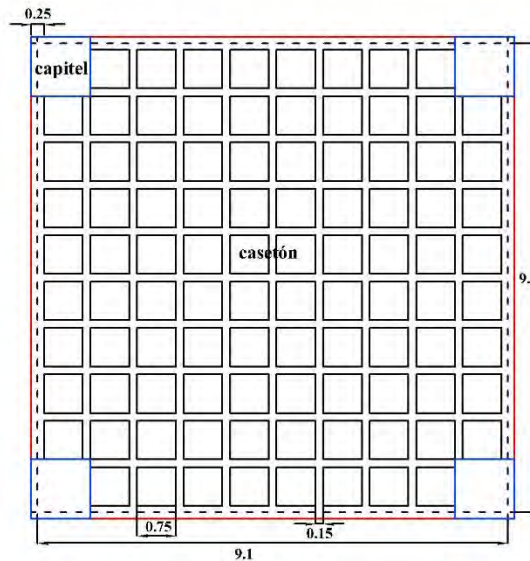


Figura 3.8 Vista en planta losa encasetonada (cotas en m).

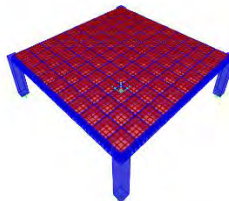


Figura 3.9 Modelo discretizado en SAP 2000 v16.

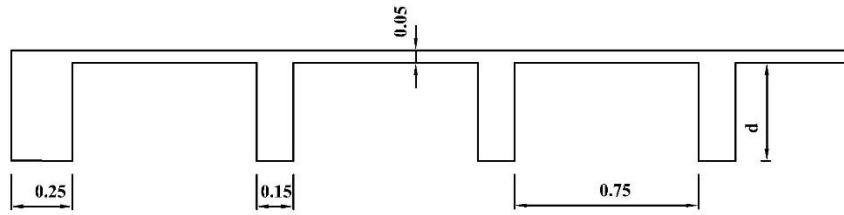


Figura 3.10 Geometría de modelos encasetonados.

### 3.3.2 Curvas de desplazamiento

En la Figura 3.11 se muestra la distribución de desplazamientos máximos en la franja central del tablero, en ambas direcciones los desplazamientos son los mismos debido a la simetría del modelo y a la simetría de las cargas y se compara con el desplazamiento permisible máximo de las NTCA-04. El criptograma utilizado en cada modelo esta descrito por sus siglas M “modelo”, E “encasetonado”, N “nervaduras” y los números representan las dimensiones de cada nervadura: peralte y ancho.

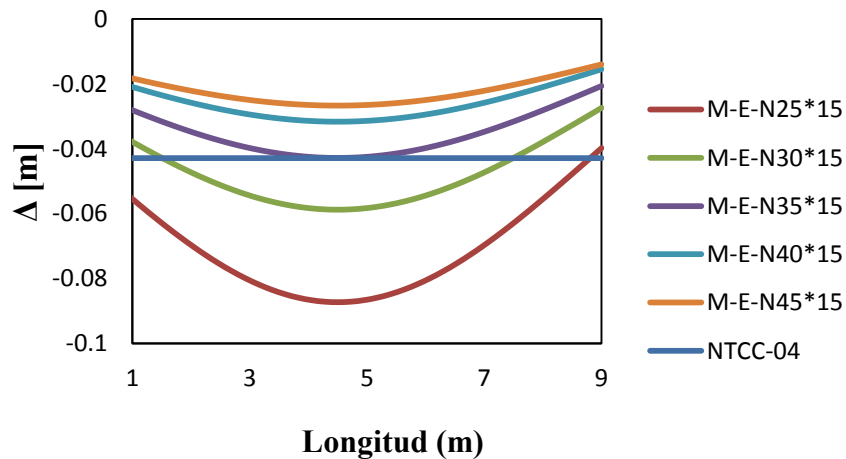


Figura 3.11 Desplazamiento máximo al centro del claro.

En la Figura 3.11 se muestra la configuración de desplazamientos con cada tipo de nervadura, donde se puede observar que las nervaduras de 40x15 y 45x15 cm satisfacen la condición de estado límite de servicio por deflexión, por lo que para los modelos estudiados se utilizaron nervaduras de 40x15 cm y casetones de 75x75 cm.

### 3.4 Espesor equivalente

Con base en el estudio desarrollado por Abdul-Wahab *et al.* (2000) para un sistema estructurado con losa encasetonada de concreto reforzado, se consideró, el modelar la losa encasetonada como una losa maciza con espesor equivalente, que mantiene la inercia, pero no el área de la sección, lo cual puede ocasionar cargas muertas mayores, debido a que previamente se tiene que hacer una estimación del peso propio de la estructura para posteriormente distribuirlo como carga muerta en la estructura de espesor equivalente para no tener cargas muertas mayores, el espesor equivalente se calcula con la ecuación (3.4).

$$h_e = \left( \frac{12I}{S} \right)^{1/3} \quad (3.4)$$

donde  $S$  es el ancho tomada como centro a centro entre nervaduras e  $I$  es la inercia de la sección transversal sombreada que incluye la nervadura y la losa superior con un ancho  $S$ , con respecto al eje centroidal  $c$ , como muestra la Figura 3.12.

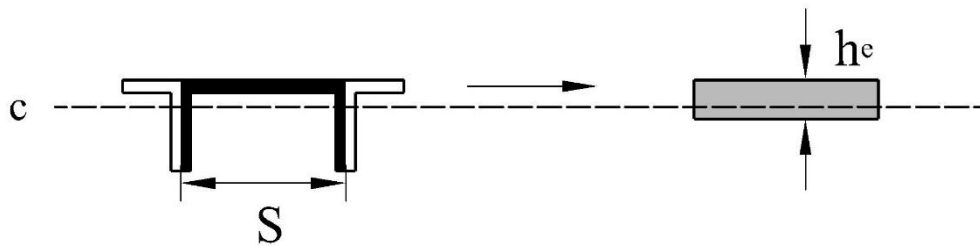


Figura 3.12 Espesor equivalente

### 3.5 Comparación de modelos con el criterio de espesor equivalente y losa encasetonada.

En esta sección se comparan modelos de tableros aislados desarrollados en software de análisis estructural SAP 2000 v16, para posteriormente adoptar el modelo adecuado para la obtención de los coeficientes de diseño. Los modelos de estudio son: un sistema estructurado con losa encasetonada y un modelo con losa maciza de espesor equivalente, cuyas propiedades mecánicas, geometría y cargas actuantes se describen en cada modelo.

**Modelo 1** es un sistema estructurado de losa encasetonada apoyada perimetralmente por vigas principales de 0.25x0.40 m. El tablero tiene 9.1 m por lado, un espesor de losa de 5 cm, las vigas perimetrales de la losa están simplemente apoyadas en sus extremos mediante capiteles, los cuales tienen un espesor de 0.40m colocados sobre columnas cuadradas de 0.50x0.50 m y 3 m de altura; las nervaduras tienen una sección transversal de 0.15x0.40m. Las dimensiones de las vigas y de la losa se muestran en las Figura 3.13, donde se observa

la sección transversal de la losa. Las propiedades de los materiales son: resistencia a la compresión del concreto  $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$  y un coeficiente de Poisson  $\nu = 0.2$ , en el análisis se consideró sólo, la acción de cargas verticales, una carga viva máxima de  $250 \text{ kg/m}^2$ , una sobrecarga de  $75 \text{ kg/m}^2$  debido a una carpeta asfáltica, una carga de  $20 \text{ kg/m}^2$  por reglamento y el peso propio de la estructura. Se consideró un factor de carga de 1.4 por tratarse de una estructura tipo B para generar la combinación de carga más desfavorable.

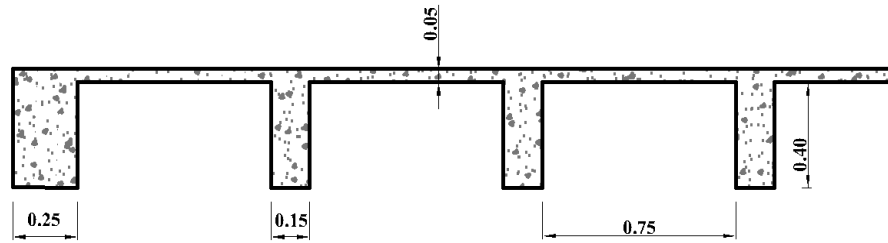


Figura 3.13 Geometría Modelo 1 (cotas en m).

**Modelo 2** se realizó un modelo con el espesor equivalente ecuación (3.4) propuesto por Abdul-Wahab *et al* (2000), como se muestra en la Figura 3.14, estructurado con un sistema de piso de losa maciza apoyada perimetralmente por vigas de  $0.40 \times 0.25 \text{ m}$ , con un tablero de  $9.1 \text{ m}$  por lado, como se muestra en la Figura 3.8, la cual está simplemente apoyada sobre columnas cuadradas de  $0.50 \times 0.50 \text{ m}$  y  $3 \text{ m}$  de altura. Se consideraron las mismas propiedades mecánicas, carga viva y sobrecarga del modelo 1, pero no se incluye el peso propio de la estructura, se cuantificó el volumen de concreto aplicado al modelo 1, el cual se distribuyó como carga muerta al modelo 2, esto con el objetivo de conservar la carga, teniendo un total de carga muerta de  $440 \text{ kg/m}^2$ .

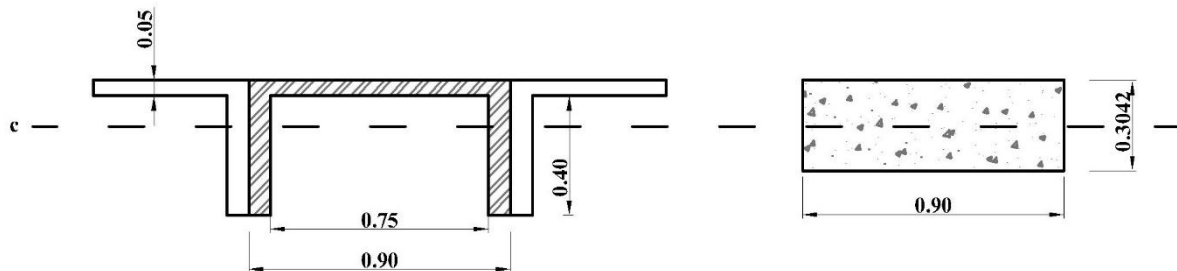


Figura 3.14 Geometría modelo 2 (cotas en m).

### 3.5.1 Análisis de resultados

En las Figuras 3.15 y 3.16 se muestra respectivamente la distribución de momentos de los elemento cascaron, en el modelo de losa encasetonada y en el modelo de losa maciza con espesor equivalente, donde se observa que para el caso del **Modelo 1**, no presenta una distribución de momentos equivalente a la distribución del modelo con espesor equivalente; este efecto aparente se debe: a que las nervaduras son las que reciben la mayor sollicitación de momentos en el Modelo 1 sólo se obtenga la distribución de momentos en las nervaduras. Además se observó que al sumar la participación de momento en la losa de los casetones con las nervaduras se obtiene un incremento del 0.7% por lo que la contribución de la losa es despreciable para el cálculo de los coeficientes en las nervaduras, por tal motivo para el estudio presentado sólo se calcularon la distribución de momentos en las nervaduras.

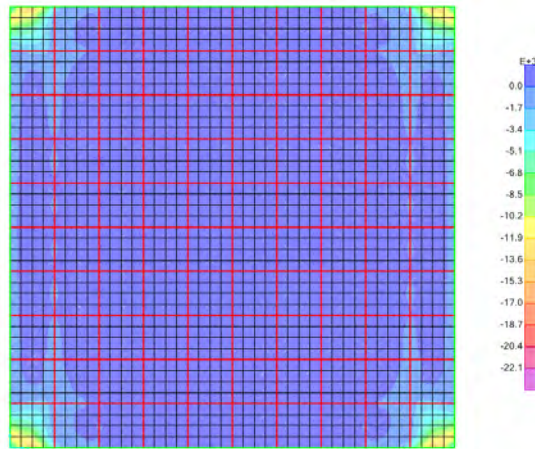


Figura 3.15 Distribución de momentos en losa encasetonada.

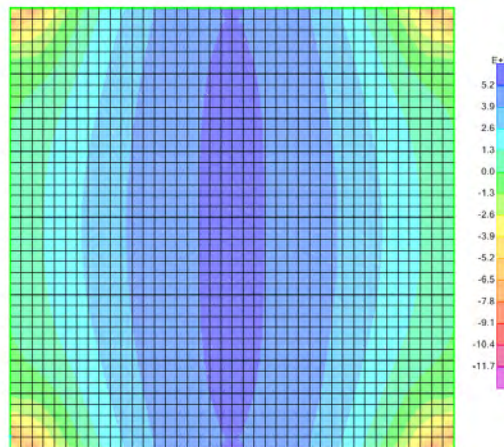
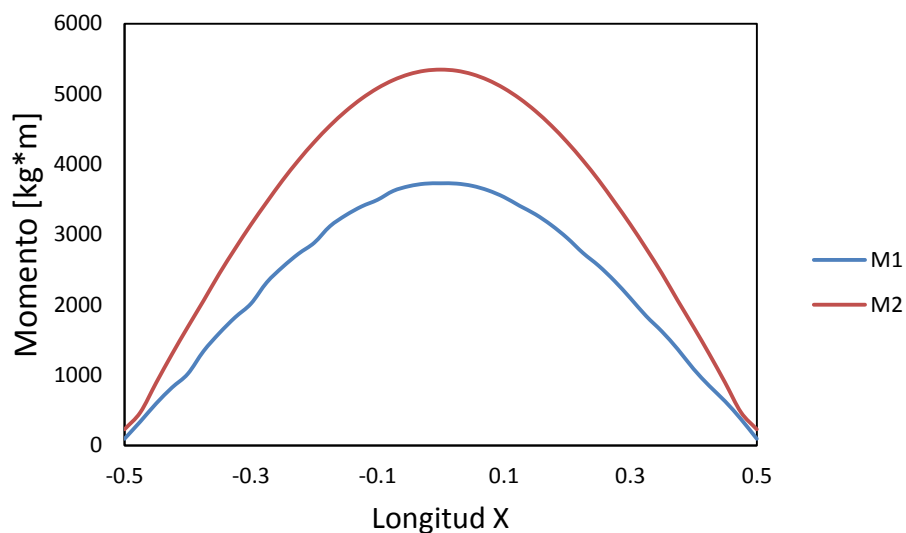


Figura 3.16 Distribución de momentos para losa de espesor equivalente.

En la Figura 3.17 se muestran las curvas de momento en la franja central del claro, donde se compararon los resultados obtenidos por el **Modelo 1** y **Modelo 2**. Se observa que la distribución de momentos es mayor para el **Modelo 2** y menor para **Modelo 1**, con base en este resultado se determinó que los modelos a estudiar se realizaran con base en el **Modelo 1** debido a que se tiene una distribución de momentos que no sobreestima la magnitud de los momentos. Es de interés mencionar que en el **Modelo 1** la distribución de momentos de las nervaduras es mayor en las nervaduras de extremo y disminuye gradualmente en las nervaduras centrales; mientras que en un modelo con losa de espesor equivalente, los momentos son mayores en la franja central y disminuyen en las franjas cercanas a los extremos. El modelo equivalente puede proporcionar secciones sobrediseñadas en las nervaduras centrales, pero secciones subdiseñadas en las nervaduras de los extremos. (Ver **Anexo 1**). Además, el código Brasileño NBR 6118 (ABNT, 2003), en los requerimientos necesarios para el diseño de estructuras de concreto simple, reforzado y presforzado, excepto cuando se utilizan concretos ligeros, pesado o concretos especiales, se pueden diseñar losas encasetonadas estáticamente como una losa plana con espesor equivalente, sin embargo estudios demostraron que esta simplificación no toma en cuenta la rigidez torsional de las nervaduras, en este caso, los resultados no corresponden a los reales Stramandinoli (2003) y por tanto no se debe utilizar este método Donin (2007).



**Figura 3.17** Curvas de momento al centro del claro.

# Capítulo 4

## Obtención de coeficientes

Se estudiaron losas encasetonadas de los siete distintos tableros de losa que consideran las NTCC-04, para los cuales se obtuvo su respectiva tabla de coeficientes, con las que se pueden calcular los momentos de diseño en nervaduras de losas encasetonadas, considerando las condiciones de continuidad de cada tablero. Los siete tipos de tablero estudiados se muestran en la Figura 4.1. De los modelos numéricos propuestos se obtuvo la distribución de momentos en las nervaduras en dirección de lado corto y lado largo de la losa, con la que se determinó la distribución de coeficientes numéricos. Se consideró que las losas encasetonadas se encuentran coladas monolíticamente con sus apoyos.

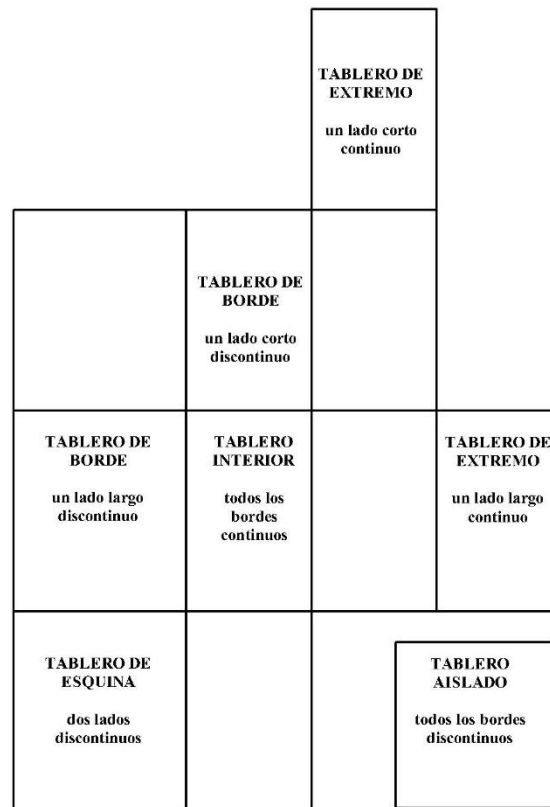


Figura 4.1 Tipos de tableros a analizar.

## 4.1 Propiedades de los modelos

La losa de los tableros estudiados tiene un espesor constante de 5cm en la zona de los casetones y mientras que para la zona del capitel se consideró un espesor constante de 40cm. Las vigas perimetrales tienen una sección transversal de 0.25x0.4m, nervaduras de 0.15x0.40m y las columnas de 0.50x0.50m y altura de 3m como muestra la Figura 4.2. La losa se modeló con elementos cascaron delgado, la zona de capiteles con cascaron grueso y las vigas perimetrales, nervaduras y columnas se modelaron con elementos tipo viga-columna. Se consideró un material homogéneo e isotrópico con resistencia a la compresión de  $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , módulo de elasticidad  $E = 221359 \text{ kg/cm}^2$  y relación de Poisson  $\nu = 0.2$ . En los modelos estudiados se consideró solo acciones verticales que incluyen: carga viva máxima de  $250 \text{ kg/m}^2$ , una sobrecarga de  $75 \text{ kg/m}^2$ , una carga de  $20 \text{ kg/m}^2$  por reglamento y el peso propio de la estructura. Se consideró un factor de carga de 1.4 para generar la combinación de carga más desfavorable. El tipo de apoyo considerado en la base de las columnas fue de empotramiento.

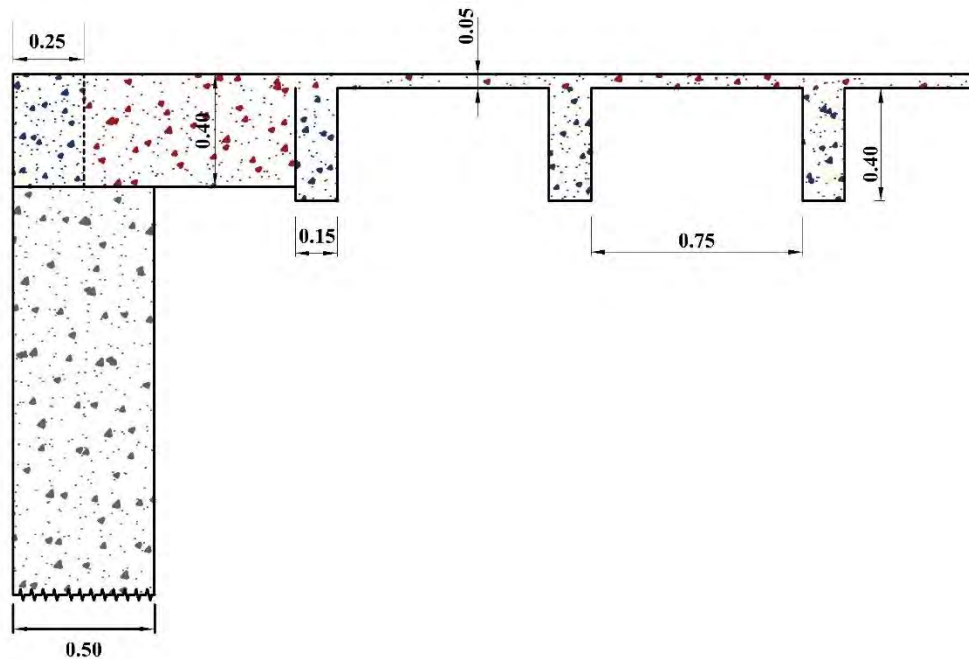


Figura 4.2 Sección transversal de tableros de estudio.

## 4.2 Descripción geométrica de modelos

Para el estudio presentado se utilizaron las relaciones de lado propuestas por las NTCC-02 de lado corto entre lado largo de 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, y 1.0; sin embargo, no se realizaron modelos menores a relaciones de 0.5. Para obtener las relaciones de lado para los modelos,

se consideró que el tablero tendría 10 casetones por lado, del que se fue eliminando una línea de casetones en la dirección corta para obtener las relaciones de lado correspondientes, por lo que el claro largo (en dirección X) quedó constante con una dimensión de 9.10m centro a centro de ejes y el lado corto (dirección Y) varió de 9.10m a 4.55m. La altura de las columnas fue de 3m.

El criptograma utilizado para cada tablero de estudio es el siguiente: cada modelo esta descrito por sus siglas T “tablero”, A “aislado”, I “interior”, E “esquina”, BCD “de borde lado corto discontinuo”, BLD “de borde lado largo discontinuo”, EX-LLC “extremo con un lado largo continuo”, EX-LCC “extremo con un lado corto continuo”, LVP “línea de vigas perimetrales”, LN “línea de nervaduras”, R “relación de aspecto” y así respectivamente para cada tablero descrito anteriormente.

#### **4.2.1 Tablero aislado**

En la Figura 4.3 se muestra el modelo de un panel de losa encasetonada, el cual tiene una relación de lados de 0.8. En la Figura 4.4 se presenta la distribución de momentos a lo largo de ambas direcciones de todas las líneas de nervaduras y vigas perimetrales. Para este tablero, la distribución de momentos en las nervaduras en dirección del lado largo, es mayor en las nervaduras de extremo y disminuyen gradualmente en las nervaduras centrales. Además se observa en los bordes de las vigas perimetrales un incremento de momento esto se debe al efecto de una gran concentración de esfuerzos en la zona del capitel. Para el caso de la distribución de momentos en la dirección del lado corto, se observa el mismo efecto donde las nervaduras de extremo tienen una mayor distribución de momentos y menor en las nervaduras de centro y también se presenta el efecto de concentración de esfuerzos en la zona del capitel. En el **Anexo 2** se presenta la distribución de momentos y distribución de coeficientes de momento para todas las relaciones de lado para el panel aislado.

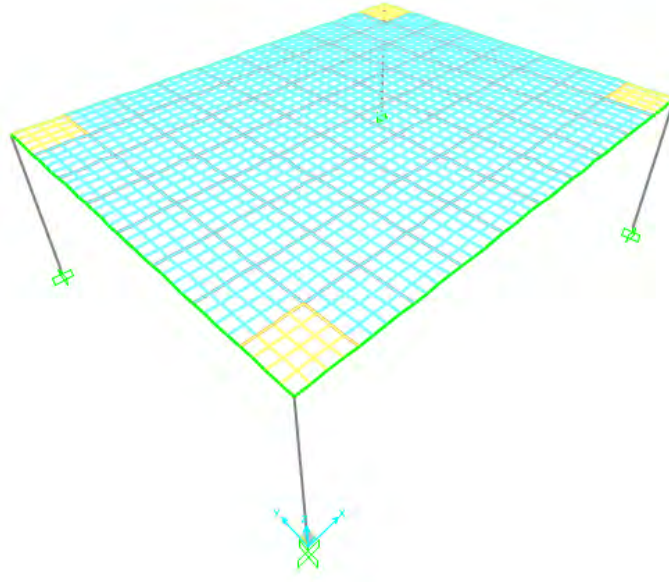
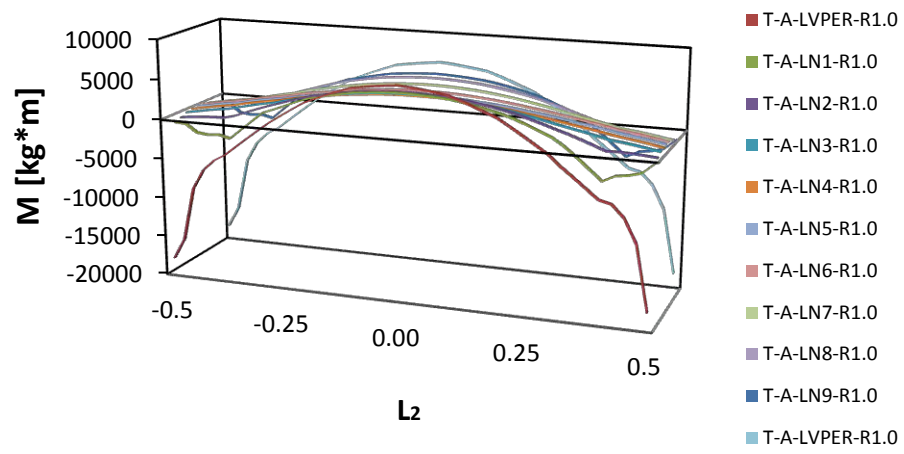
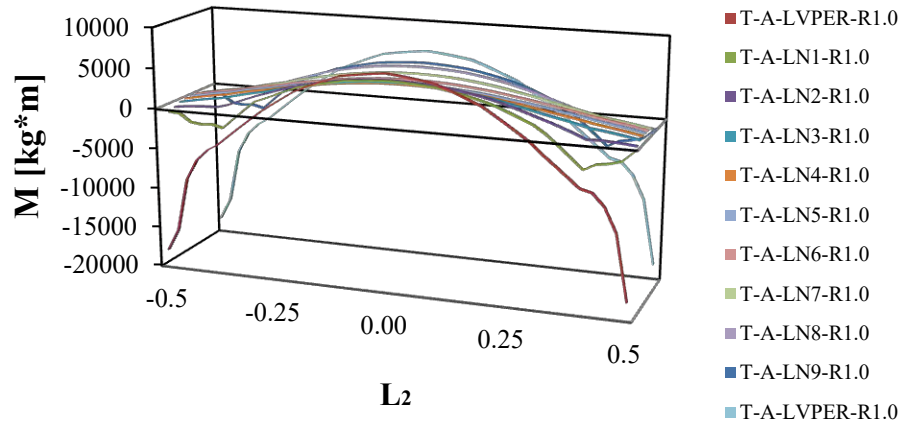


Figura 4.3 Losa encajonada tablero aislado con relacion de lados 0.8.



a)

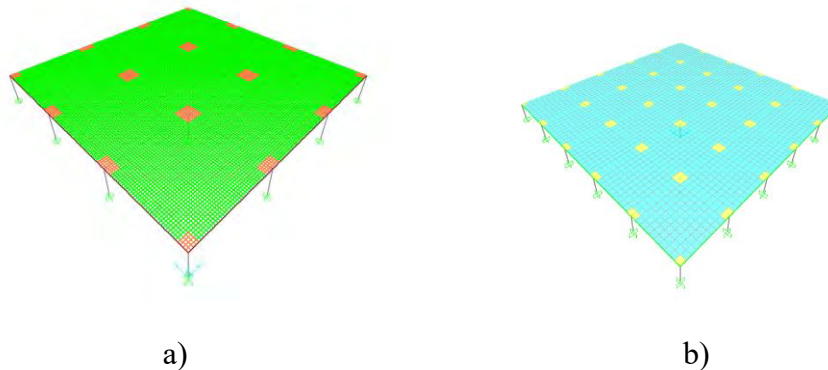


b)

Figura 4.4 Distribucion de momentos tablero aislado: a) en direccion al lado largo b) en direccion al lado corto.

### 4.2.2 Determinación del número de tableros

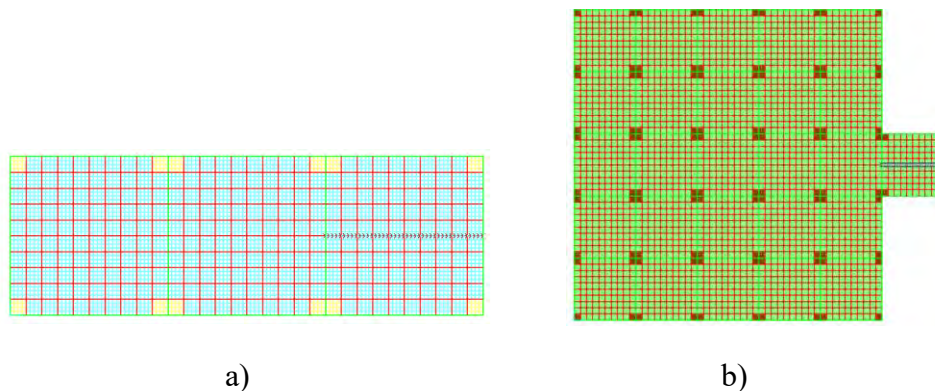
Para obtener la distribución de momentos de los paneles de borde con un lado corto discontinuo, de esquina, interior y de extremo se compararon los momentos en las nervaduras centrales en dirección al lado largo de cada panel, obtenidos de modelos de losas encasetonadas con 3 y 5 paneles por borde como se muestra en las Figuras 4.5 y 4.6, con relación de lados igual a 1.



a)

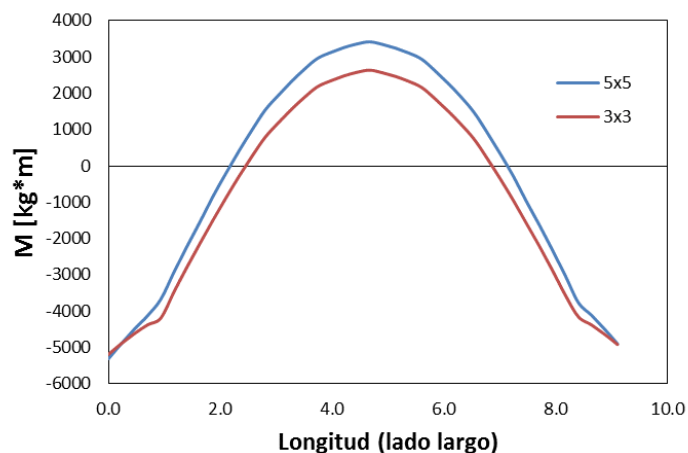
b)

Figura 4.5 Losa encasetonada con: a) tres tableros por borde y b) cinco tableros por borde.

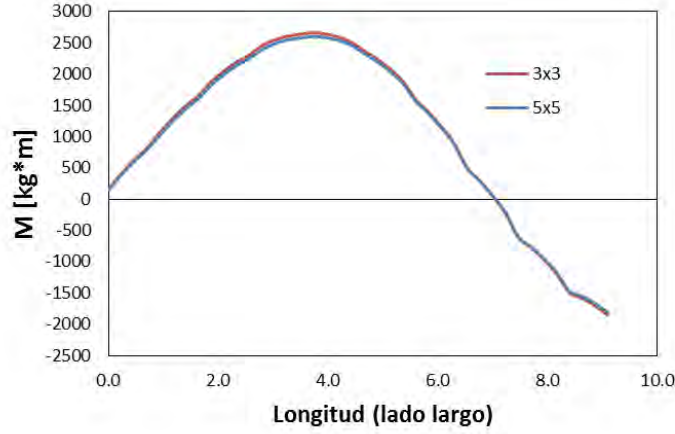


**Figura 4.6** Tablero de extremo de losa encasetonada con: a) tres tableros por borde y b) cinco tableros por borde.

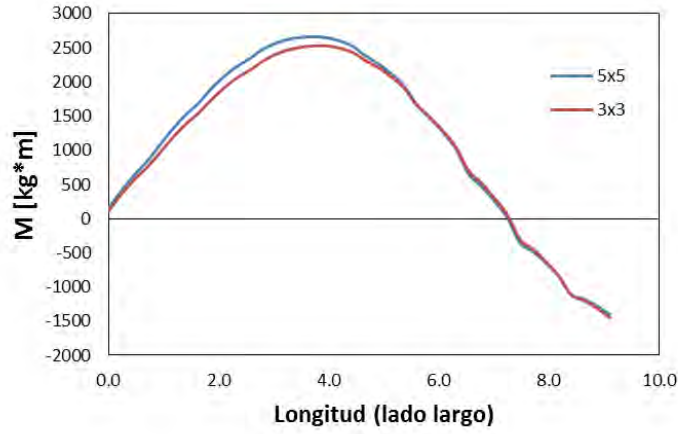
Las curvas que se muestran a continuación es la variación de momentos entre paneles de 5 tableros por borde contra una distribución de panel de 3 tableros por borde con una relación de lados igual a 1 como se describe a continuación: el tablero interior presentó un incremento del 30% en la distribución de momentos en la nervadura central para el panel de 5 tableros por borde, en comparación con un panel de 3 tableros por borde como es mostrado en la Figura 4.7. En el tablero de borde lado corto o largo discontinuo, se observó que la distribución de momentos en los tableros son casi iguales como se muestra en la Figura 4.8, para el tablero de esquina se observó que la distribución de momentos son iguales para ambas configuraciones como se muestra en la Figura 4.9; mientras que en el tablero de extremo se observó un incremento en la distribución de momentos del 13 % en el panel de cinco tableros por borde como se muestra en la Figura 4.10. De lo anterior se concluye que los modelos con cinco tableros por borde proporcionan distribuciones de momento mayores, lo que se refleja en la obtención de coeficientes numéricos mayores, por lo que se usó esta configuración de paneles para todas las configuraciones de tableros estudiadas.



**Figura 4.7 Distribucion de momentos de nervadura central en tablero interior.**



**Figura 4.8 Distribución de momentos en nervadura central de tablero de borde.**



**Figura 4.9 Distribución de momentos en nervadura central de tablero de esquina.**

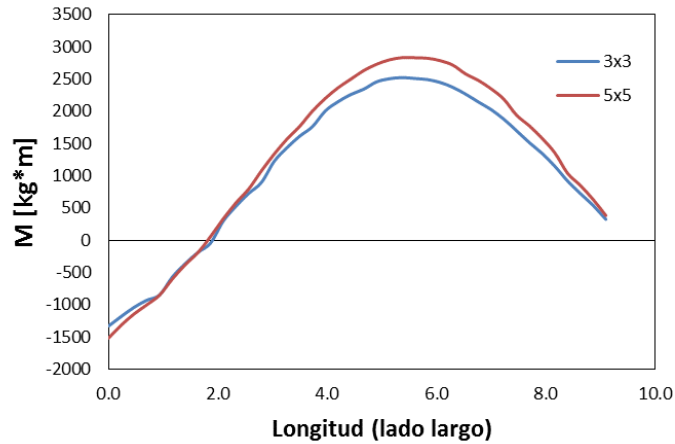


Figura 4.10 Distribución de momentos en nervadura central de tablero de extremo.

### 4.2.3 Tablero interior

En la Figura 4.11 se presenta el modelo de tablero interior de losa encasetonada, el cual tiene una relación de lados de 0.7. En la Figura 4.12 se muestra la distribución de momentos a lo largo de ambas direcciones de todas las nervaduras de extremo e interiores, donde la distribución de momentos en las nervaduras en dirección del lado largo, es mayor en las nervaduras de extremo y disminuyen gradualmente en las nervaduras centrales, además se observa en los bordes de las vigas perimetrales un incremento de momento esto se debe al efecto de una gran concentración de esfuerzos en la zona del capitel. Para el caso de la distribución de momentos en la dirección del lado corto se observa el mismo efecto, donde las nervaduras de extremo tienen una mayor distribución de momentos y menor en las nervaduras de centro y también se presenta el efecto de concentración de esfuerzos en la zona del capitel. En el **Anexo 2** se presenta la distribución de momentos y distribución de coeficientes de momento para todas las relaciones de lado para el tablero interior.

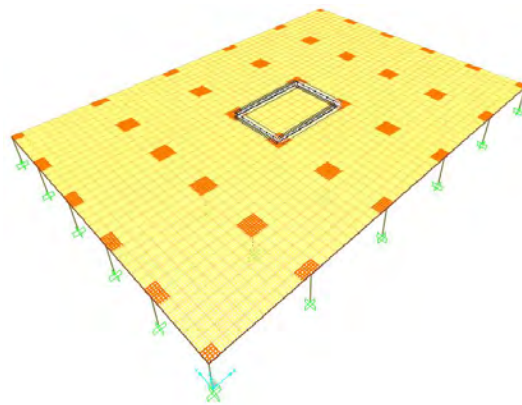
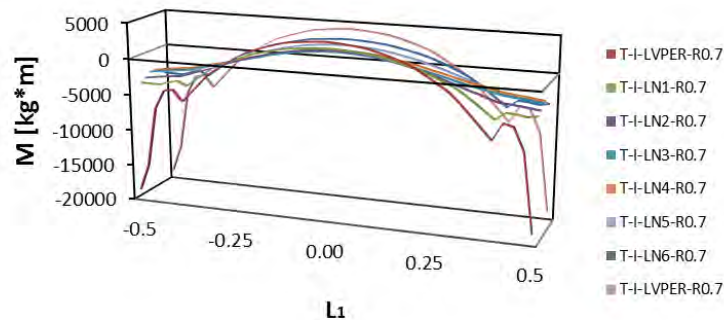
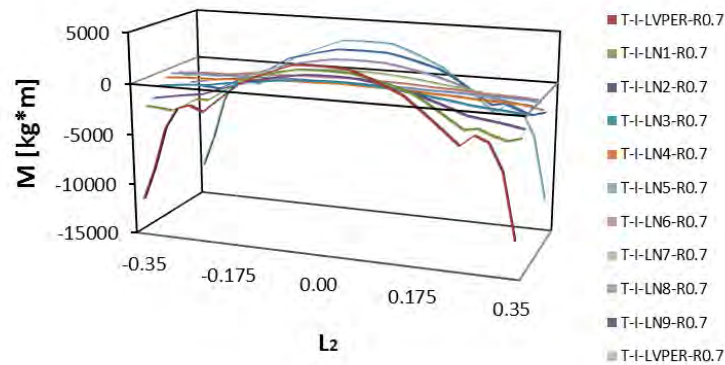


Figura 4.11 Tablero interior con relacion de lados 0.7



a)



b)

**Figura 4.12 Distribución de momentos en nervaduras del tablero interior relación de lado 0.7 en: a) lado largo y b) lado corto.**

#### 4.2.4 Panel de borde lado largo continuo y lado corto discontinuo

En la Figura 4.13 se muestra el modelo de tablero de borde de losa encasetonada, el cual tiene una relación de lados de 0.9 para el tablero de borde con un lado largo discontinuo y una relación de lados de 0.8 para el tablero de borde con un lado corto discontinuo. En las Figuras 4.14 y 4.15 se muestra la distribución de momentos a lo largo de ambas direcciones de todas las nervaduras de extremo e interiores, donde la distribución de momentos en las nervaduras en dirección del lado largo, es mayor en las nervaduras de extremo y disminuyen gradualmente en las nervaduras centrales, además se observa en los bordes de las vigas perimetrales un incremento de momento esto se debe al efecto de una gran concentración de esfuerzos en la zona del capitel. Para el caso de la distribución de momentos en la dirección del lado corto, se observa el mismo efecto donde las nervaduras de extremo tienen una mayor distribución de momentos y menor en las nervaduras de centro y también se presenta el efecto de concentración de esfuerzos en la zona del capitel. En el **Anexo 2** se presenta la distribución de momentos y distribución de coeficientes de momento para todas las relaciones de lado para el tablero de borde lado largo discontinuo y lado corto discontinuo.

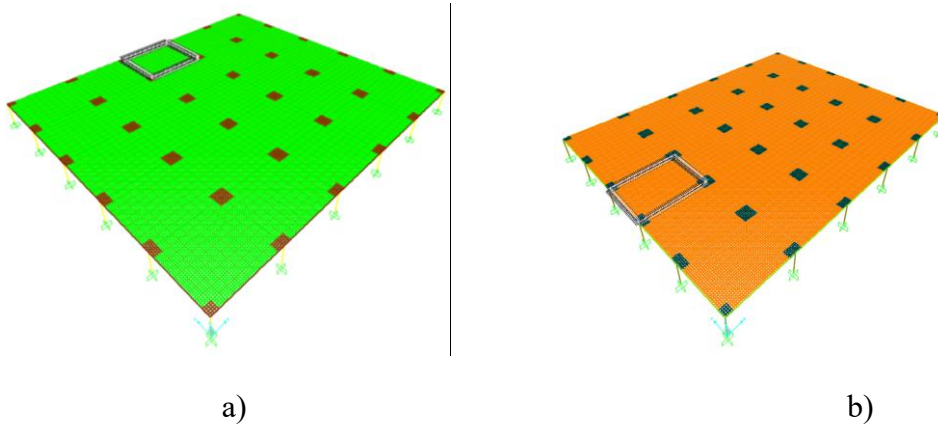


Figura 4.13 Tablero de borde de losa encasetonada con: a) lado largo discontinuo y b) lado corto discontinuo.

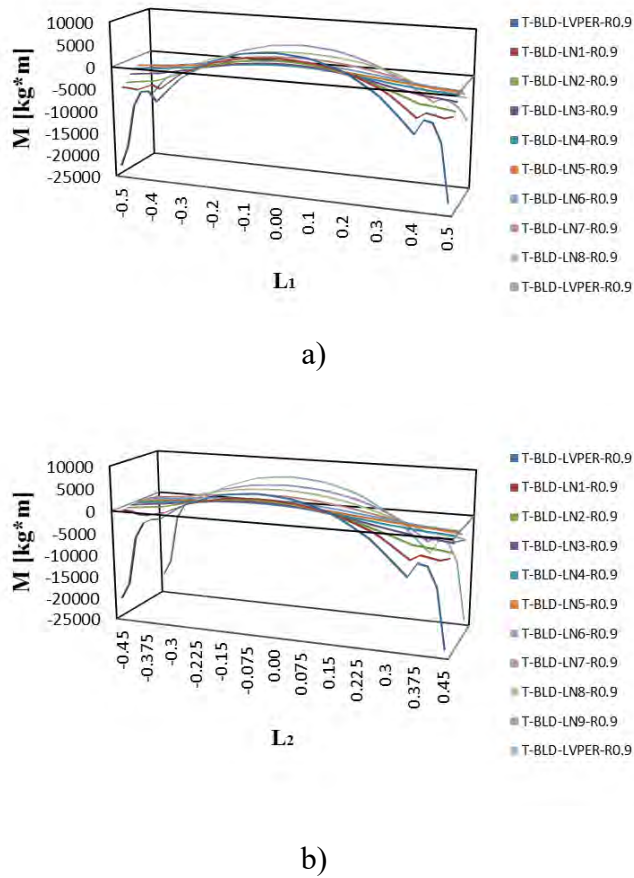
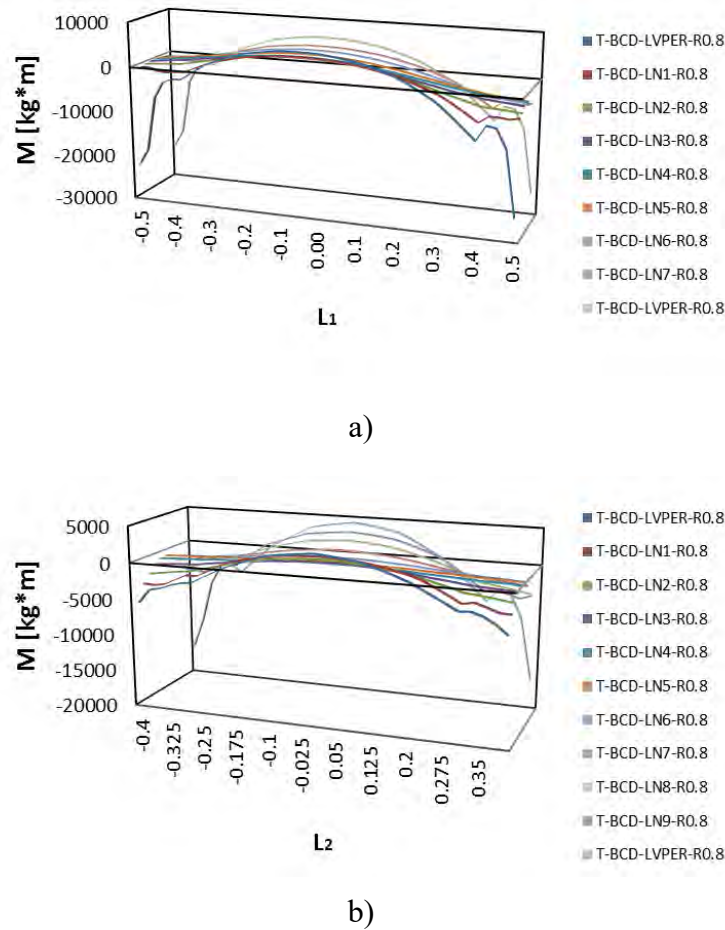


Figura 4.14 Distribución de momentos en nervaduras del tablero de borde lado largo discontinuo relación de lado 0.9 en dirección del: a) lado largo y b) lado corto.



**Figura 4.15 Distribución de momentos en las nervaduras del tablero de borde lado corto discontinuo relación de lado 0.8 en dirección del: a) lado largo y b) lado corto.**

### 4.2.5 Tablero de esquina

En la Figura 4.16 se muestra el modelo de tablero de esquina de losa encajonada, el cual tiene una relación de lados de 0.7. En la Figura 4.17 se observa la distribución de momentos a lo largo de ambas direcciones de todas las nervaduras de extremo e interiores, donde la distribución de momentos en las nervaduras en dirección del lado largo, es mayor en las nervaduras de extremo y disminuyen gradualmente en las nervaduras centrales, además se observa en los bordes de las vigas perimetrales un incremento de momento esto se debe al efecto de una gran concentración de esfuerzos en la zona del capitel. Para el caso de la distribución de momentos en la dirección del lado corto, se observa el mismo efecto donde las nervaduras de extremo tienen una mayor distribución de momentos y menor en las nervaduras de centro y también se presenta el efecto de concentración de esfuerzos en la zona del capitel. En el **Anexo 2** se presenta la distribución de momentos y distribución de coeficientes de momento para todas las relaciones de lado para el tablero de esquina.

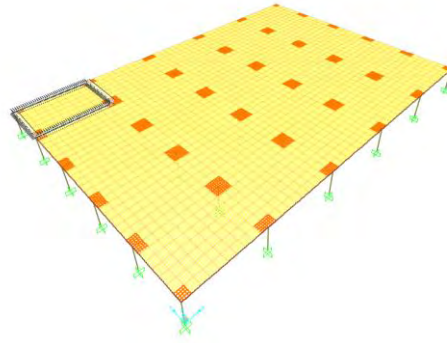
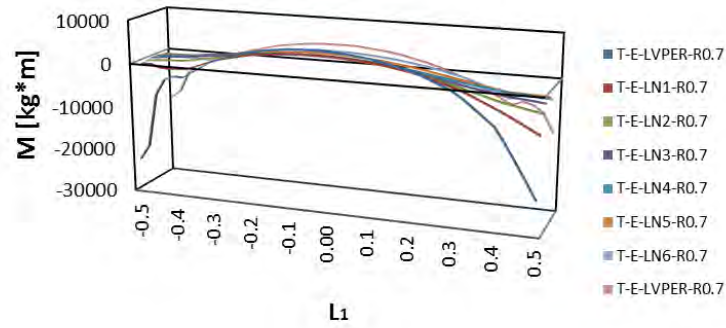
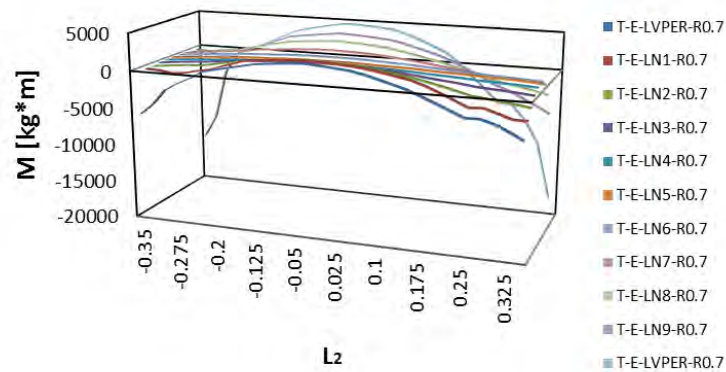


Figura 4.16 Tablero de esquina con relación de lados 0.7.



a)



b)

Figura 4.17 Distribución de momentos para tablero de esquina relación de lado 0.7 en dirección del: a) lado largo y b) lado corto.

#### 4.2.6 Tablero de extremo

En la Figura 4.18 se presenta el modelo de tablero de extremo de losa encasetonada, el cual tiene una relación de lados de 1.0 para el tablero de extremo con lado largo continuo y una relación de lados de 0.9 para el tablero de extremo con lado corto continuo. En las Figuras 4.19 y 4.20 se muestra la distribución de momentos a lo largo de ambas direcciones de todas las nervaduras de extremo e interiores, donde la distribución de momentos en las nervaduras en dirección del lado largo, es mayor en las nervaduras de extremo y disminuyen gradualmente en las nervaduras centrales, además se observa en los bordes de las vigas perimetrales un incremento de momento esto se debe al efecto de una gran concentración de esfuerzos en la zona del capitel. Para el caso de la distribución de momentos en la dirección del lado corto, se observa el mismo efecto donde las nervaduras de extremo tienen una mayor distribución de momentos y menor en las nervaduras de centro y también se presenta el efecto de concentración de esfuerzos en la zona del capitel. En el **Anexo 2** se presenta la distribución de momentos y distribución de coeficientes de momento para todas las relaciones de lado para el tablero de extremo con lado largo continuo y lado corto continuo.

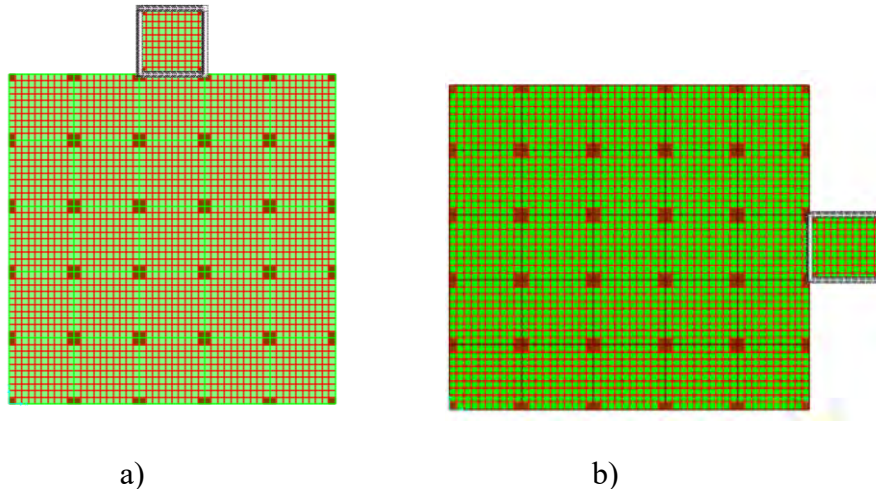
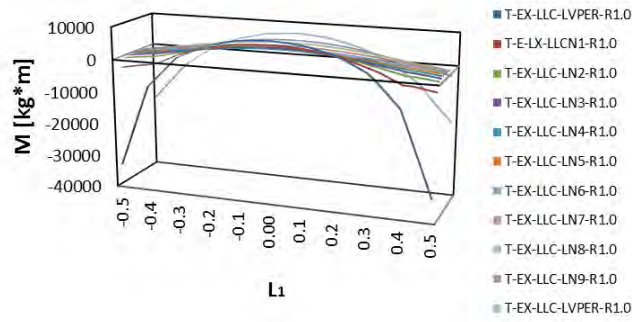
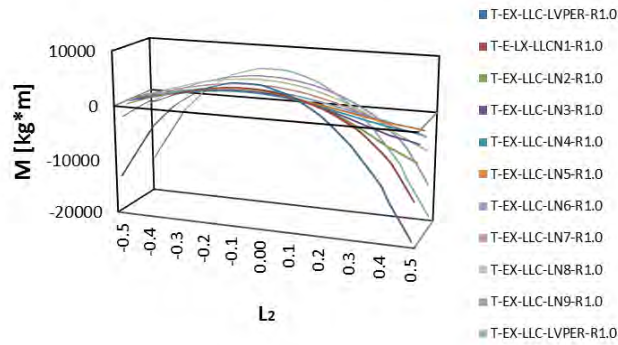


Figura 4.18 Tablero de extremo de losa encasetonada con: a) lado largo continuo y b) lado corto continuo.

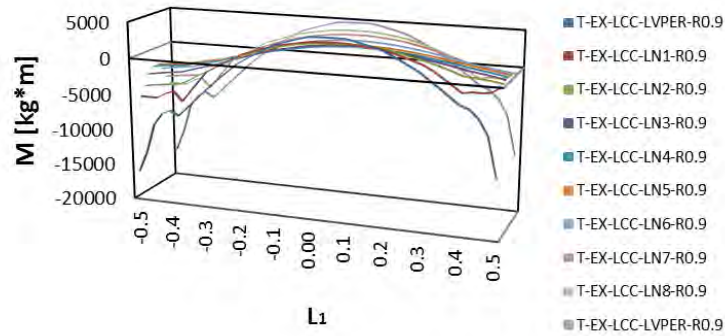


a)

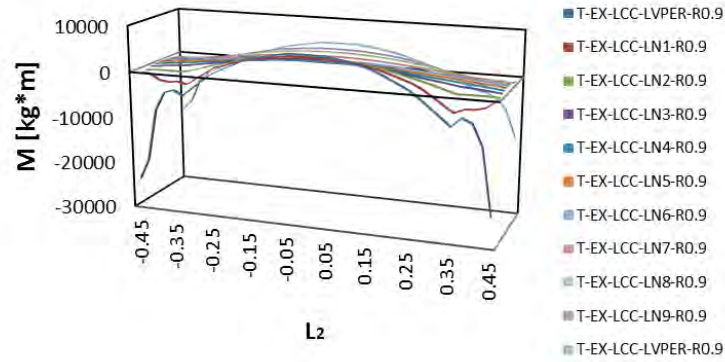


b)

Figura 4.19 Distribución de momentos para tablero de extremo tres lados discontinuos y un lado largo continuo relación de lado 1.0 en dirección del: a) lado largo y b) lado corto.



a)



b)

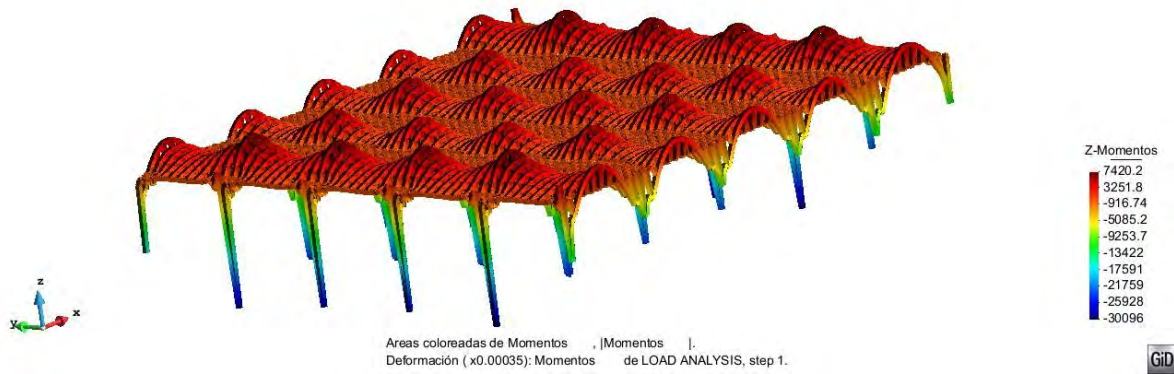
**Figura 4.20 Distribución de momentos para tablero de extremo tres lados discontinuos y un lado corto relación de lado 0.9 en dirección del: a) lado largo y b) lado corto.**

### 4.3 Coeficientes numéricos

Del análisis elástico de los tableros de losa encasetonada descritos anteriormente, aunque se obtuvo la distribución de momentos de todas las nervaduras, sólo se consideraron las nervaduras centrales en dirección del lado largo y del lado corto, con la que se determinó la distribución de coeficientes numéricos  $\alpha [m]$  que se obtuvo con la ecuación (4.1), debido a que la distribución de coeficientes está relacionada con el momento de diseño  $M$ , la carga  $\omega$  y la longitud del claro  $L_2$ .

$$\alpha = \frac{M}{\omega * L_2^2} \quad (4.1)$$

Es importante notar que la distribución de momentos presentada en la sección anterior, se observa un incremento muy abrupto de momento para todos los tableros de estudio en la zona del capitel, lo cual se debe a una concentración de esfuerzos como se observa en la Figura 4.21. Para esta tesis no se presentan los coeficientes en la zona del capitel debido a que éste se diseña por fuerza cortante para evitar el fenómeno de penetración por cortante. Sin embargo, se pueden proporcionar valores aproximados en la zona del capitel, debido a que se observó que la magnitud del momento, obedece a un incremento lineal, por lo que se puede multiplicar el valor del coeficiente obtenido en el extremo de las nervaduras de borde por 10, lo que proporcionará una buena aproximación de momentos en la zona del capitel; este fenómeno de linealidad obedece para todas las configuraciones de tableros expuestos en este trabajo.



**Figura 4.21 Distribución de momentos para un panel con 5 tableros por borde con relación de lados igual a 1.**

Por tanto se propone una distribución de coeficientes en la franja central de nervaduras como se muestra en la Tabla 4.1. Este valor de coeficiente  $\alpha$  se debe de afectar por un valor de  $1 \times 10^3$  para el cálculo de los momentos de diseño ecuación (2.4).

Por ejemplo, se obtuvo el valor del momento de diseño de la nervadura central, en dirección al lado largo, para un tablero aislado con una relación de aspecto igual a uno,  $M = 3728.72 \text{ kg} \cdot \text{m}$ , la carga aplicada es de  $\omega = 785 \text{ kg} / \text{m}^2$  y la longitud del claro  $L_2 = 9.1 \text{ m}$  y aplicando la ecuación (4.1) y afectándolo por el factor  $1 \times 10^3$  se tiene que:

$$\alpha = \frac{3812.07}{785 \cdot 9.1^2} \cdot 1 \times 10^3 = 58.642$$

**Tabla 4.1 Propuesta de coeficientes para nervaduras centrales en losas encasetonadas.**

Tablero	Momento	Dirección	Relación de lados corto a largo, $m = L_2/L_1$					
			0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
<b>Interior</b> todos los bordes continuos	En bordes interiores	corto	-7.594	-8.372	-10.292	-13.624	-17.802	-21.113
		largo	-186.577	-124.993	-85.458	-53.896	-36.739	-21.113
	Centro	corto	2.273	3.183	2.743	5.830	11.584	14.214
		largo	146.903	94.718	64.778	41.195	27.712	14.214
<b>De borde</b> un lado corto discontinuo	En bordes interiores	corto	-3.120	-6.649	-13.364	-13.432	-17.308	-20.329
		largo	-223.093	-154.099	-108.752	-70.278	-48.859	-28.544
	En bordes discontinuos	largo	-10.701	15.430	20.634	18.256	14.877	12.963
		Centro	corto	2.277	1.138	1.808	6.305	11.101
<b>De borde</b> un lado largo discontinuo	En bordes interiores	corto	6.831	-2.135	-10.415	-17.643	-24.513	-28.544
		largo	-179.110	-112.281	-71.477	-49.309	-36.975	-20.329
	En bordes discontinuos	corto	2.453	8.031	11.719	10.954	13.209	12.963
		Centro	corto	25.715	23.383	26.650	29.315	33.390
<b>De esquina</b> dos lados adyacentes discontinuos	En bordes interiores	corto	16.499	12.270	11.386	-12.649	-19.857	-24.260
		largo	-185.383	-135.224	-87.232	-61.262	-45.879	-24.260
	En bordes discontinuos	corto	14.309	12.622	11.403	10.515	12.675	12.832
		largo	-11.817	13.556	12.386	12.142	10.368	12.832
<b>De extremo</b> Tres bordes discontinuos un lado largo continuo	Centro	corto	31.906	28.638	33.573	31.639	34.088	38.174
		largo	165.537	119.760	88.522	95.594	65.136	38.174
	En borde continuo	corto	9.459	1.987	-5.665	-9.379	-20.003	-23.866
		En bordes discontinuos	corto	3.315	8.908	7.741	6.740	2.085
<b>De extremo</b> Tres bordes discontinuos un lado corto continuo	En bordes discontinuos	largo	-20.289	-7.252	2.029	5.530	5.190	2.075
		corto	36.292	33.743	35.328	35.239	36.013	41.401
	Centro	largo	202.635	146.010	118.261	87.801	67.451	61.971
		largo	-206.661	-139.205	-96.587	-62.154	-42.782	-23.866
<b>Aislado</b> cuatro lados discontinuos	En bordes discontinuos	corto	12.652	10.504	15.005	12.845	10.974	12.928
		largo	-15.085	13.882	10.638	11.679	10.403	12.928
	Centro	corto	47.233	48.169	55.388	57.187	58.703	58.642
		largo	188.096	137.442	110.312	87.584	72.208	58.642

De la distribución de coeficientes en las nervaduras centrales, es posible calcular el momento de diseño en las nervaduras de borde debido a que presenta un comportamiento lineal, para esto se multiplica el coeficiente de la nervadura central por el factor de transporte correspondiente de la Tabla 4.2, esto para las nervaduras de borde; sin embargo si se requiere el momento de diseño en alguna nervadura intermedia se tendría que hacer una interpolación lineal.

**Tabla 4.2 Propuesta de coeficientes para nervaduras de borde en losas encasetonadas.**

Tablero	Momento	Dirección	Relación de lados corto a largo, $m = L_2/L_1$					
			0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
<b>Interior</b> todos los bordes continuos	En bordes interiores	corto	15.23	15.23	13.00	10.01	4.50	9.14
		largo	1.22	1.36	1.57	2.06	2.58	9.14
	Centro	corto	-29.63	-30.32	12.93	9.06	7.91	7.41
		largo	1.47	1.73	2.06	2.75	3.60	7.41
<b>De borde</b> un lado corto discontinuo	En bordes interiores	corto	12.66	8.80	5.54	5.93	4.89	10.28
		largo	2.16	2.34	2.68	3.39	2.72	8.48
	En bordes discontinuos	corto	12.20	7.68	4.59	6.28	5.13	6.22
		Centro	corto	30.99	24.29	20.38	16.76	8.95
<b>De borde</b> un lado largo discontinuo	En bordes interiores	corto	-10.11	41.64	14.43	9.29	4.98	4.07
		largo	1.74	2.11	2.03	2.42	2.74	10.28
	En bordes discontinuos	largo	1.52	1.84	2.32	2.75	3.30	6.22
		Centro	corto	5.37	5.30	4.45	4.05	3.34
<b>De esquina</b> dos lados adyacentes discontinuos	En bordes interiores	corto	-6.33	-7.57	-14.12	13.85	6.06	10.73
		largo	2.65	1.84	2.73	4.16	4.78	10.73
	En bordes discontinuos	corto	-6.24	-6.08	-7.65	-10.11	-11.60	-16.63
		largo	29.22	-22.66	-16.78	-13.82	-7.50	-16.63
<b>De extremo</b> Tres bordes discontinuos un lado largo continuo	En borde continuo	corto	3.95	4.46	4.32	3.79	3.49	3.52
		largo	1.69	1.83	2.14	1.59	2.02	3.52
	En bordes discontinuos	largo	10.10	24.54	-69.93	-21.30	-35.53	-20.29
		Centro	corto	-9.54	-64.94	23.67	14.57	6.94
<b>De extremo</b> Tres bordes discontinuos un lado corto continuo	En bordes discontinuos	largo	17.08	25.70	-72.66	-22.01	-28.12	-17.36
		Centro	corto	1.01	1.39	1.55	1.83	1.88
	En borde continuo	largo	1.34	1.47	1.50	1.73	1.97	2.24
		Centro	corto	-26.80	-12.91	-10.21	-4.80	-4.78
<b>Aislado</b> cuatro lados discontinuos	En bordes discontinuos	corto	-17.81	-8.84	-7.19	-7.43	-7.11	0.69
		largo	1.73	1.94	2.22	2.83	3.17	7.00
	Centro	corto	2.84	3.13	2.65	2.55	2.25	2.24
		largo	1.44	1.63	1.74	1.90	1.95	2.22
<b>Aislado</b> cuatro lados discontinuos	En bordes discontinuos	corto	-7.75	-4.80	-4.42	-4.52	-6.93	-6.42
		largo	17.51	-34.45	-21.98	-11.48	-10.87	-8.46
	Centro	corto	1.79	1.80	1.64	1.70	1.65	1.71
		largo	1.40	1.49	1.53	1.60	1.63	1.71

# Capítulo 5

## Validación de coeficientes

En este capítulo se comparan los momentos de diseño, obtenidos en una estructura modelada con software de análisis estructural SAP2000 v16 (CSI 2013) contra los momentos calculados con los coeficientes de momento para las nervaduras de losas encasetonadas propuestos en el capítulo anterior.

### 5.1 Modelo losa de estacionamiento

La estructura fue diseñada para un estacionamiento como se muestra en la Figura 5.1, la cual consiste de un sistema de losa encasetonada, apoyada perimetralmente por vigas principales de 0.49x40m, 0.48x40m y 0.25x40m. Los tableros son de sección variable: tablero Tipo 1 8.20x5.70m de dimensiones y casetones de 0.90x0.75m, Tablero Tipo 2 con dimensiones de 8.20x8.75 m por lado y casetones de 0.9x0.85m, con un espesor de 5 cm de losa. Las vigas perimetrales de la losa están simplemente apoyadas en sus extremos mediante capiteles, los cuales tienen un espesor de 0.40m colocados sobre columnas circulares de 60cm de diámetro y columnas cuadradas de 0.30x0.30 m; las nervaduras tienen una sección transversal de 0.10x0.40m y 0.09x0.40m. La ubicación de las vigas y de la losa se muestra en la Figura 5.2; mientras que las secciones transversales de las vigas y nervaduras se muestran en la Tabla 5.2. Las propiedades de los materiales son: resistencia a la compresión del concreto  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y un coeficiente de Poisson  $\nu = 0.2$ . En el análisis se consideró solo, la acción de cargas verticales, una carga viva máxima de  $250 \text{ kg/m}^2$ , una sobrecarga de  $168 \text{ kg/m}^2$  como se muestra en la Tabla 5.1 y el peso propio de la estructura. Se consideró un factor de carga de 1.4 por tratarse de una estructura tipo B para generar la combinación de carga más desfavorable.

Tabla 5.1 Carga muerta adicional.

<i>Carga</i>	<i>Unidad (kg/m<sup>2</sup>)</i>
Bloques de mortero	63.0
Carpeta asfáltica de 5cm de espesor	65.0
Carga adicional RCDF	40.0
<b>Total de carga muerta adicional:</b>	<b>168.0</b>

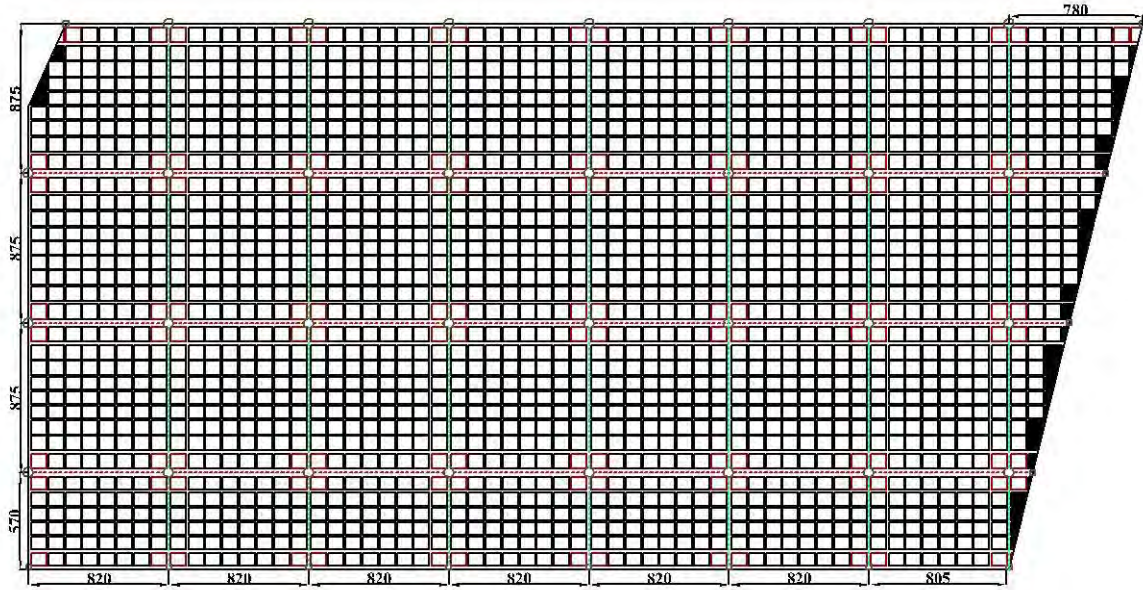


Figura 5.1 Vista en planta de estructura a estudiar (cotas en cm).



Figura 5.2 Ubicación de vigas principales y nervaduras (cotas en cm).

Tabla 5.2 Dimensión de vigas y columnas.

Sección	Descripción	Dimensiones [m]	Color
V1	Viga principal	0.49x0.40	Gris
V2	Viga principal	0.48x0.40	Verde
V3	Viga secundaria	0.25x0.40	Rojo
V4	Viga secundaria	0.20x0.40	Amarillo
V5	Viga secundaria	0.19x0.40	Magenta
V6	Nervadura	0.10x0.40	Azul marino
V7	Nervadura	0.09x0.40	Cyan
C1	Columna	0.30x0.30	Negro
C2	Columna	0.30 de radio	Negro

## 5.2 Tableros de estudio

Los tableros de estudio son un interior y uno de borde con un lado corto discontinuo, los cuales se muestran en la Figura 5.3. Los momentos calculados numéricamente en las nervaduras de estos tableros en dirección del lado corto y dirección del lado largo de la losa se muestran respectivamente en las Figuras 5.4 y 5.5.

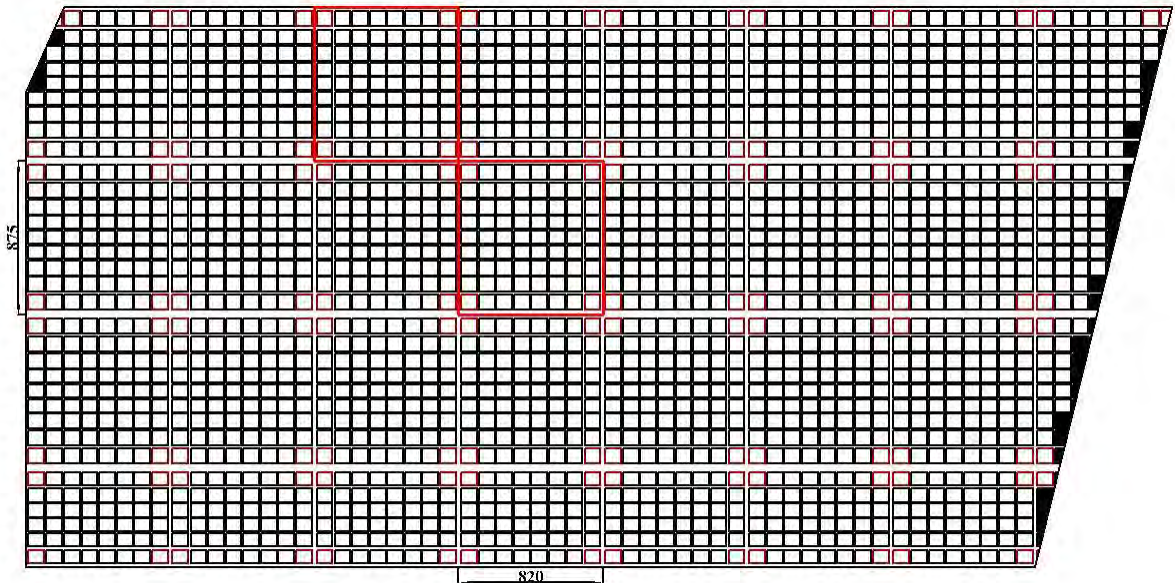
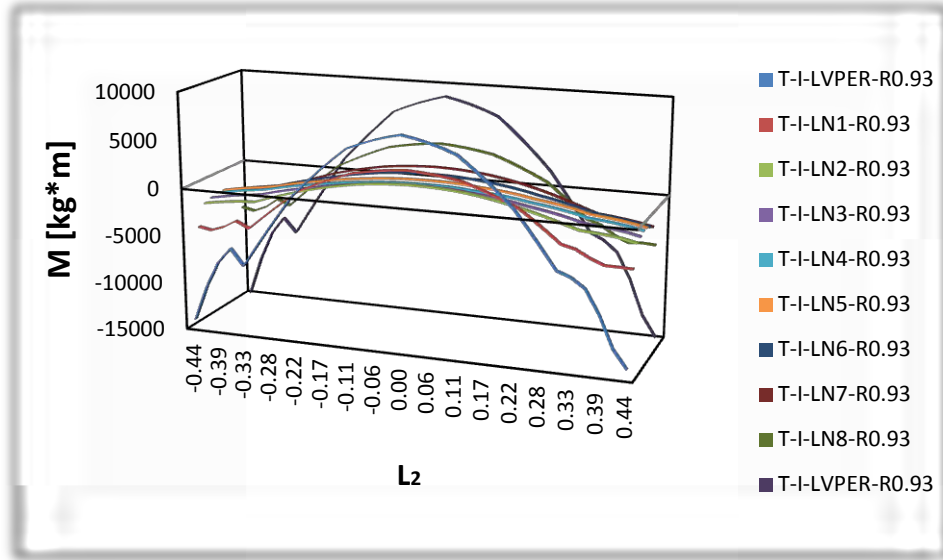
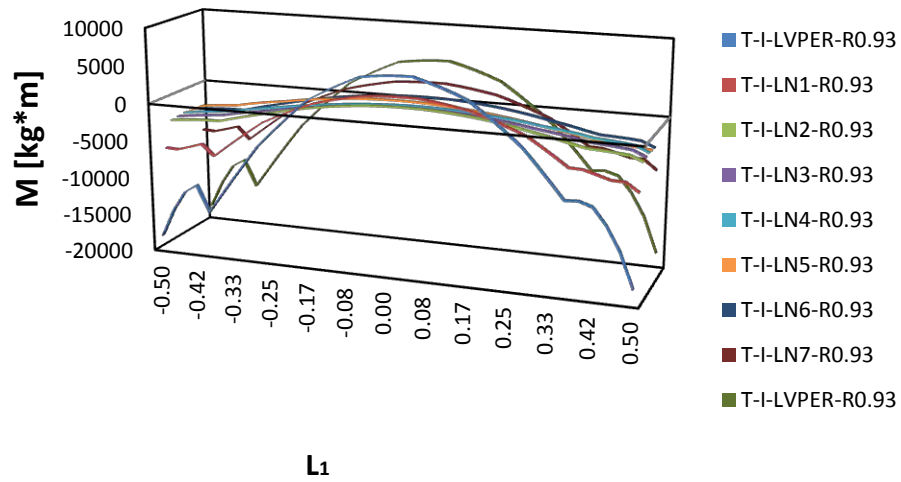


Figura 5.3 Localización de los tableros de estudio.

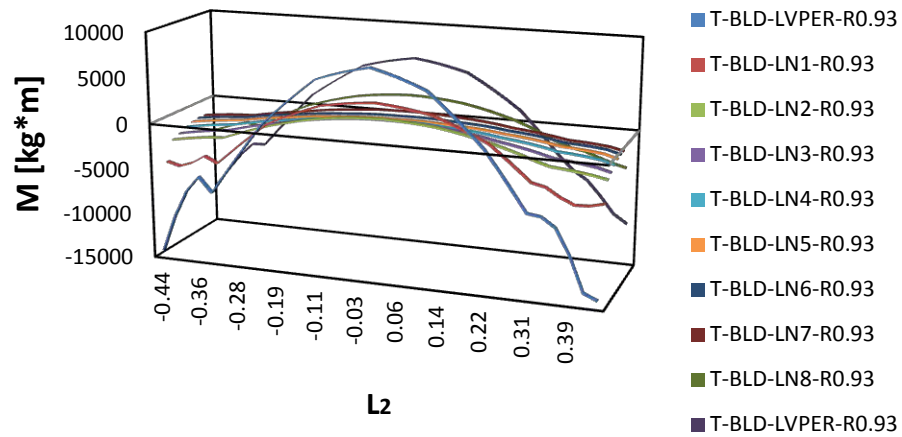


a)

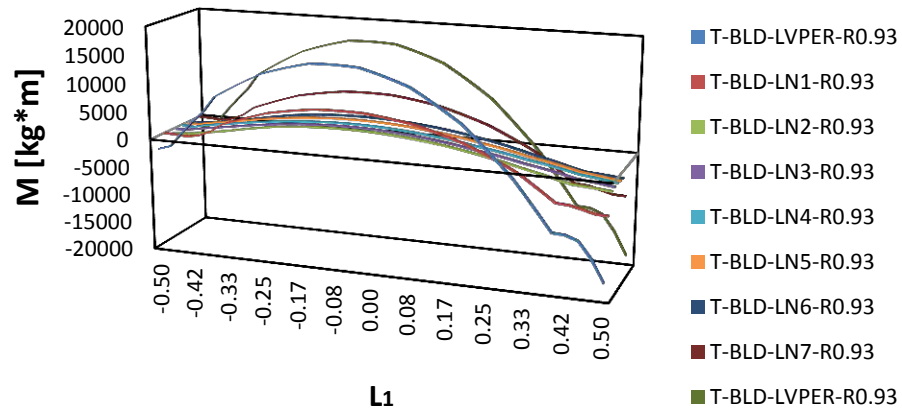


b)

Figura 5.4 Distribución de momentos para tablero interior: a) lado corto y b) lado largo.



a)



b)

Figura 5.5 Distribución de momentos para tablero de borde un lado corto discontinuo: a) lado corto y b) lado largo.

### 5.3 Comparación

La distribución de momentos en las nervaduras centrales obtenida del análisis numérico, se comparó con la propuesta de coeficientes de momentos de la Tabla 4.1. Para este modelo se tiene una relación de lado corto entre lado largo igual a 0.93, por lo que se hizo una interpolación lineal entre los valores de 0.9 y 1.0 para calcular los coeficientes de momento adecuados para el tablero de estudio.

Para la distribución de momentos con la tabla de coeficientes, se propuso que la franja central tenga un ancho igual a la mitad del claro perpendicular a ellas y cada franja extrema tenga un ancho igual a la cuarta parte del mismo, como se muestra en la Figura 5.6.

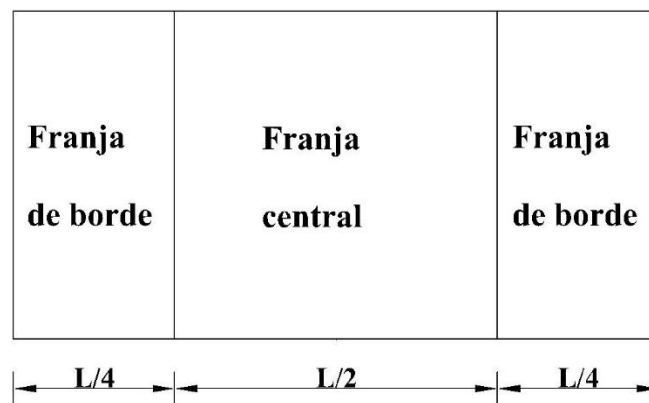
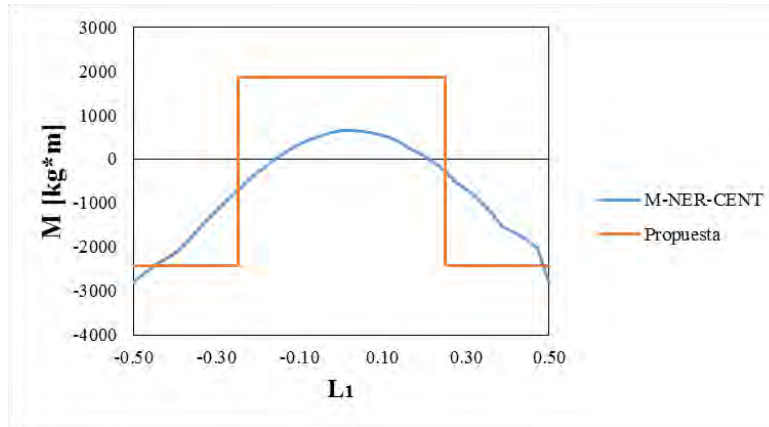
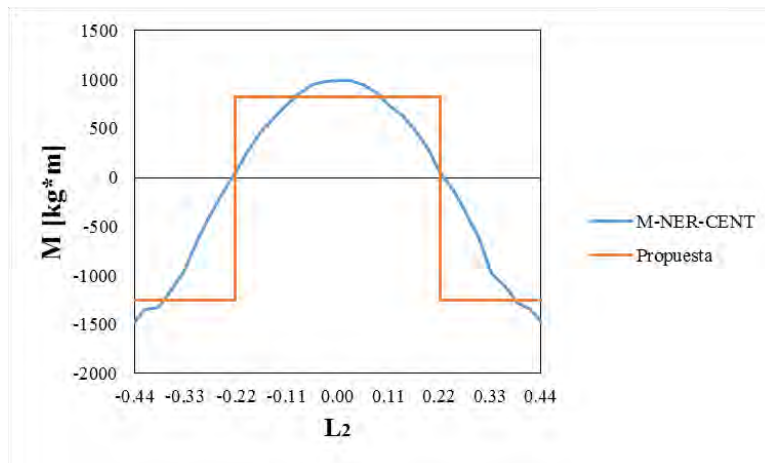


Figura 5.6 Definición de franjas.

La Figura 5.7 muestra los momentos obtenidos numéricamente y los momentos obtenidos con los coeficientes de la Tabla 4.1 en las nervaduras centrales en dirección del lado largo del tablero interior, donde se observa que el momento calculado con los coeficientes al centro de la nervadura es mayor al numérico en un 190%. En los extremos de la misma franja se observa que el momento calculado con los coeficientes es un 15 % menor que el numérico. Por otra parte, en el lado corto del tablero interior se observa que al centro de la nervadura el momento calculado con los coeficientes es un 19% mayor que el numérico y en los extremos, éste es un 20% menor que el numérico.



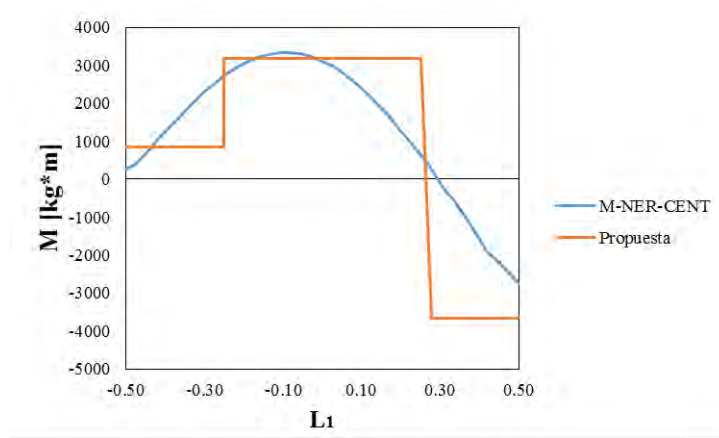
a)



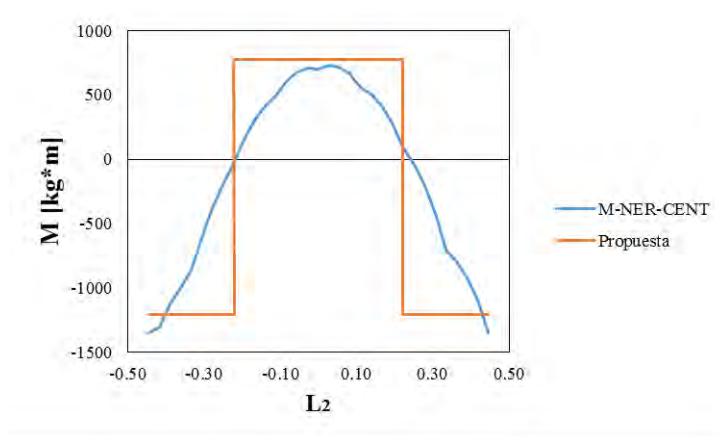
b)

**Figura 5.7** Distribución de momentos tablero interior en dirección: a) larga y b) corta.

La Figura 5.8 muestra los momentos calculados numéricamente y los obtenidos con los coeficientes de la Tabla 4.1 de las nervaduras centrales en dirección del lado largo del tablero de borde con un lado corto discontinuo, donde se observa que el momento calculado con los coeficientes es mayor el 2% que el numérico. En extremos de la misma franja, el momento calculado con los coeficientes es el 32 % mayor que el numérico. Por otro lado, en el lado corto se observa que al centro de la nervadura el momento calculado con los coeficientes es el 10% menor al numérico, en los extremos éste es el 11% menor al numérico. Con base en lo anterior, se puede concluir que la tabla de coeficientes propuesta en este trabajo proporciona una buena aproximación de los momentos de diseño para las nervaduras de la losa encasetonada.



a)



b)

Figura 5.8 Distribucion de momentos tablero de borde en direccion: a) larga y b) corta.

# Conclusiones y recomendaciones

## 6.1 Conclusiones

Al analizar las nervaduras de la losa encasetonada y al considerar la losa encasetonada como una losa maciza con espesor equivalente, donde se mantiene el momento de inercia de la sección, pero no el área de la sección, ocasiona un incremento en la carga muerta de la estructura, generando una distribución de momentos mayores, lo que provocaría un sobredimensionamiento de las nervaduras, además se observó que la distribución de momentos en la losa maciza equivalente, es mayor al centro de la franja de análisis y en los extremos es menor. Sin embargo, para la distribución de momentos en las nervaduras se observó un efecto de distribución de momentos inverso al de la losa maciza con espesor equivalente.

Se evaluaron algunos tipos de casetones comerciales, comparando los desplazamientos al centro de los paneles contra el límite establecido por las NTCC-04, observando que los casetones que tienen un peralte mayor a 40 cm presentan un desplazamiento menor al límite establecido, por lo que cumplen con el estado límite de servicio.

Del modelado numérico de los siete distintos tableros se obtuvo la distribución de coeficientes a partir de la distribución de momentos, destacando que la distribución de momentos obtenida en la Tabla 4.1 es para las nervaduras centrales de cada tablero; sin embargo, no se presenta la misma distribución de momentos en las franjas de borde propuestas por las NTCC-04, donde se propone una distribución del 60% con respecto a la franja central, por lo que en este trabajo se presenta la distribución de coeficientes de momento para las nervaduras de extremo las cuales presentan un comportamiento lineal, por lo que se multiplica el coeficiente de la franja central por el factor de transporte correspondiente de la Tabla 4.2. Si se desea el momento de diseño en alguna nervadura intermedia se debe de hacer una interpolación lineal.

También se mostró que para el estudio de todos los tableros en la zona del capitel presenta una distribución mayor de momentos generando una alta concentración de esfuerzos, debido a que en esta zona se debe diseñar el capitel para que no se genere el efecto de cortante por penetración en la columna, por lo que en las tablas propuestas de coeficientes de momento, no se contempla la zona de capitel en las nervaduras de extremo. Sin embargo, se observó que se presenta una distribución lineal la zona del capitel y la nervadura de borde en su extremo, por lo que se puede multiplicar el valor del coeficiente obtenido en el extremo de las nervaduras de borde por 10, lo que proporciona momentos de diseño seguros en la zona del capitel.

De la comparación de resultados de momentos calculados con los coeficientes propuestos contra los numéricos en las nervaduras centrales, se concluye que la tabla de coeficientes propuesta proporciona momentos de diseño seguros debido a que al centro de las nervaduras los momentos calculados con los coeficientes son mayores a los numéricos y en los extremos, donde los momentos son negativos, se tiene una aproximación de hasta el 90 % del numérico, por lo que se recomienda adoptar la tabla de coeficientes propuesta como un método válido para el diseño de nervaduras de un sistemas estructurados con losa encasetonada.

## 6.2 Recomendaciones

Para el diseño de sistemas de pisos con losa encasetonada no se recomienda realizar el análisis con una losa maciza de espesor equivalente, debido a que se demostró que se obtiene una distribución de momentos con mayor magnitud en las franjas de estudio, lo que representa un sobre dimensionamiento de las nervaduras, por tanto se recomienda hacer el uso de las tablas propuestas para los coeficientes de diseño para losas encasetonadas.

Para el uso de las tablas de los coeficientes de diseño se recomienda hacer interpolación lineal en caso de que la relación de aspecto no esté incluida en las tablas propuestas, debido a que al hacer esto se obtiene una mayor aproximación en los momentos de diseño de las nervaduras en las losas encasetonadas.

## 6.3 Trabajos futuros

Como trabajos futuros se proponen:

- Estudiar el efecto en la distribución de momentos y de coeficientes para relaciones de aspecto menores a 0.5.
- Estudiar la distribución de momentos y de coeficientes para distintas configuraciones de casetones.
- Estudiar el efecto de la distribución de momentos y de coeficientes con distintas distribuciones de carga en losas encasetonadas.
- Estudiar el efecto de la carga sísmica en losas encasetonadas.

# Referencias

- [1] Abdel Rahman Abdel Maksoud A. (2005), “Analysis of waffle slabs whit openings”, Tesis de Maestría, Universidad de Zagazic, Egipto.
- [2] Abdul Wahab H.M.S y Khalil M.H. (2000), “Rigidity and strength of orthotropic reinforced concrete waffle slab”. Journal of Structural Engineering, Vol. 126, pp. 219-227.
- [3] ABNT NBR 6118 (2003), Procedimiento para el diseño de estructuras de concreto, Asociación Brasileña de Normas Técnicas-Norma Brasileña.
- [4] ANSYS (2013), ANSYS 15.0.0, ANSYS Inc. United states.
- [5] ACI 318-11 (2011), Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute.
- [6] Arellano Méndez E. y González Cuevas O.M. (2012), “Estudio experimental de conexiones columna-losa postensadas aligerada”, Concreto y cemento, investigación y desarrollo. Vol 3, Num 2, pp. 34-61.
- [7] ADINA (2015), “ADINA System 9.0, Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis”, ADINA Inc. Germany.
- [8] CSI-13 (2008), “SAFE V12, Manual de usuario. Integrated Design of Slabs, Mats and Footings”, Computers and Structures, inc.
- [9] CSI-13 (2013), “ETABS Ultimate 13.1.1, Manual de usuario. Integrated Building Design Software”, Computers and Structures, inc.
- [10] CSI-13 (2013), “SAP 2000 Ultimate 16.0.0, Manual de usuario. Structural Analysis Program”, Computers and Structures, inc.
- [11] Donin C. (2007) “Análisis numérico de losas encasetonadas utilizando el método de elementos finitos”, Tesis de Maestría, Universidad Federal de Santa María, Brasil.
- [12] EC-2, (2002), British Standards Institution BS EN 1992-2, Eurocode 2: Design of concrete structures. BSI.
- [13] ECP-203, (2001), Egyptian code for design and construction of reinforced concrete structures, ECPCS-203. Housing and Building National Research Center. Ministry of Housing, Utilities and Urban Planning, Cairo.

- [14] GiD, Versión 11.1.8d, Manual de usuario, CIMNE International Center for Numerical Methods in Engineering.
- [15] González O.M. y Robles F. (2007), “Aspectos fundamentales del concreto reforzado”, Cuarta edición, Limusa, México.
- [16] Gutiérrez P. (2014), “Estudio numérico de los coeficientes de diseño de losas de concreto”, Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana.
- [17] Hillerborg A. (1974). “The strip method of design”, Cement and Concrete Association, pp, 256.
- [18] Ibrahim A., Salim H. y El-Din H.S. (2011), “Moment Coefficients for design of waffle and without openings”, Engineering Structures, Vol.33, pp.2644-2652.
- [19] IStructE-11, (2011), The Institution of Structural Engineers / The Institution of Civil Engineers. Manual for the design of concrete building structures to Eurocode 2.
- [20] Johanson K.M. (1946), “Yield-line formulae for slabs”, Cement and Concrete Association, pp, 104.
- [21] Kabele P., Cervenka V. y Cervenka J. (2013), ATENA version 5, ATENA Program Documentation. Cervenka Consulting. Prague, Czech Republic.
- [22] Meli R. (2008), “Diseño Estructural”, Segunda Edición, Limusa, México.
- [23] NTCC-04, (2004), Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- [24] NTCS-04, (2004), Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- [25] NTCA-04, (2004), Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- [26] OPTIMOLDE, “catálogo de casetones”, <http://www.optimoldes.com/casetonm.htm>.
- [27] Park R. y Gamble W.L. (2000), “Reinforced Concrete Slabs”, Segunda Edición, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- [28] Prasad J., Chander S. y Ahuja A.K. (2005), “Optimum dimensions of waffle slab for medium size floors”. Asian Journal of Civil Engineering, Vol. 6, No. 3, pp. 183-197.

- [29] RCDF-04 (2004), Reglamento de Construcción del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- [30] Reiss R. y Sokal J. (1972), "Design of ribbed flat slabs". *The Structural Engineer*, Vol. 50, No. 8, pp. 303-307.
- [31] Selot R. K. (1966), "A comparative study of reinforced concrete plain and waffle slabs". Tesis doctoral. Universidad de Strathclyde, Reino Unido.
- [32] Stramandinoli J. S. B. (2003) "Las contribuciones al análisis de losas encasetonadas por analogía de malla" Tesis de maestría, Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil.
- [33] SRAC (2000), COSMOS/version 2.6, Finite Element Package, Structural Research and Analysis Corporation, Los Angeles California.
- [34] Whittle R. T. (1981) "Design of reinforced concrete flat slabs to BS8110", CIRIA Report 110, 48 pp.
- [35] Wood R.H. (1968), "Design of reinforced concrete flat slabs in accordance with a predetermined field of moments", *Concrete*, Vol. 2, pp. 69-76.

# Anexo I Variación de momentos en losas encasetonadas.

En la siguiente sección se muestra la distribución de momentos en nervaduras de losas encasetonadas y se comparan con el modelo de losa maciza con espesor equivalente presentado por Abdul-Wahab *et al.* (2000).

Las Figuras AI. 1 y AI. 2 muestran la distribución de momentos en dirección horizontal y vertical, para cada caso se modeló en GiD para representar la distribución de momentos en 3D, se observa que para el caso de las nervaduras la distribución de momentos es mayor en las nervaduras de los extremos y menor en las nervaduras centrales, además comparando con la distribución de momentos de un sistema de losa maciza con espesor equivalente donde se tiene que la distribución de momentos son máximos al centro del claro y menores en los extremos, con base en estas observaciones para la obtención de los coeficientes solo se tomó en cuenta la distribución de momentos en las nervaduras.

En las Figuras AI. 3 y AI. 4 se observa el fenómeno de concentración de esfuerzos en la zona del capitel.

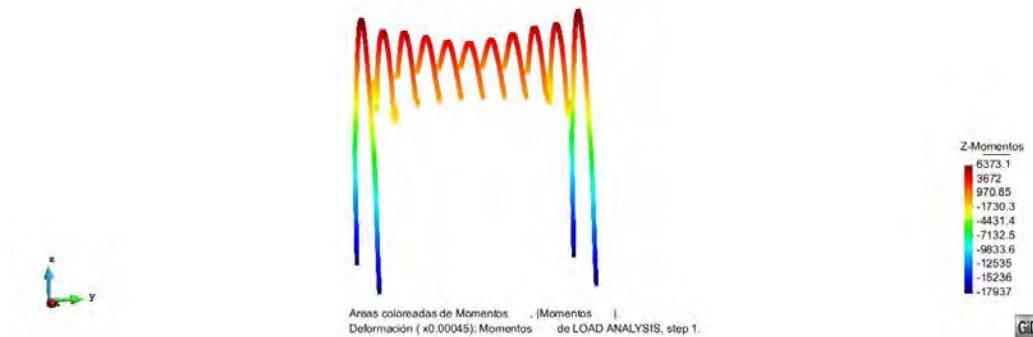
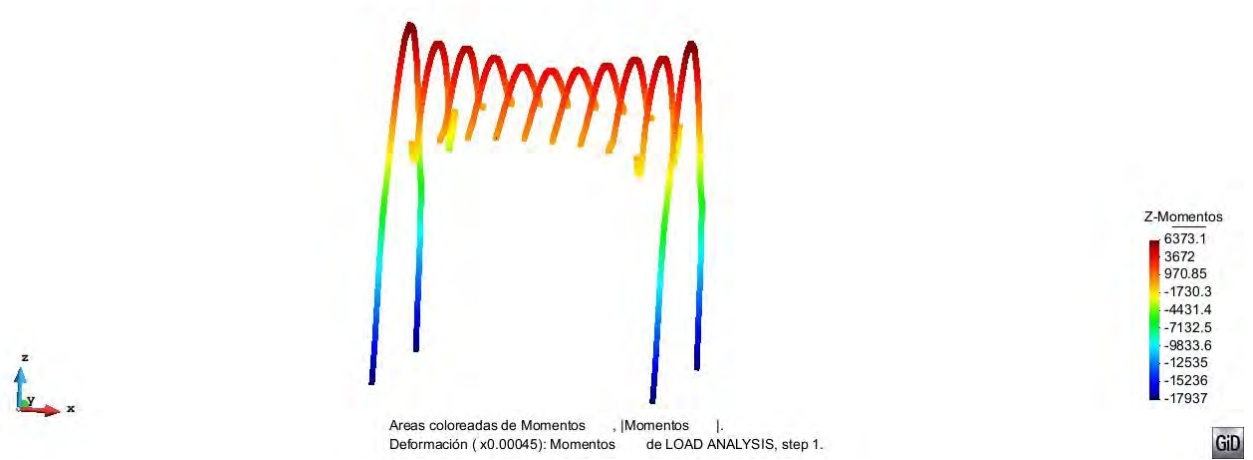
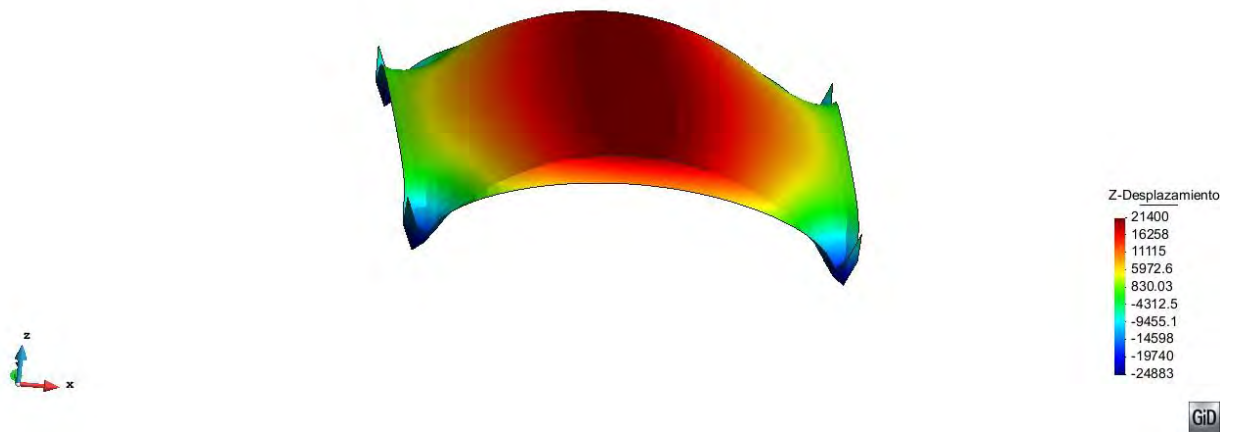


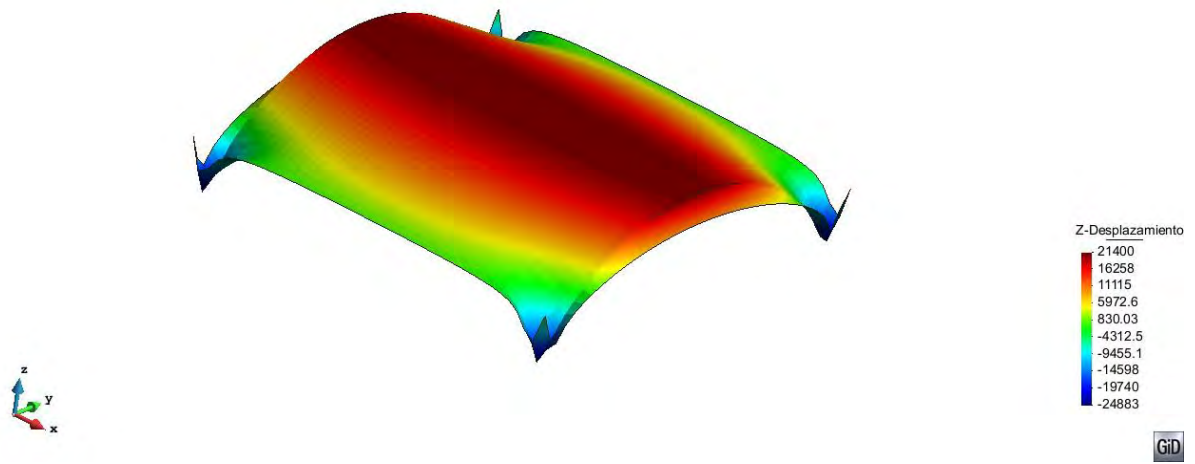
Figura AI. 1 Distribución de momentos en nervaduras en dirección horizontal.



**Figura AI. 2 Distribución de momentos en nervaduras dirección vertical.**



**Figura AI. 3 Distribución de momentos en losa de espesor equivalente en dirección horizontal.**



**Figura AI. 4 Distribución de momentos en losa de espesor equivalente en dirección vertical.**

# Anexo II Distribucion de coeficientes.

En la siguiente seccion se presnta la distribucion de momentos en todas las nervaduras, para todas las configuraciones de tableros expuestos en este trabajo y para las relaciones de aspecto, además, se presentan los coeficientes obtenidos numericamente descritos en el capitulo 4.

En las figuras mostradas el criptograma utilizado en cada modelo esta descrito por sus siglas T “tablero”, A “aislado”, I “interior”, E “esquina”, BCD “de borde lado corto discontinuo”, BLD “de borde lado largo discontinuo”, EX-LLC “extremo con un lado largo continuo”, EX-LCC “extremo con un lado corto continuo”, LVP “línea de vigas perimetrales”, LN “línea de nervaduras”, R “relación de aspecto” y así respectivamente para cada tablero descrito anteriormente.

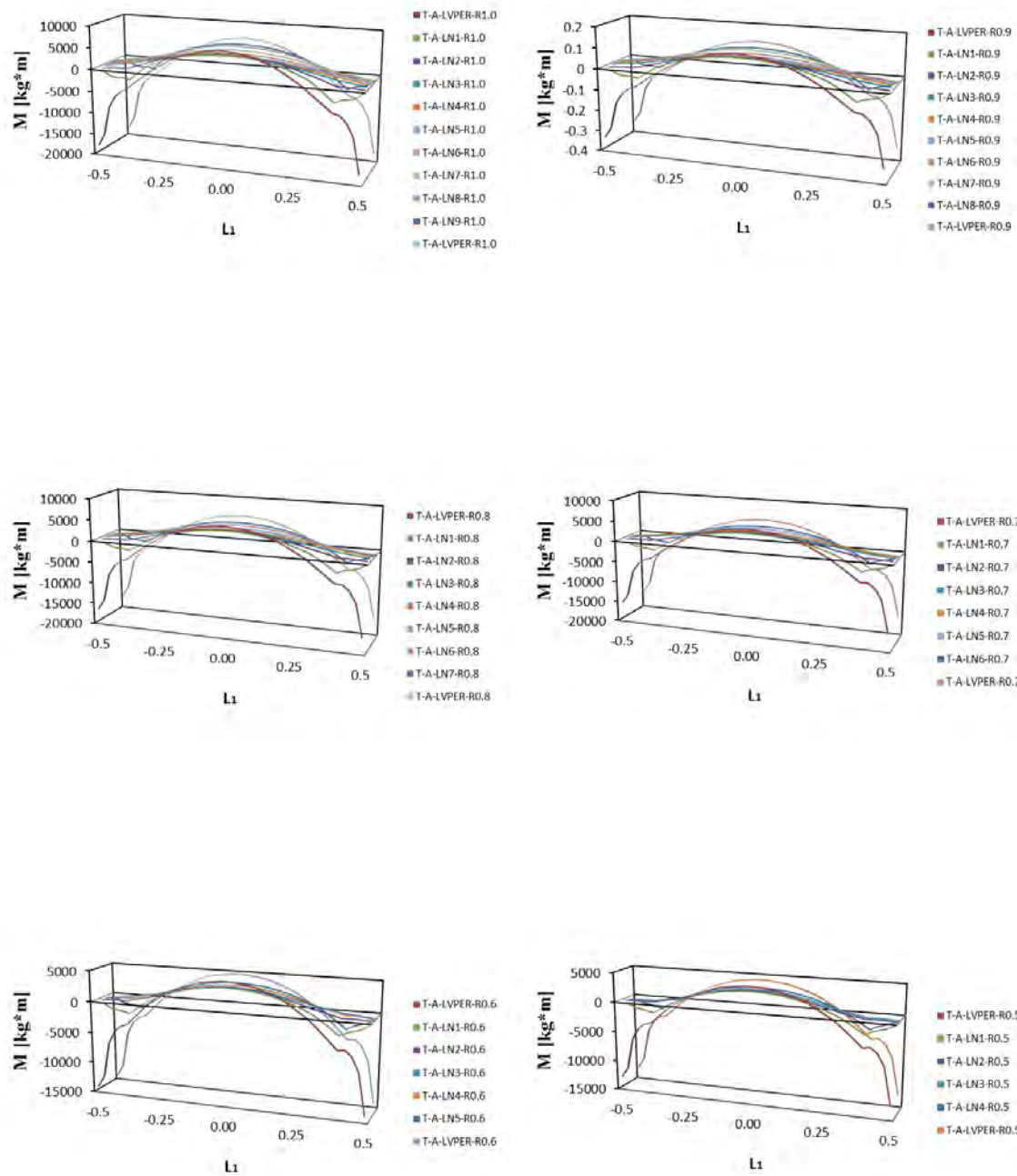


Figura AII. 1 Momentos en dirección del lado largo para tablero aislado.

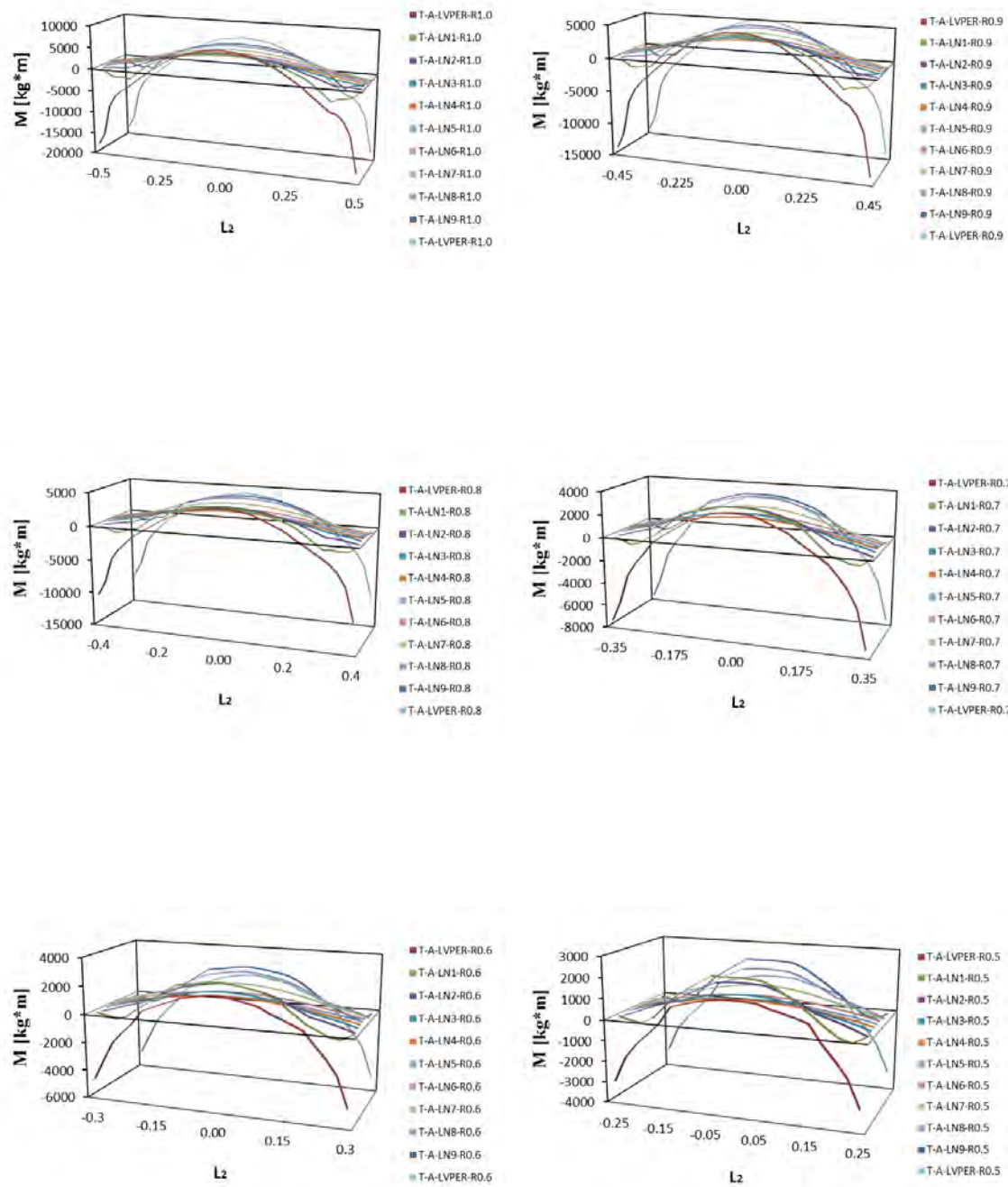


Figura AII. 2 Momentos en dirección del lado corto para tablero aislado.

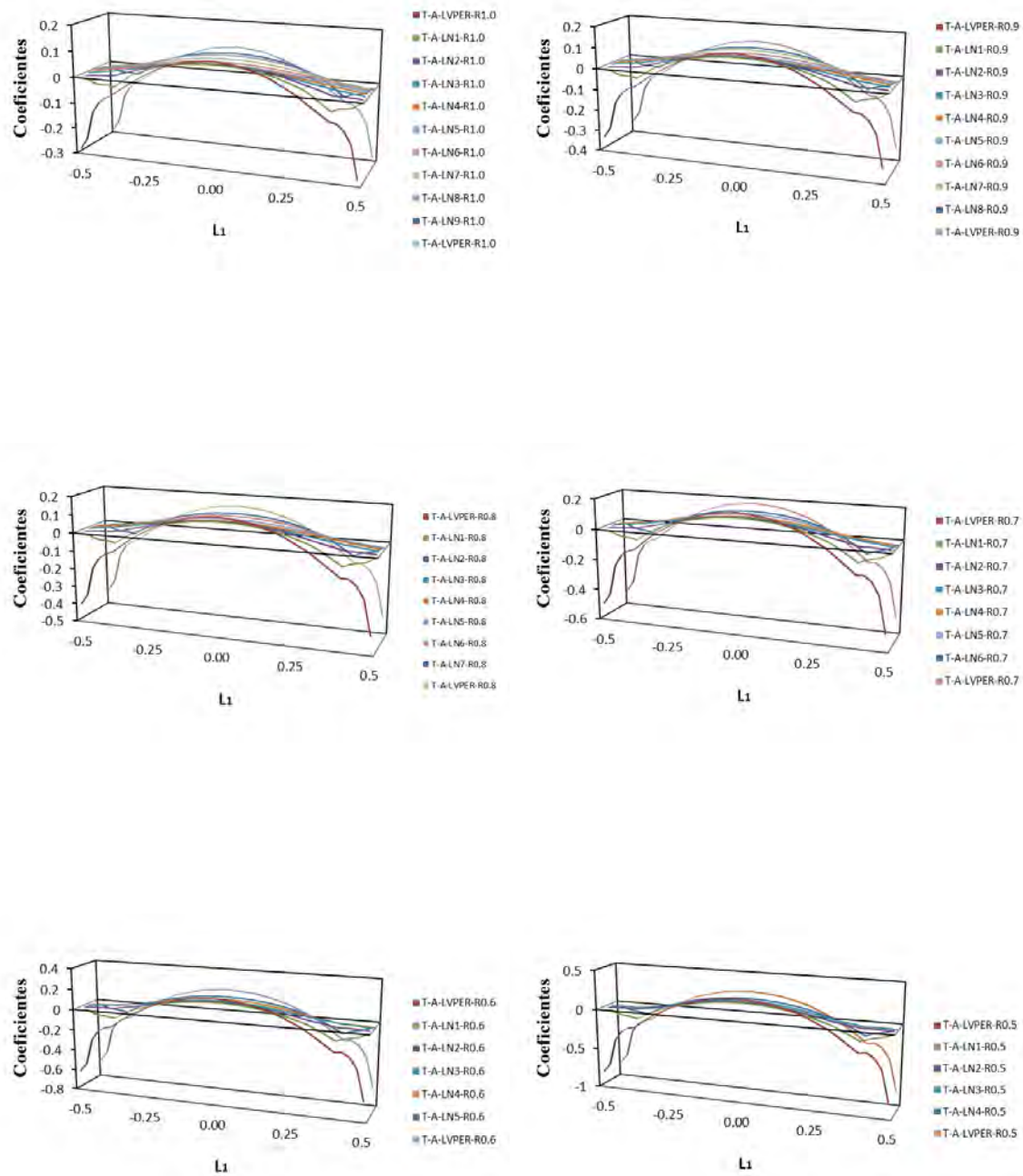


Figura AII. 3 Coeficientes de momentos en dirección del lado largo para el tablero aislado.

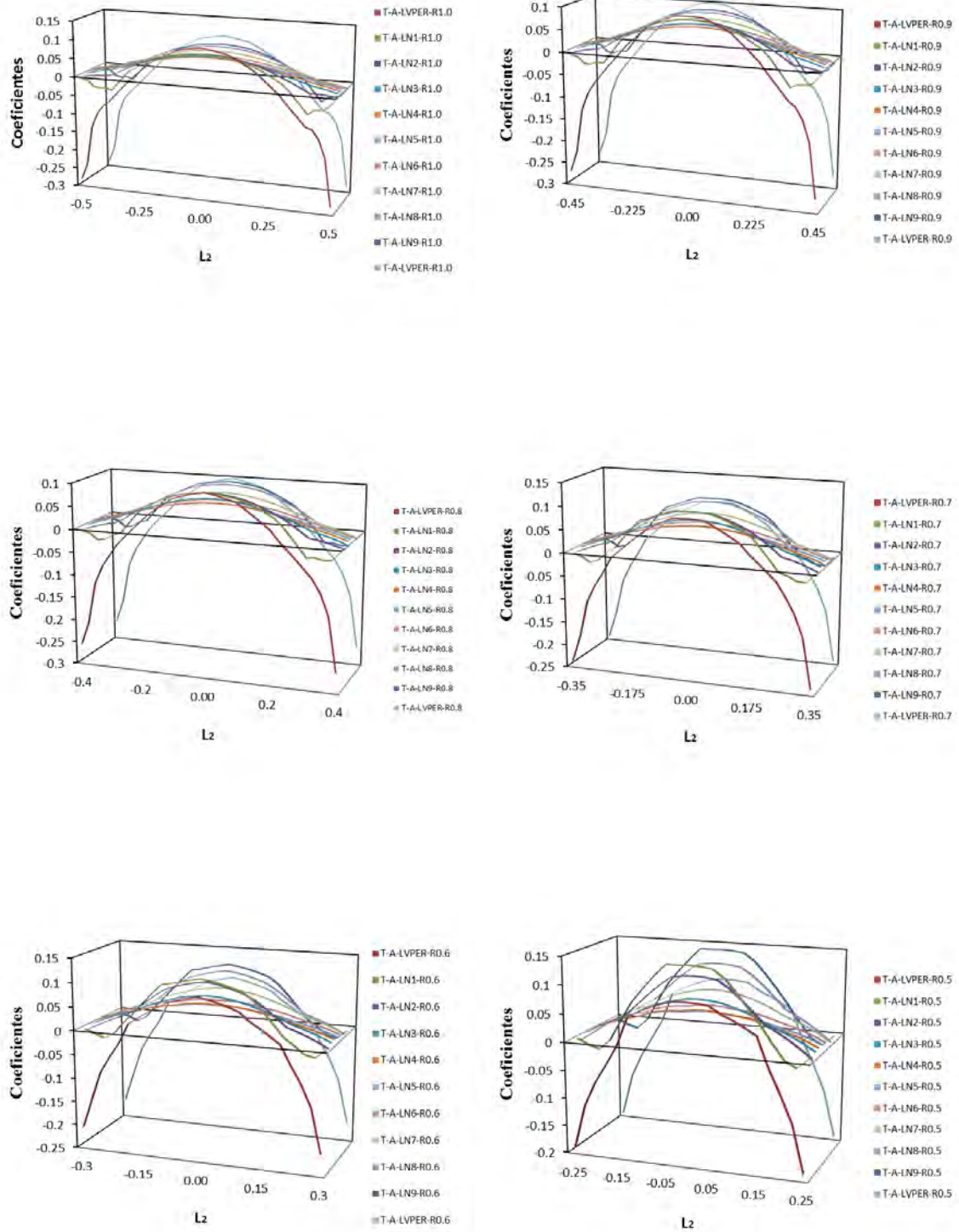


Figura AII. 4 Coeficientes de momentos en dirección del lado corto para el tablero aislado.

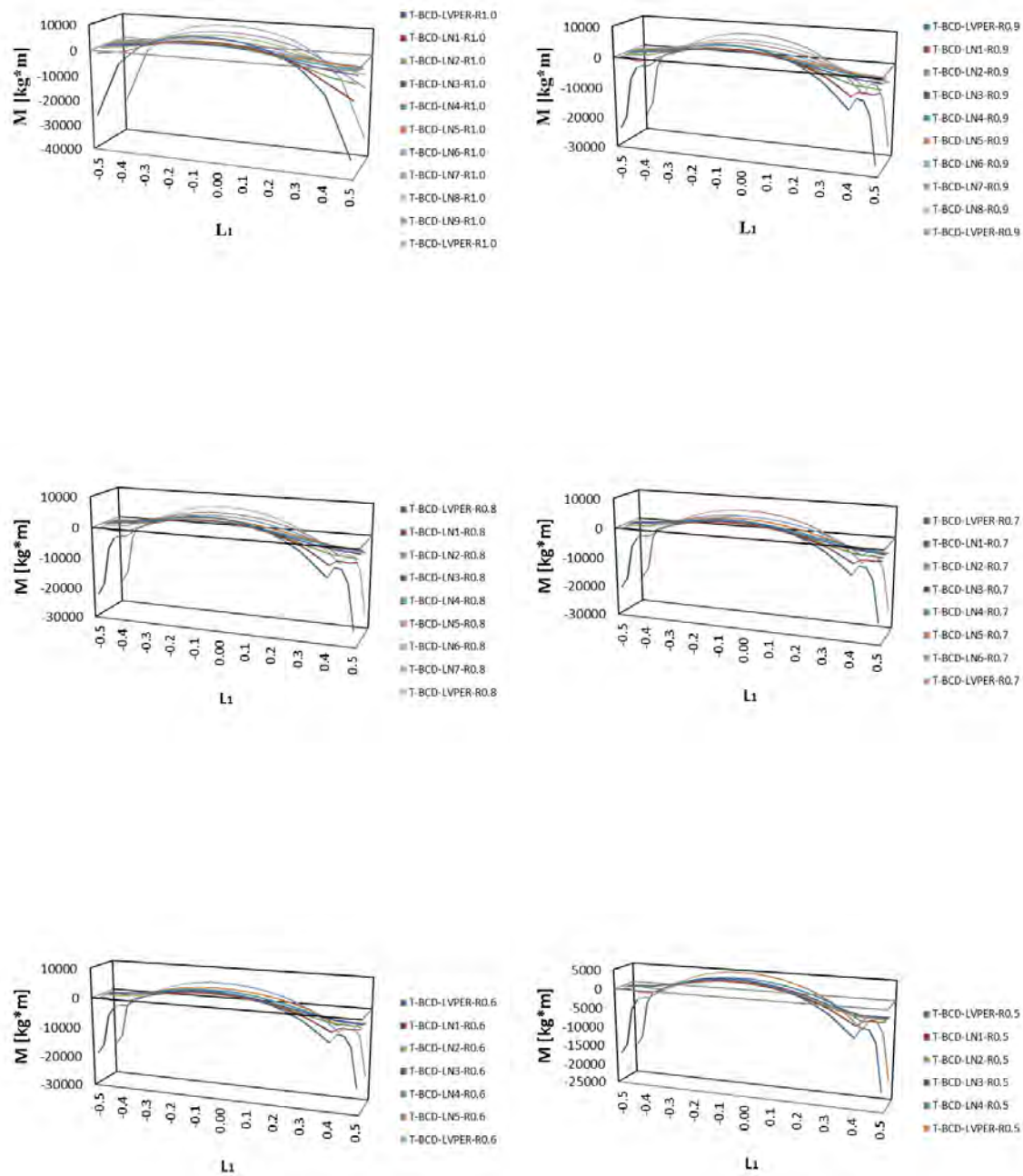


Figura AII. 5 Momentos en dirección del lado largo para tablero de borde lado corto discontinuo.

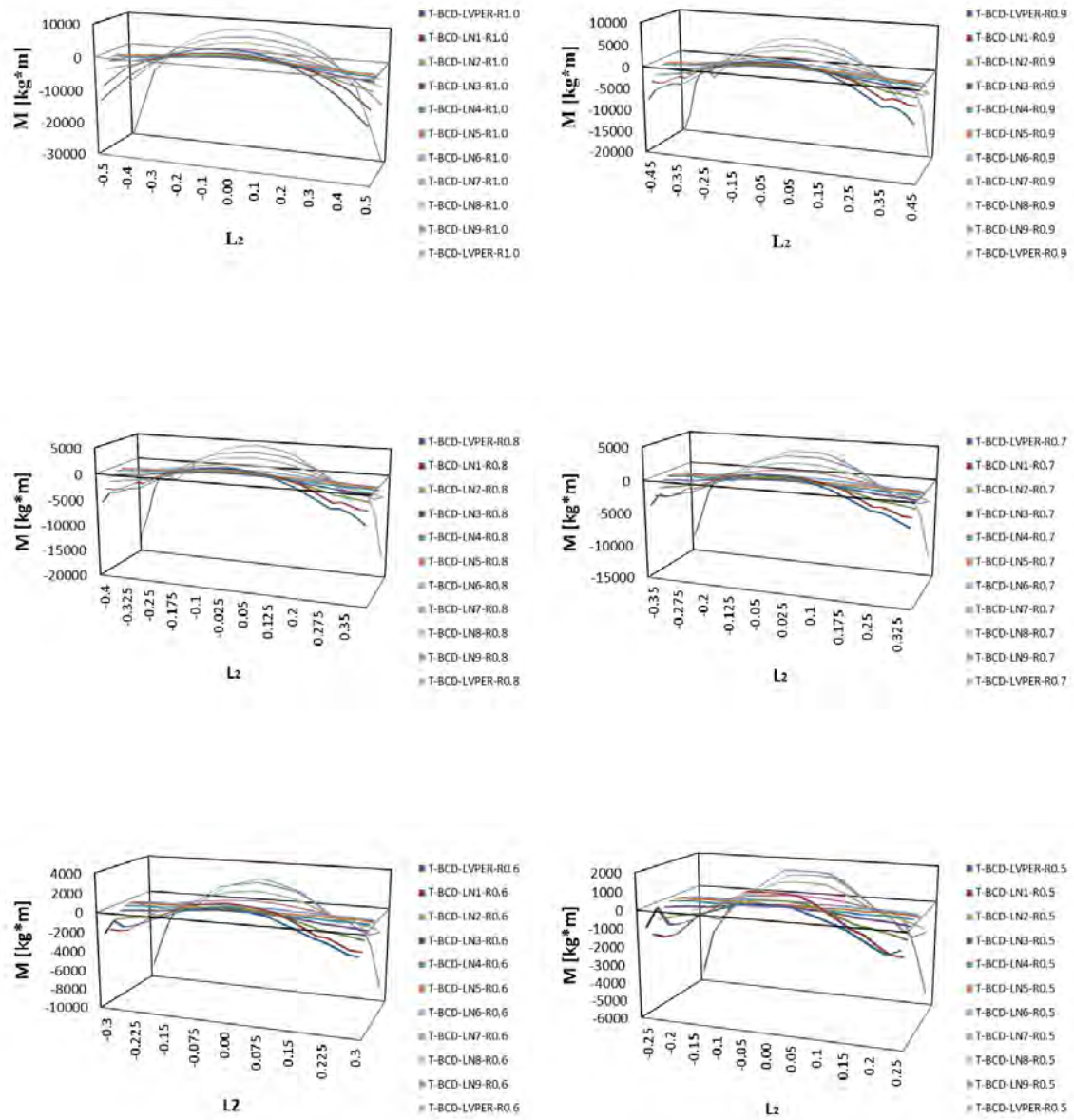


Figura AII. 6 Momentos en dirección del lado corto para tablero de borde lado corto discontinuo.

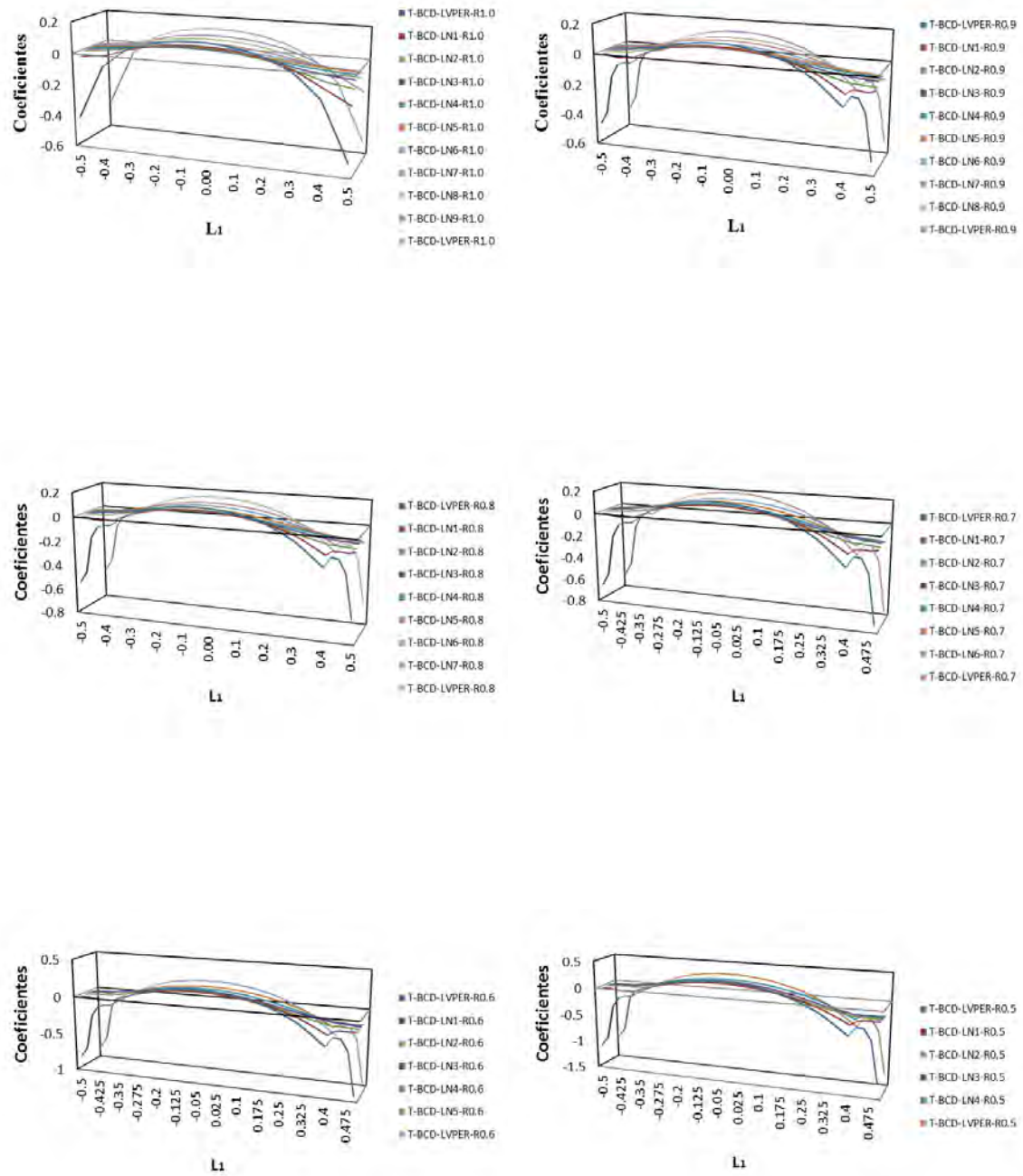


Figura AII. 7 Coeficientes de momentos en dirección del lado largo para tablero de borde lado corto discontinuo.

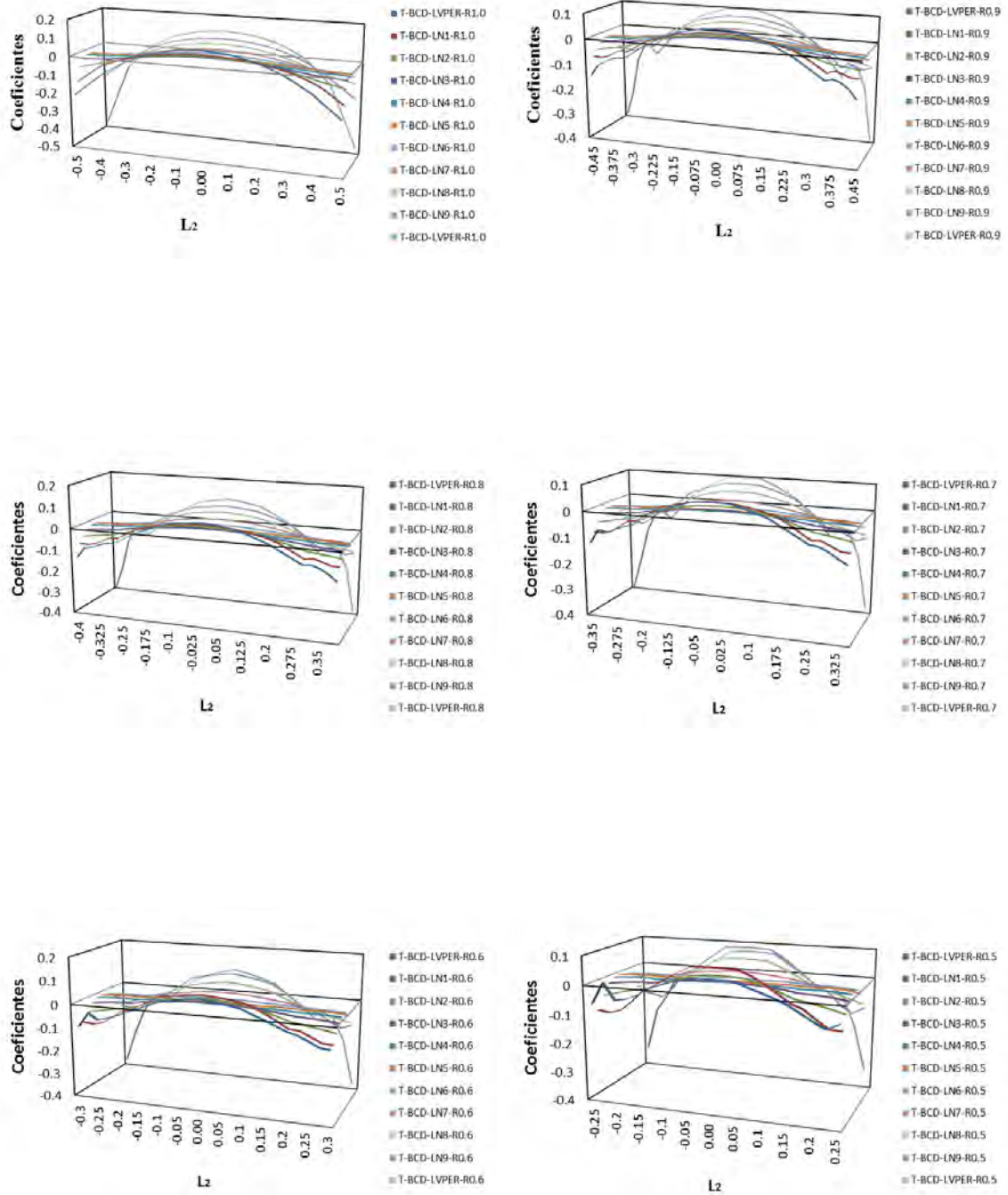


Figura AII. 8 Coeficientes de momentos en dirección del lado corto para tablero de borde lado corto discontinuo.

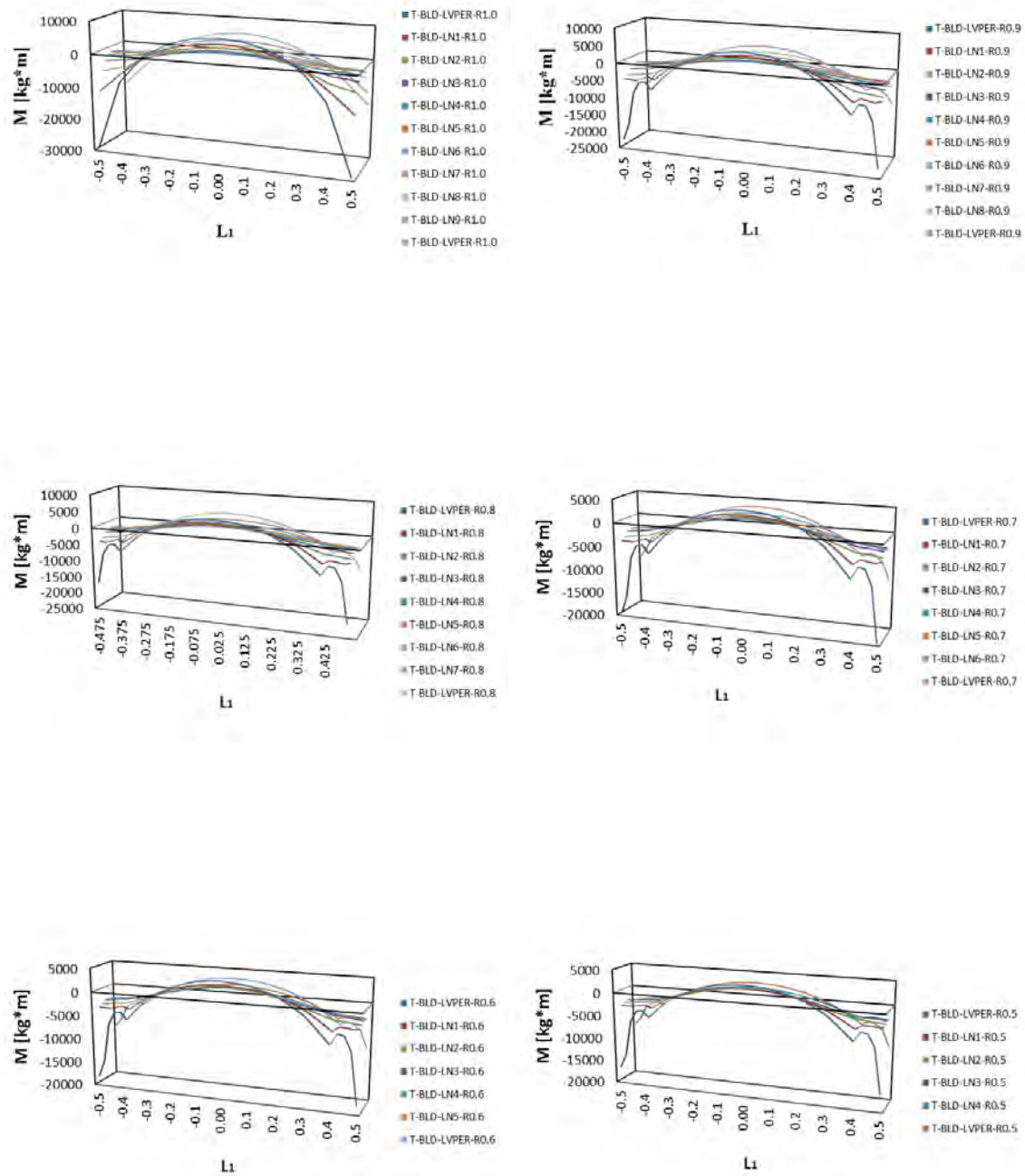


Figura AII. 9 Momentos en dirección del lado largo para tablero de borde lado largo discontinuo.

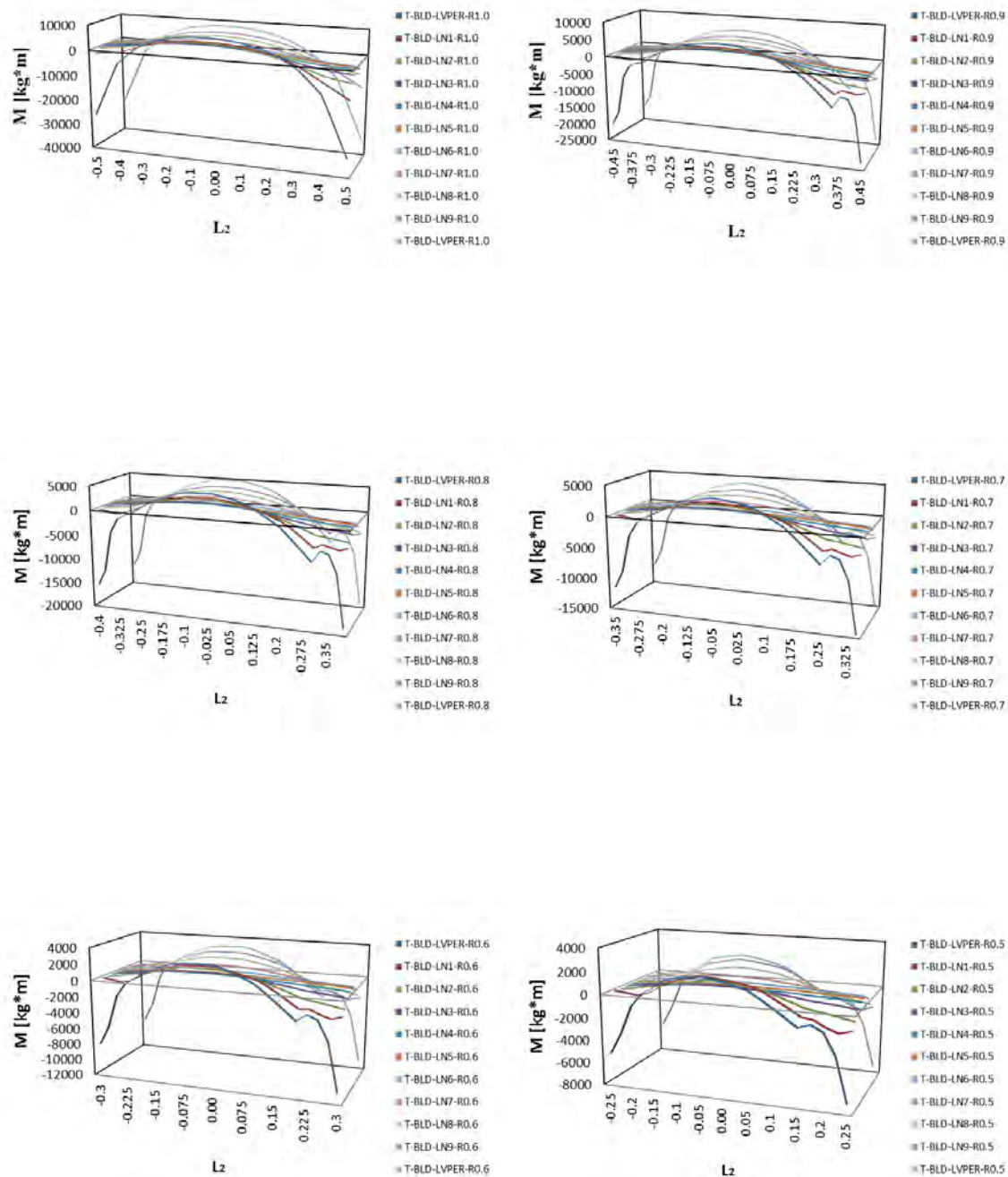


Figura AII. 10 Momentos en dirección del lado corto para tablero de borde lado largo discontinuo.

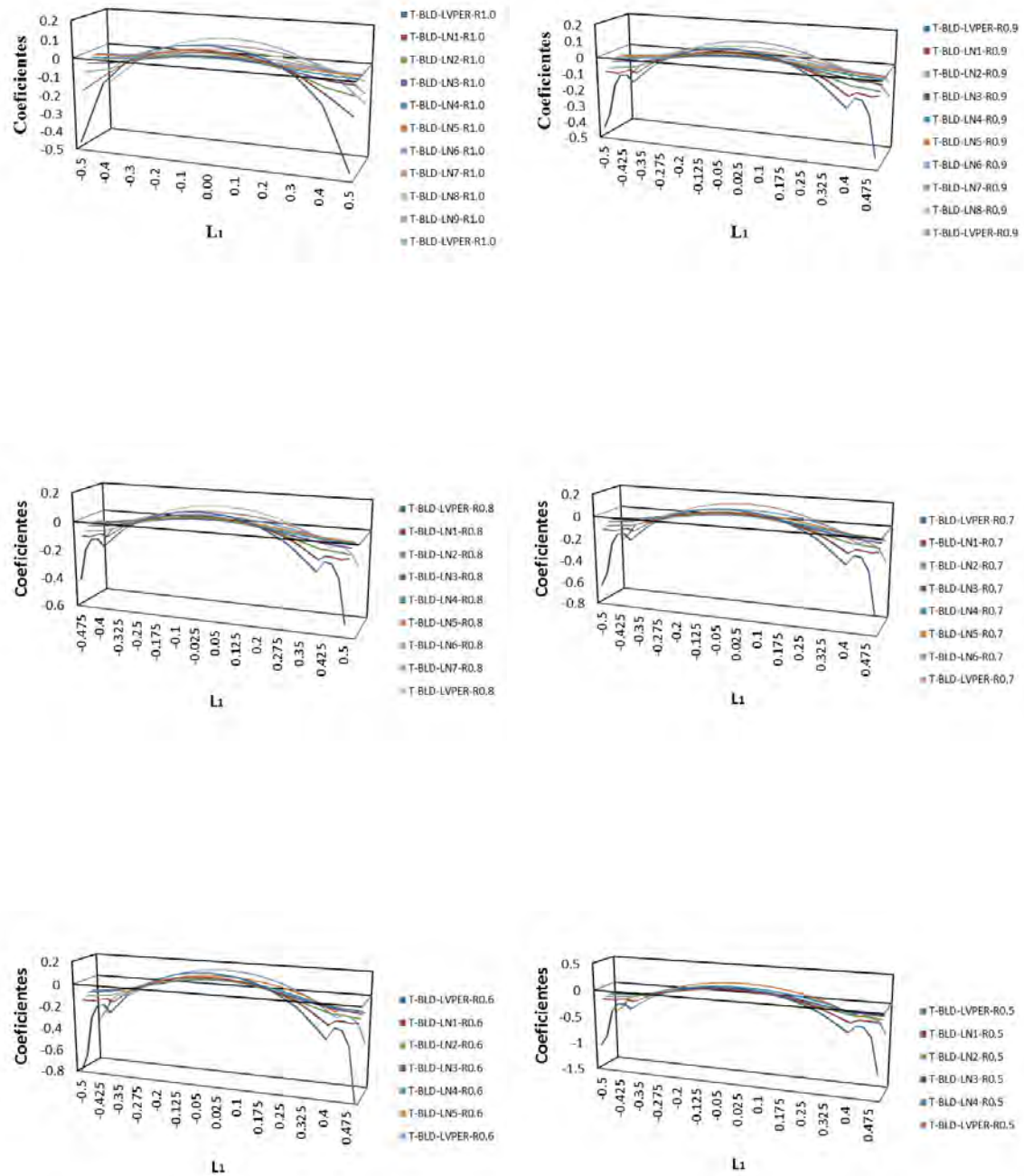


Figura AII. 11 Coeficientes de momentos en dirección del lado largo para tablero de borde lado largo discontinuo.

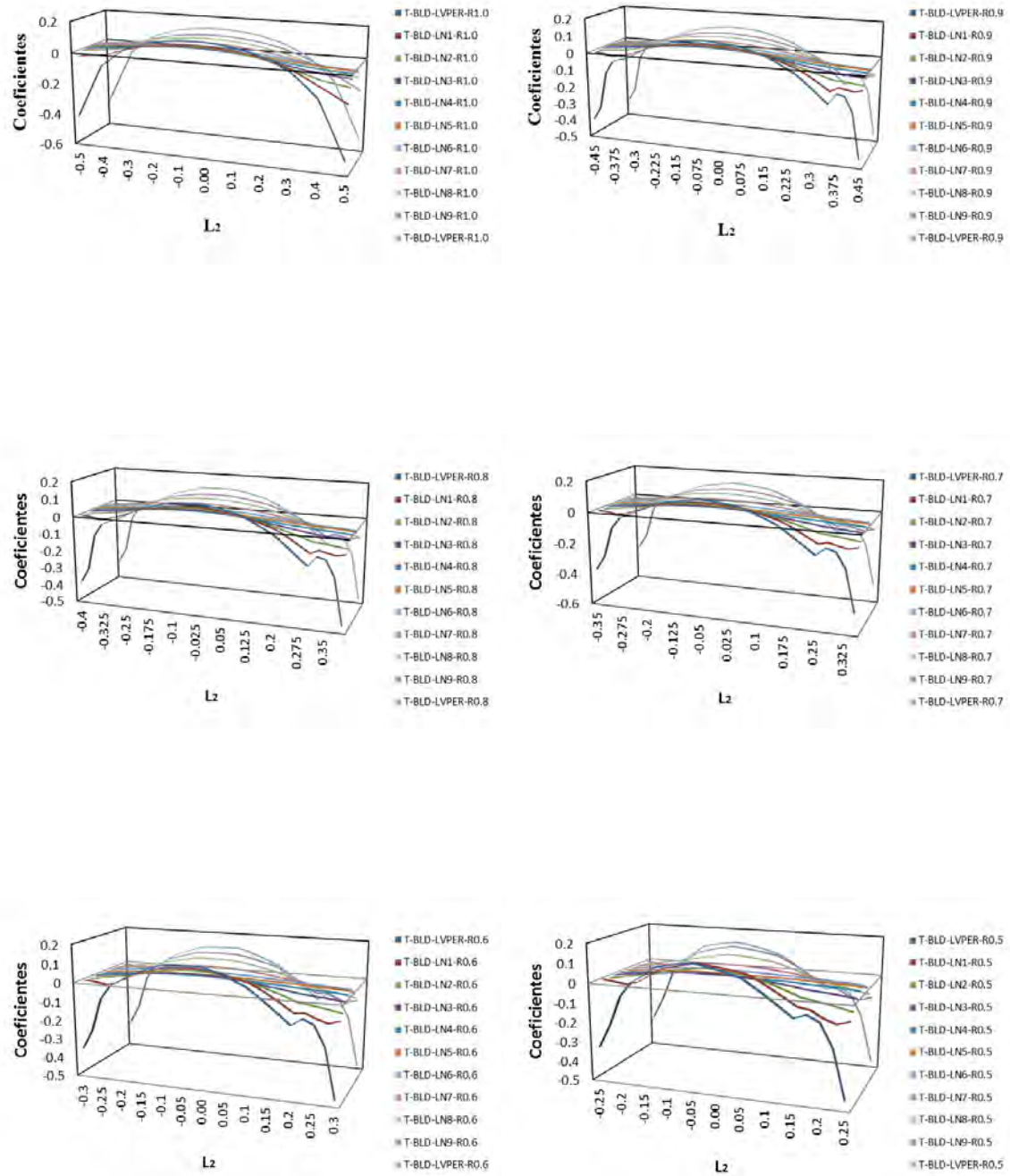


Figura AII. 12 Coeficientes de momentos en dirección del lado largo para tablero de borde lado largo discontinuo.

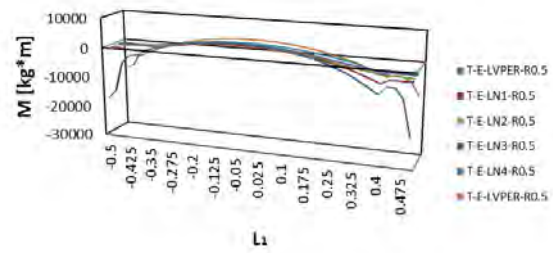
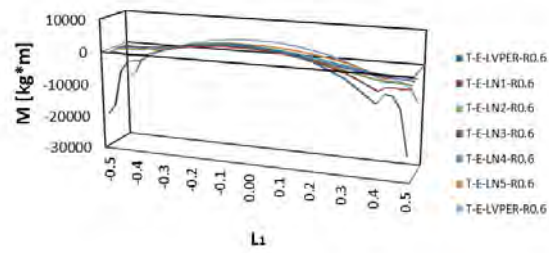
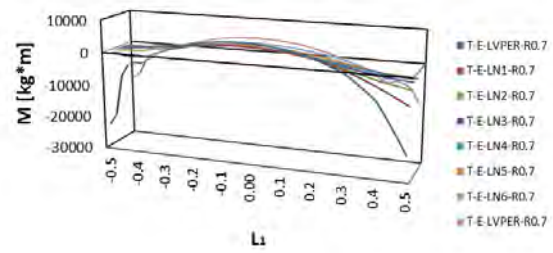
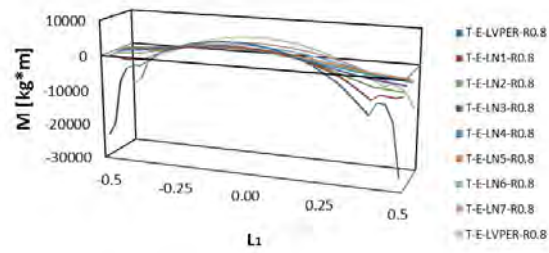
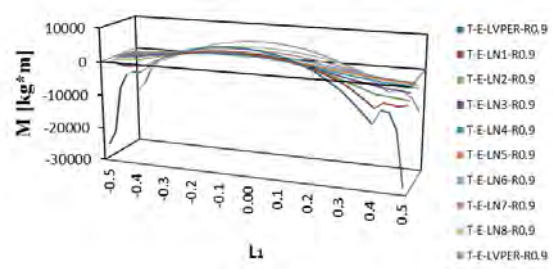
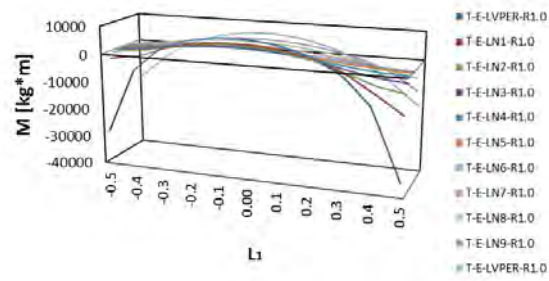


Figura AII. 13 Momentos en dirección del lado largo para tablero de esquina.

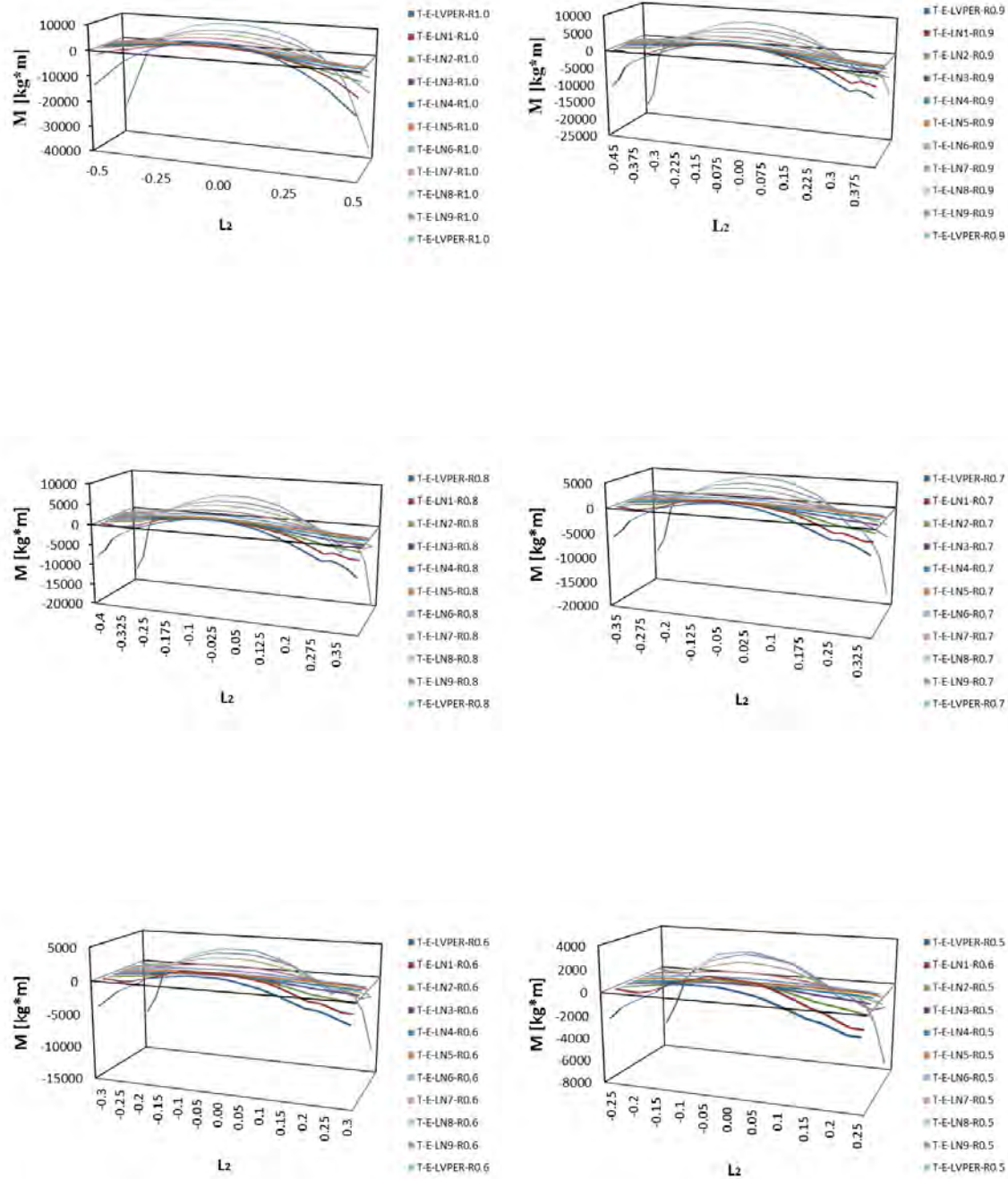


Figura AII. 14 Momentos en dirección del lado corto para tablero de esquina.

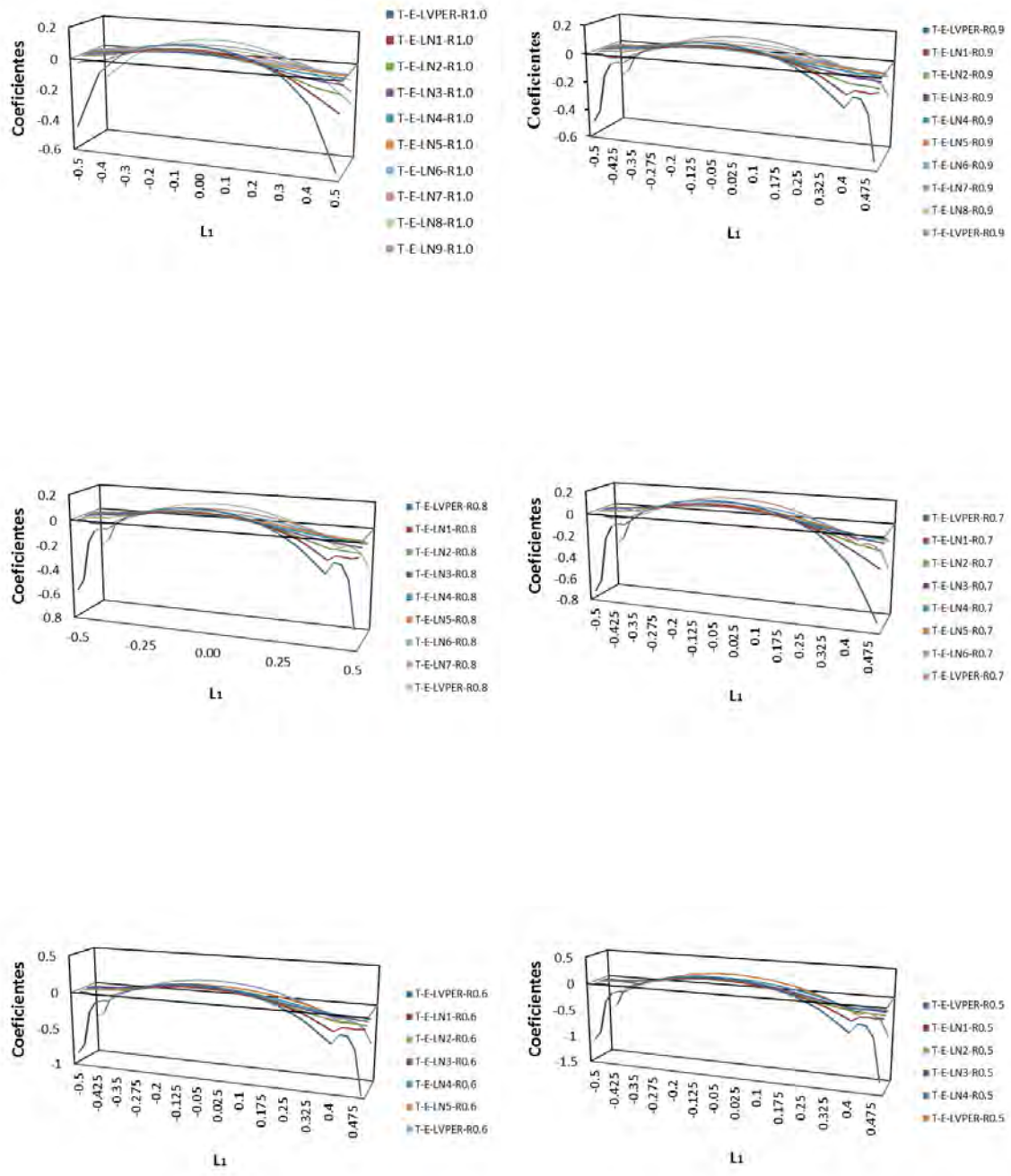


Figura AII. 15 Coeficientes de momentos en dirección del lado largo para tablero esquina.

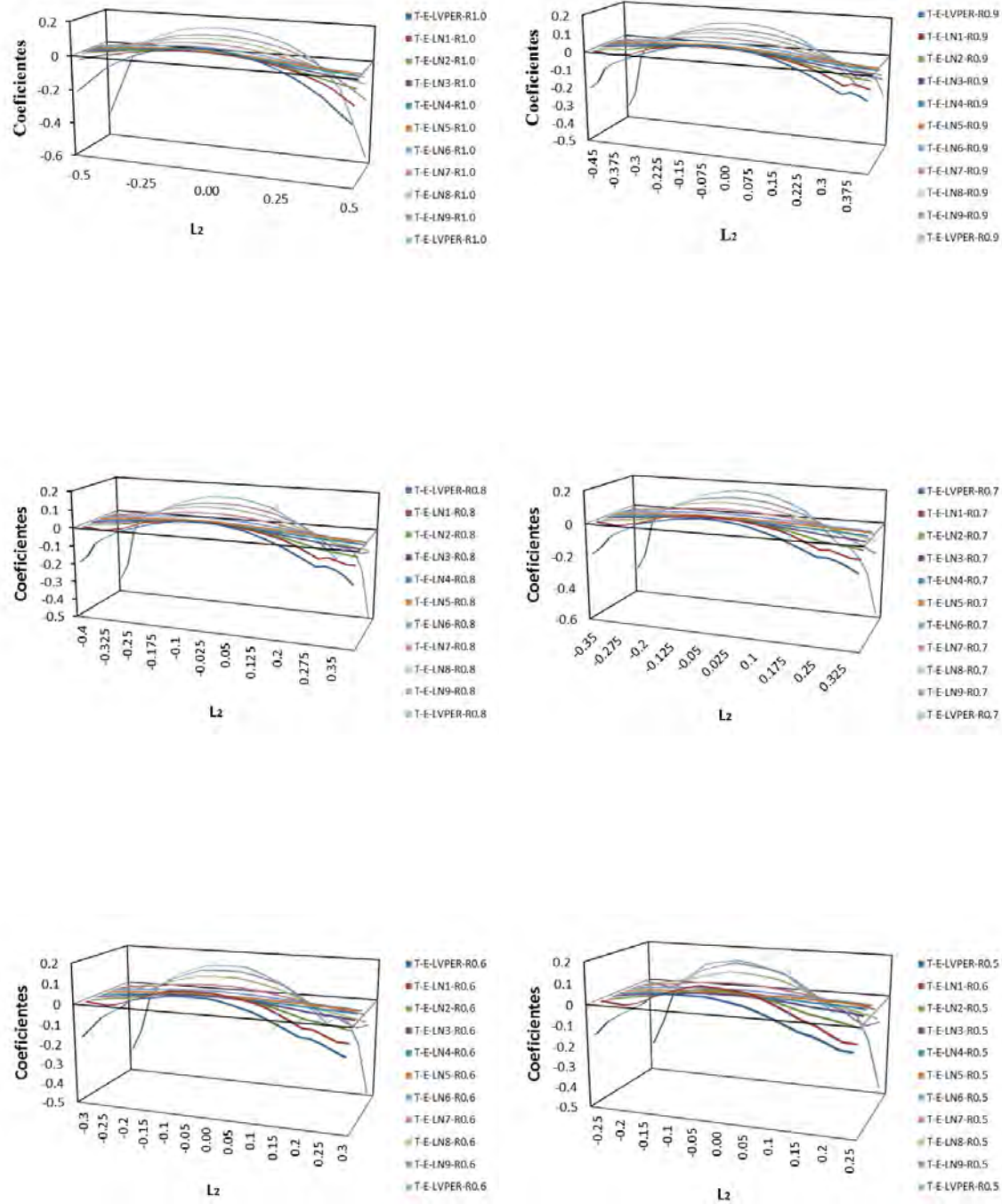


Figura AII. 16 Coeficientes de momentos en dirección del lado corto para tablero esquina.

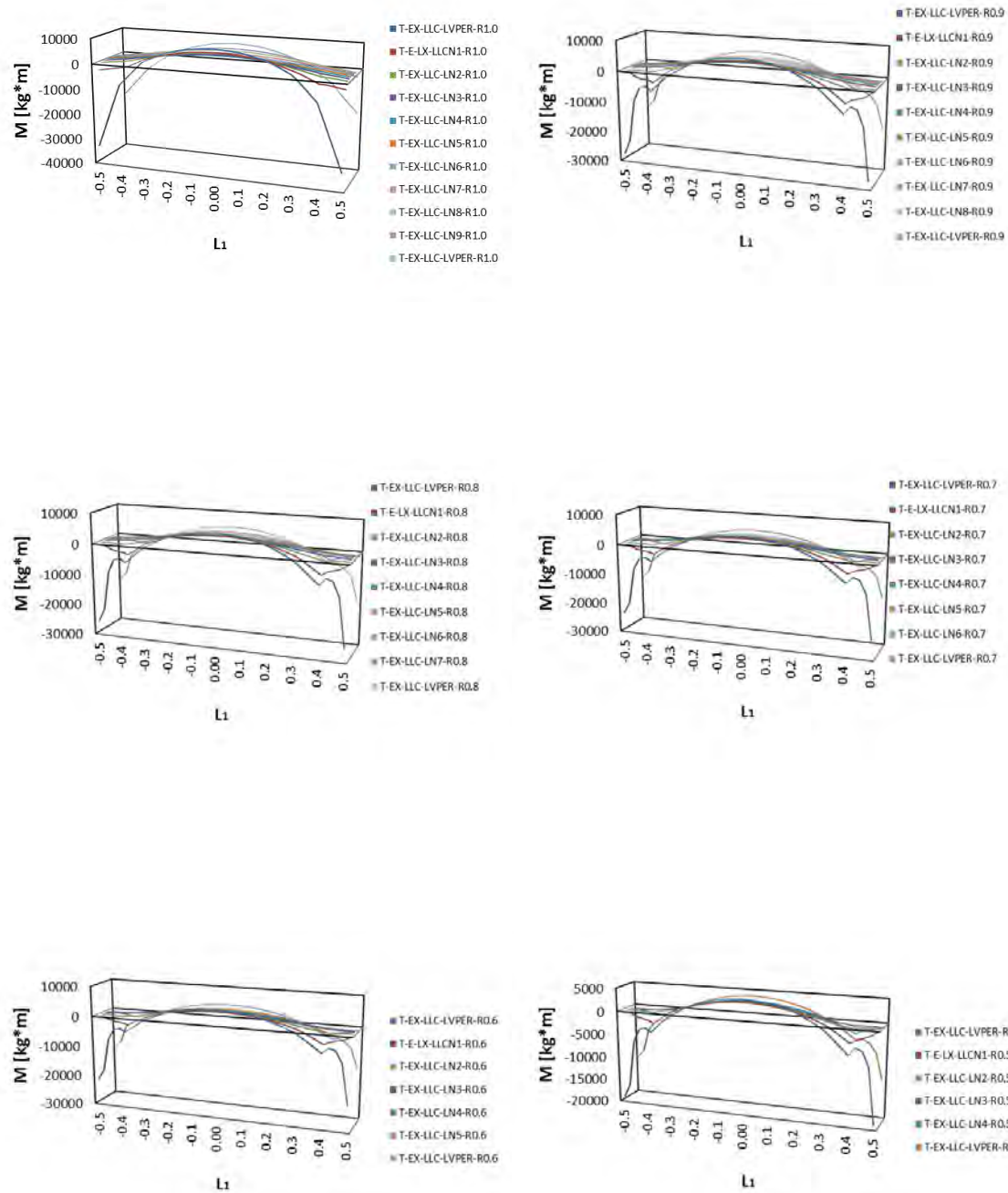


Figura AII. 17 Momentos en dirección del lado largo para tablero de extremo tres lados discontinuos un lado largo continuo.

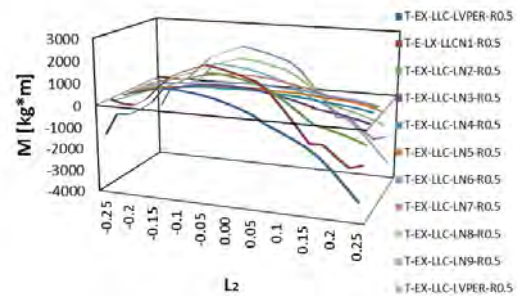
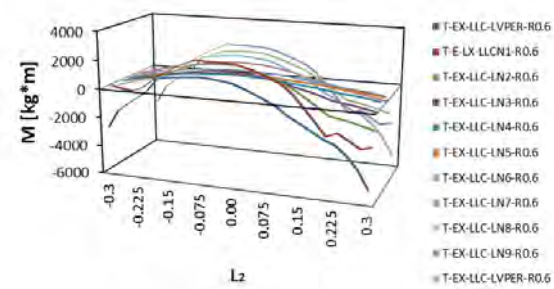
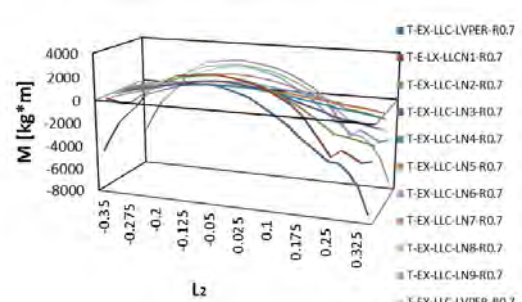
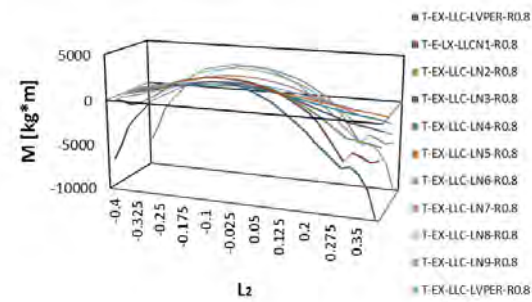
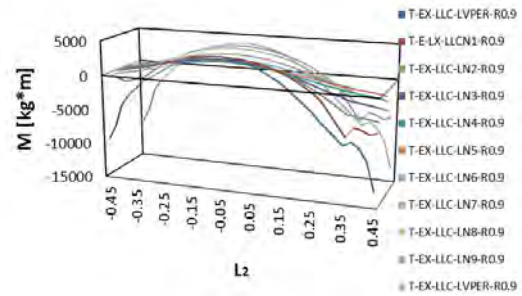
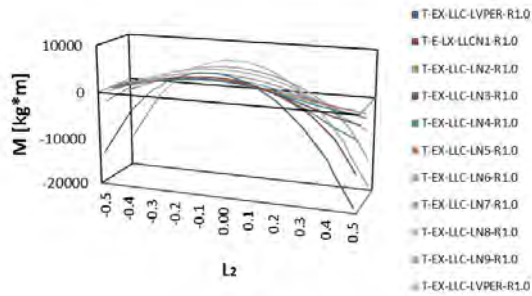


Figura AII. 18 Momentos en dirección del lado corto para tablero de extremo tres lados discontinuos un lado largo continuo.

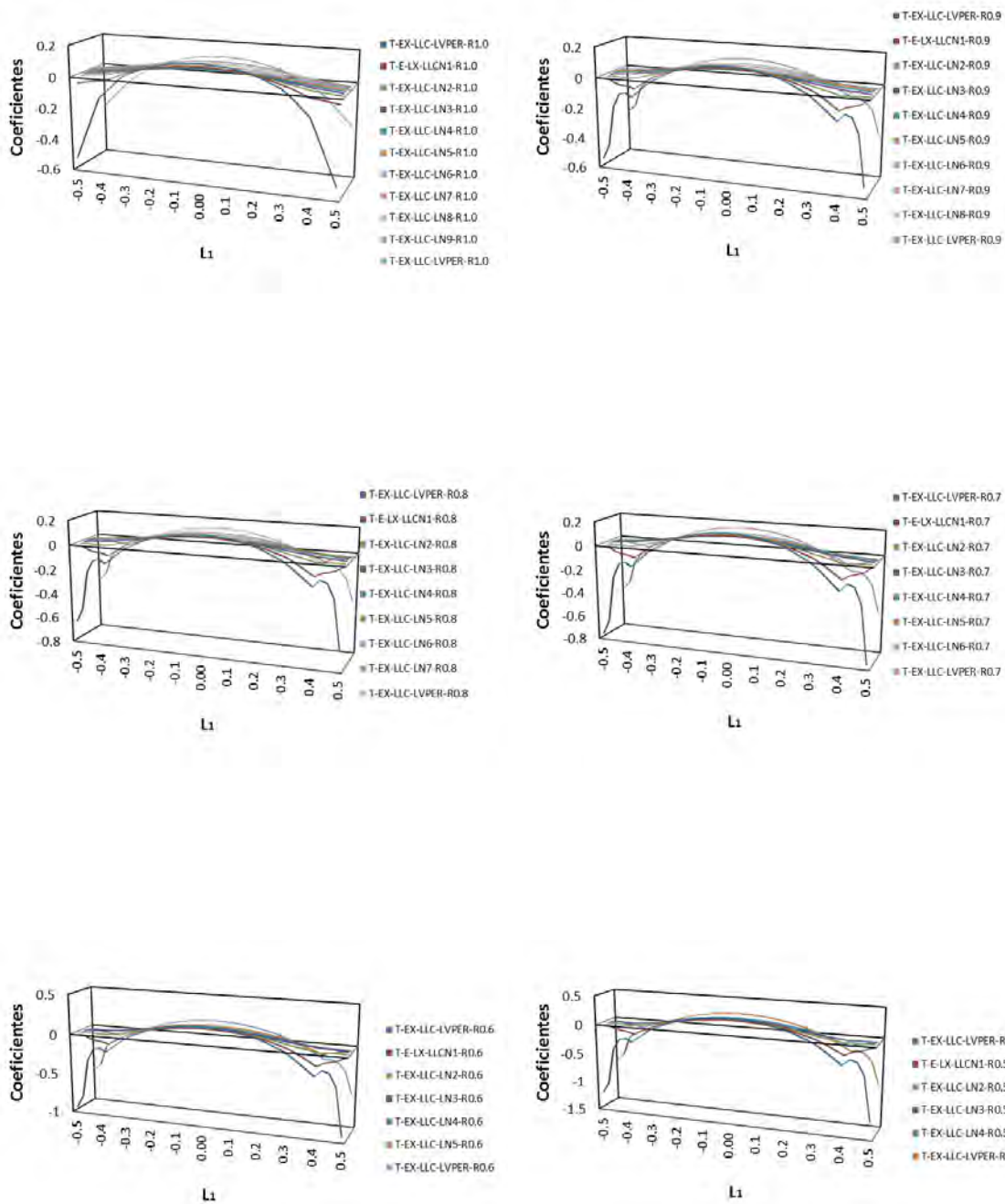


Figura AII. 19 Coeficientes de momentos en dirección del lado largo para tablero de extremo tres lados discontinuos un lado largo continuo.

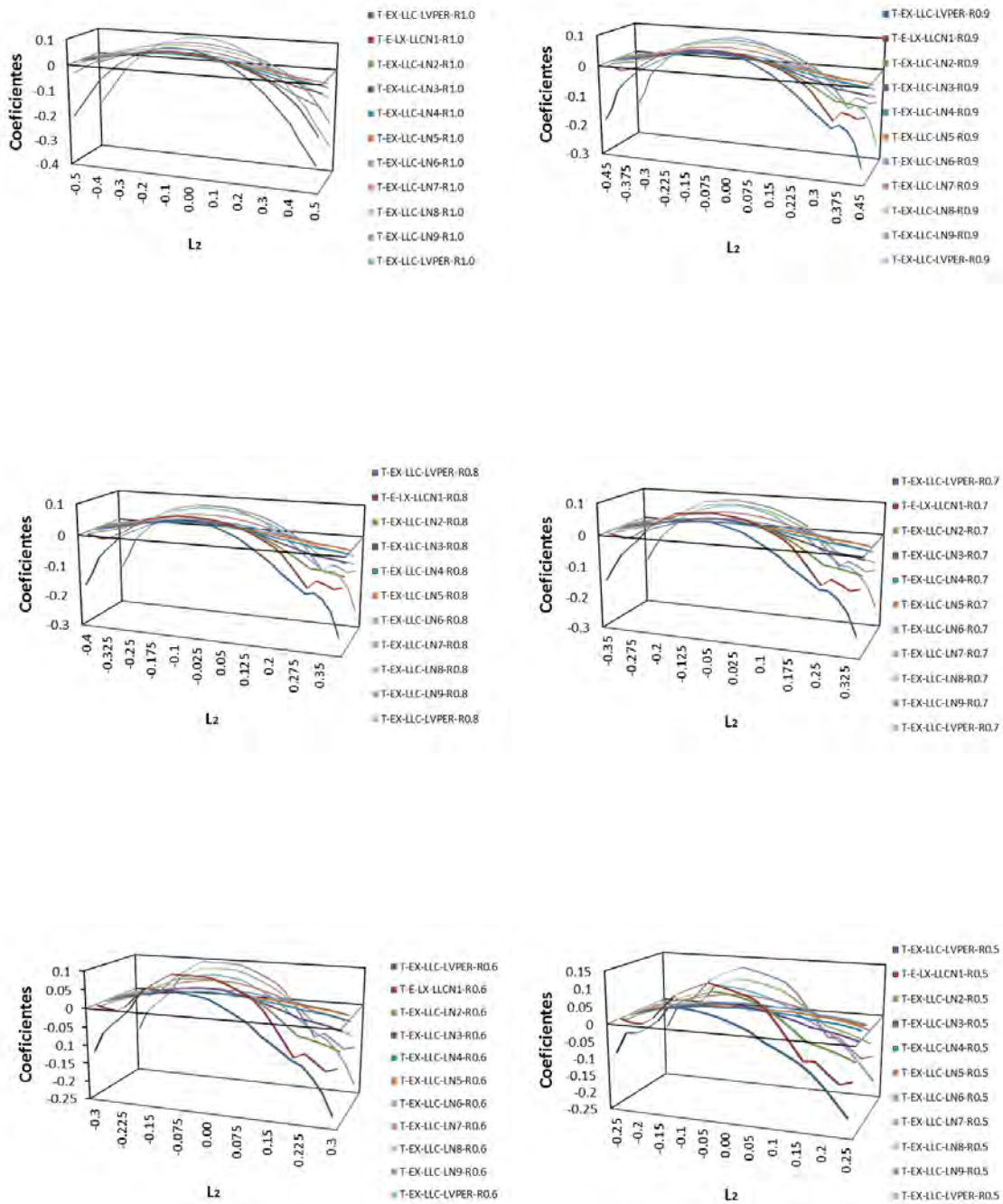


Figura AII. 20 Coeficientes de momentos en dirección del lado corto para tablero de extremo tres lados discontinuos un lado largo continuo.

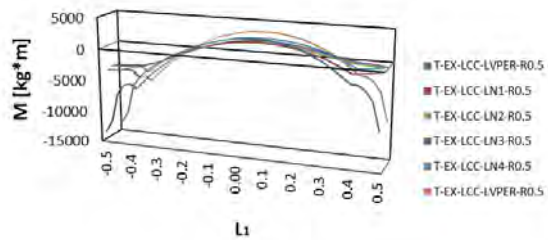
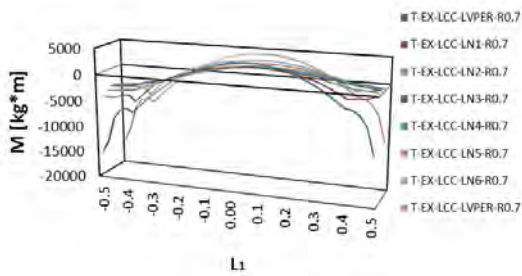
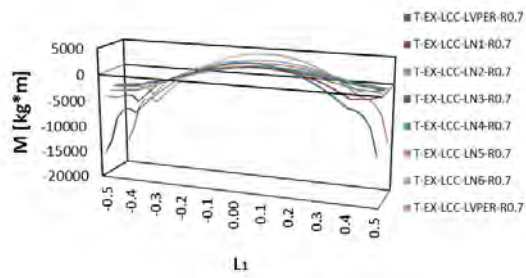
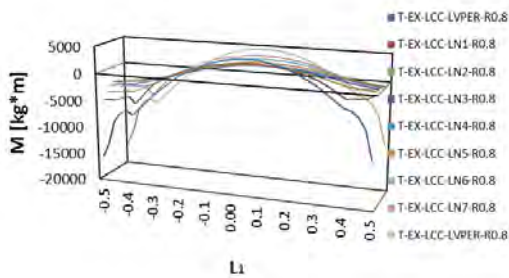
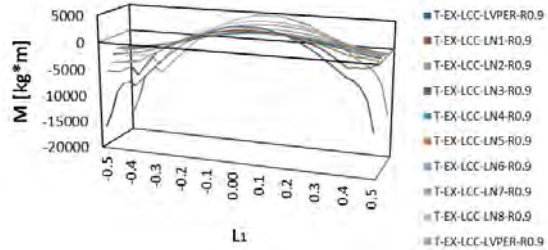
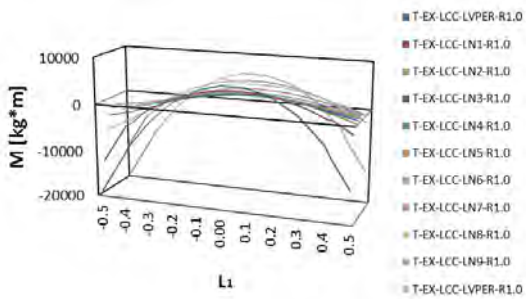


Figura AII. 21 Momentos en dirección del lado largo para tablero de extremo tres lados discontinuos un lado corto continuo.

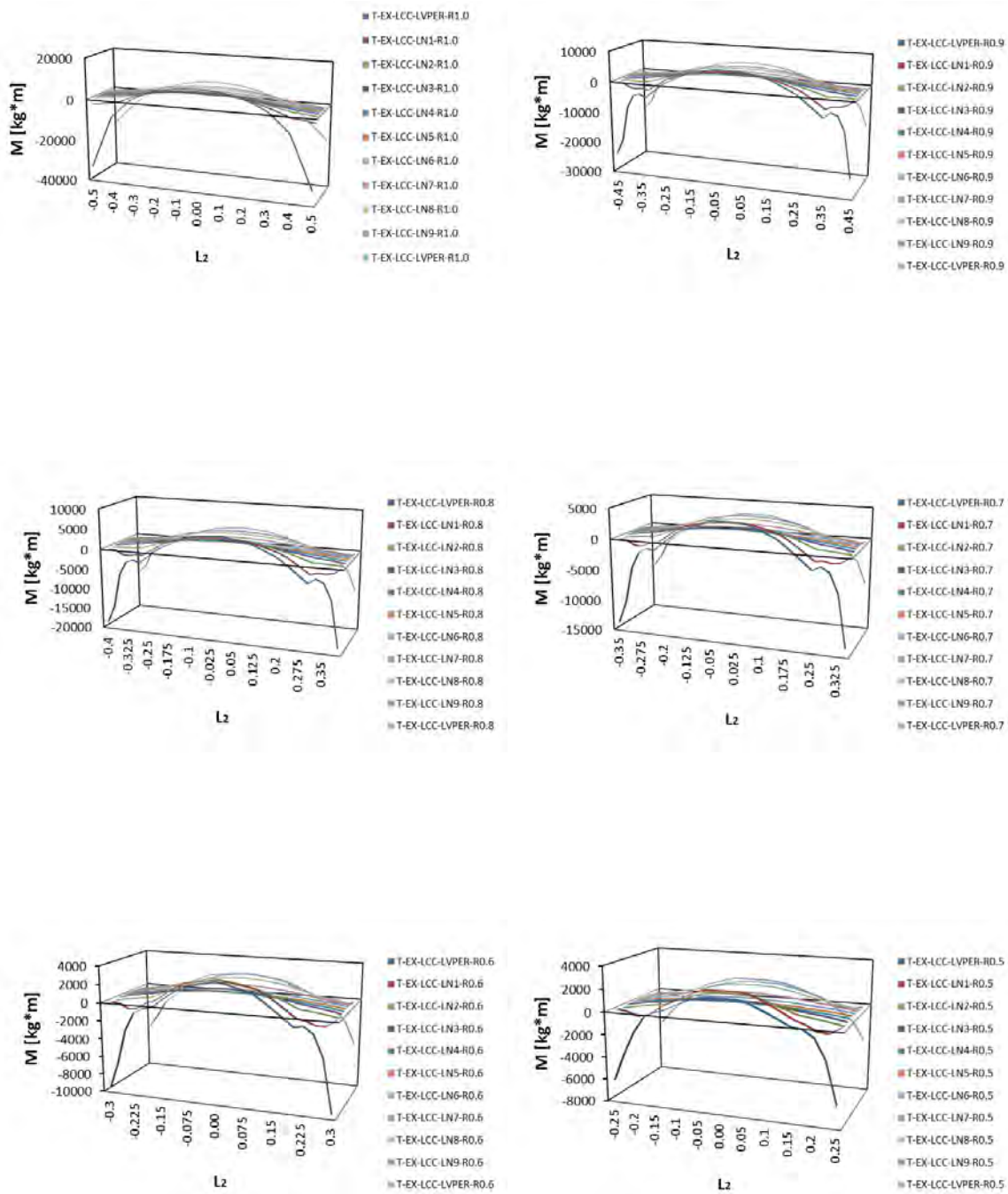


Figura AII. 22 Momentos en dirección del lado corto para tablero de extremo tres lados discontinuos un lado corto continuo.

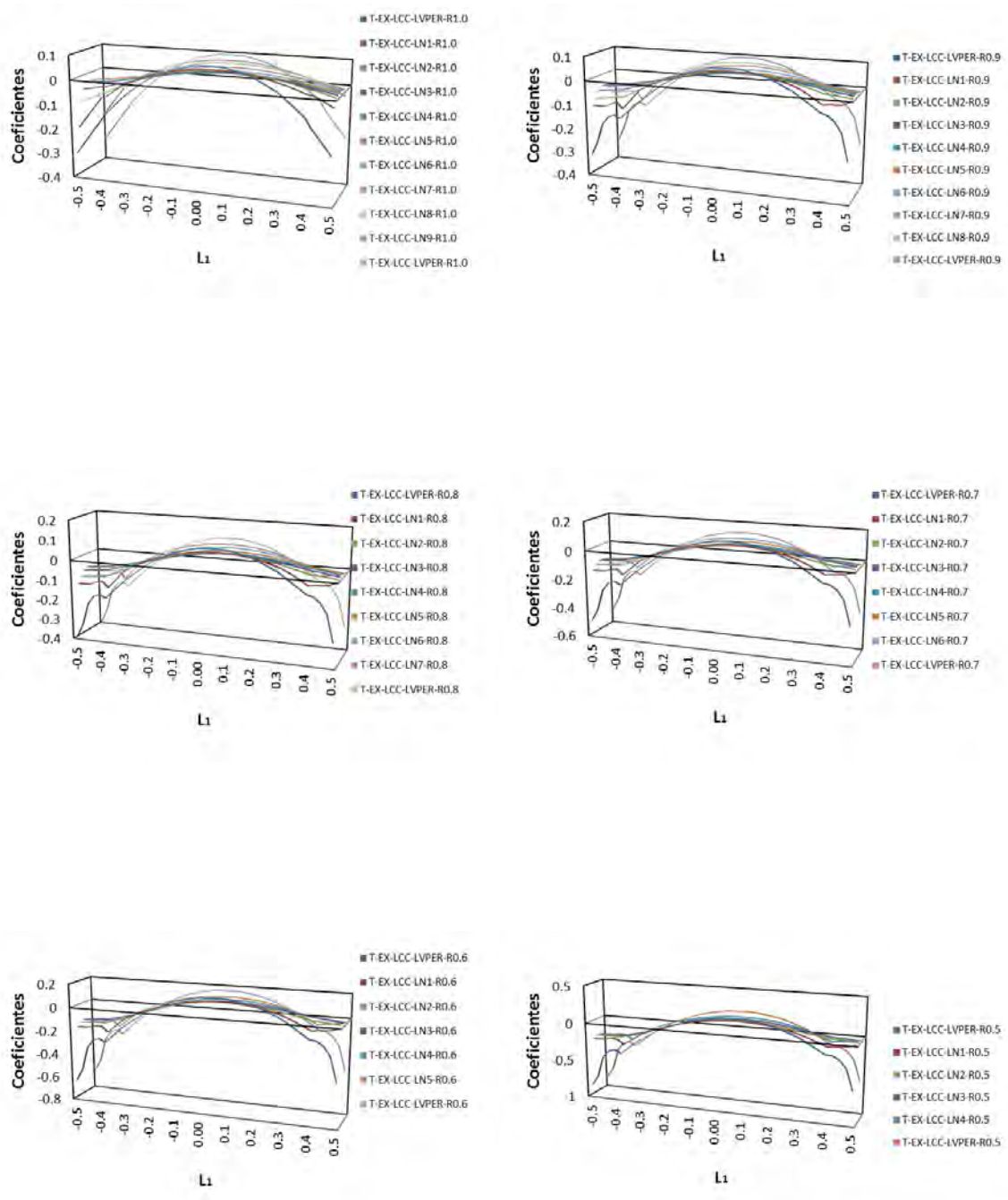


Figura AII. 23 Coeficientes de momentos en dirección del lado largo para tablero de extremo tres lados discontinuos un lado corto continuo.

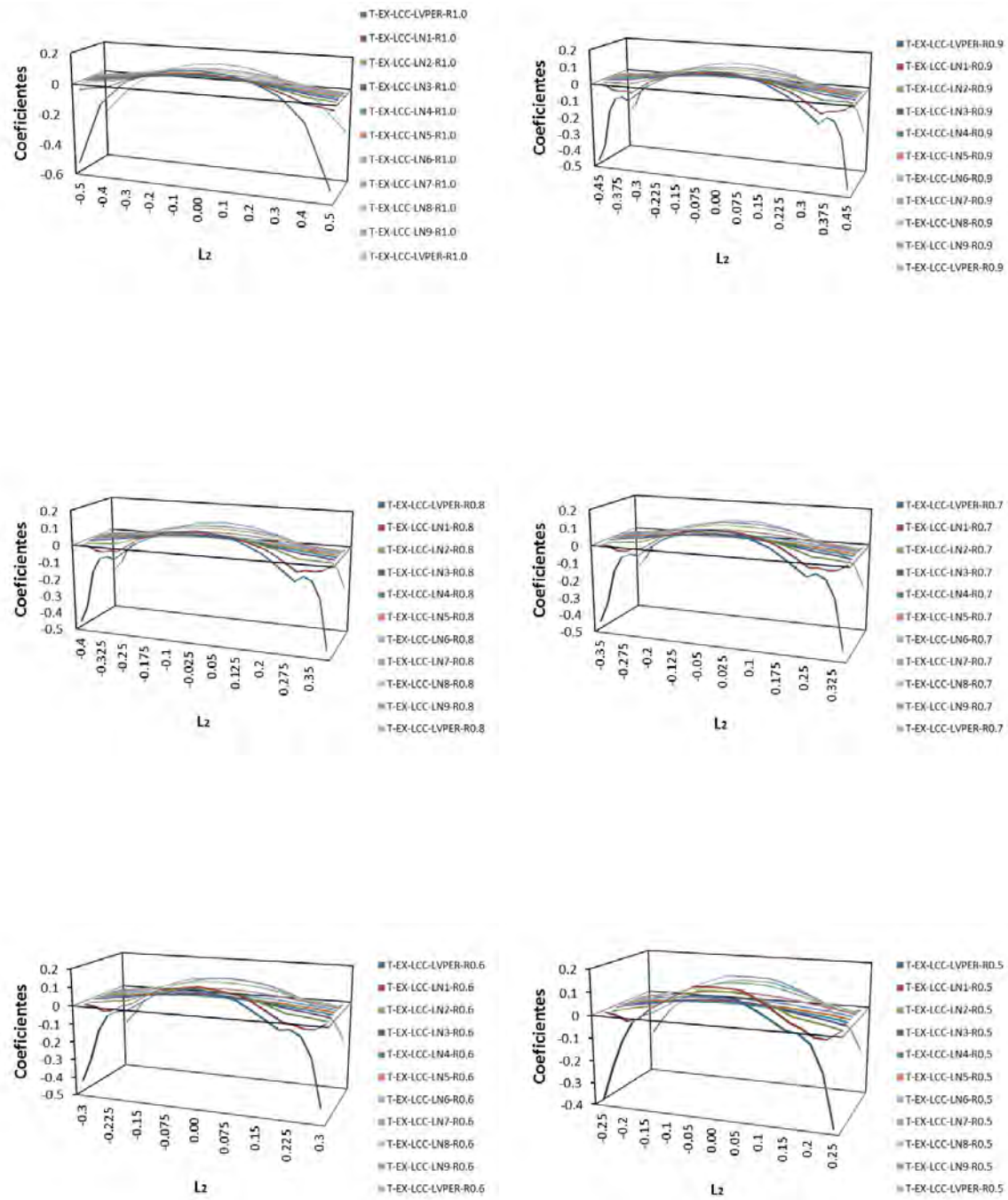


Figura AII. 24 Coeficientes de momentos en dirección del lado corto para tablero de extremo tres lados discontinuos un lado corto continuo.

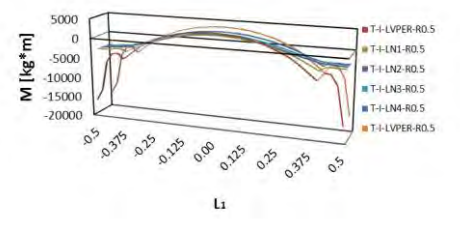
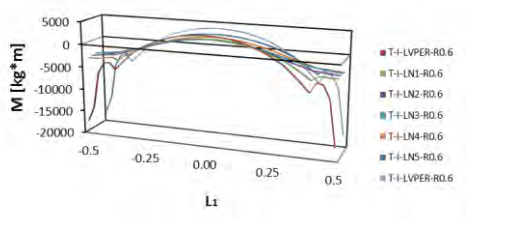
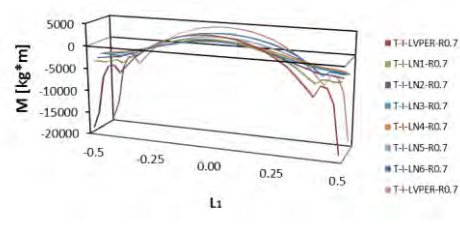
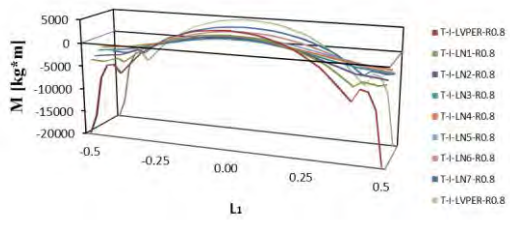
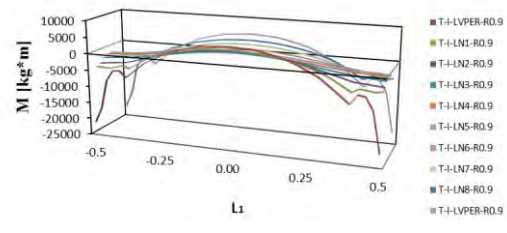
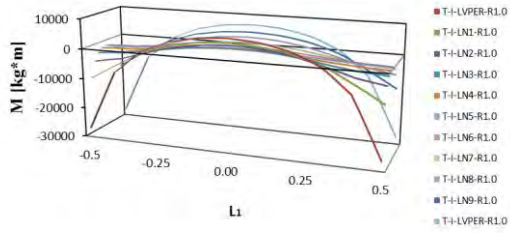


Figura AII. 25 Momentos en dirección del lado largo para tablero interior.

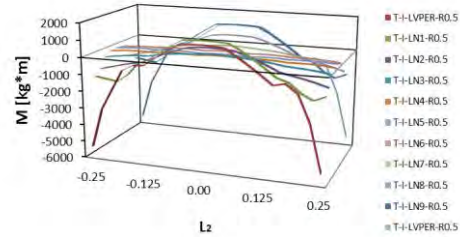
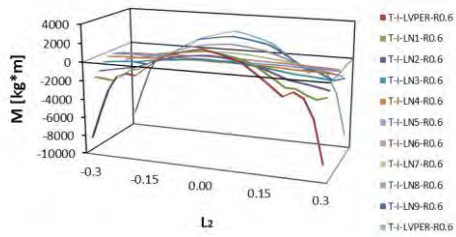
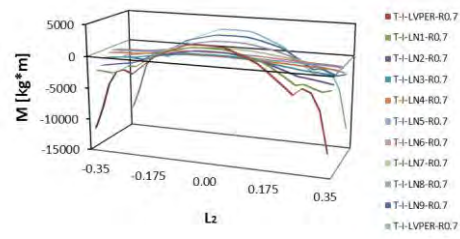
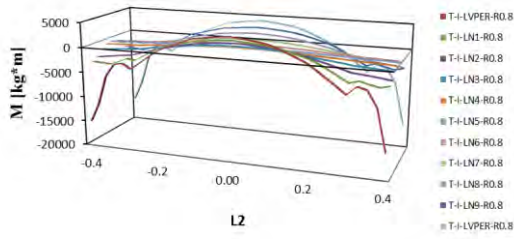
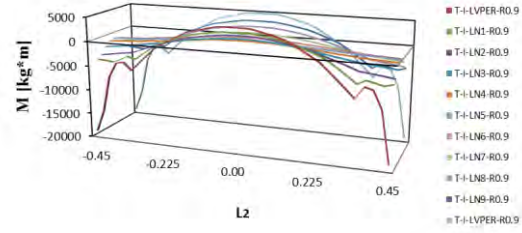
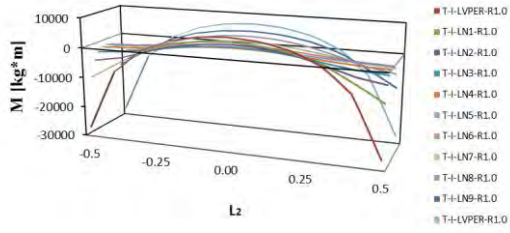


Figura AII. 26 Momentos en dirección del lado corto para tablero interior.

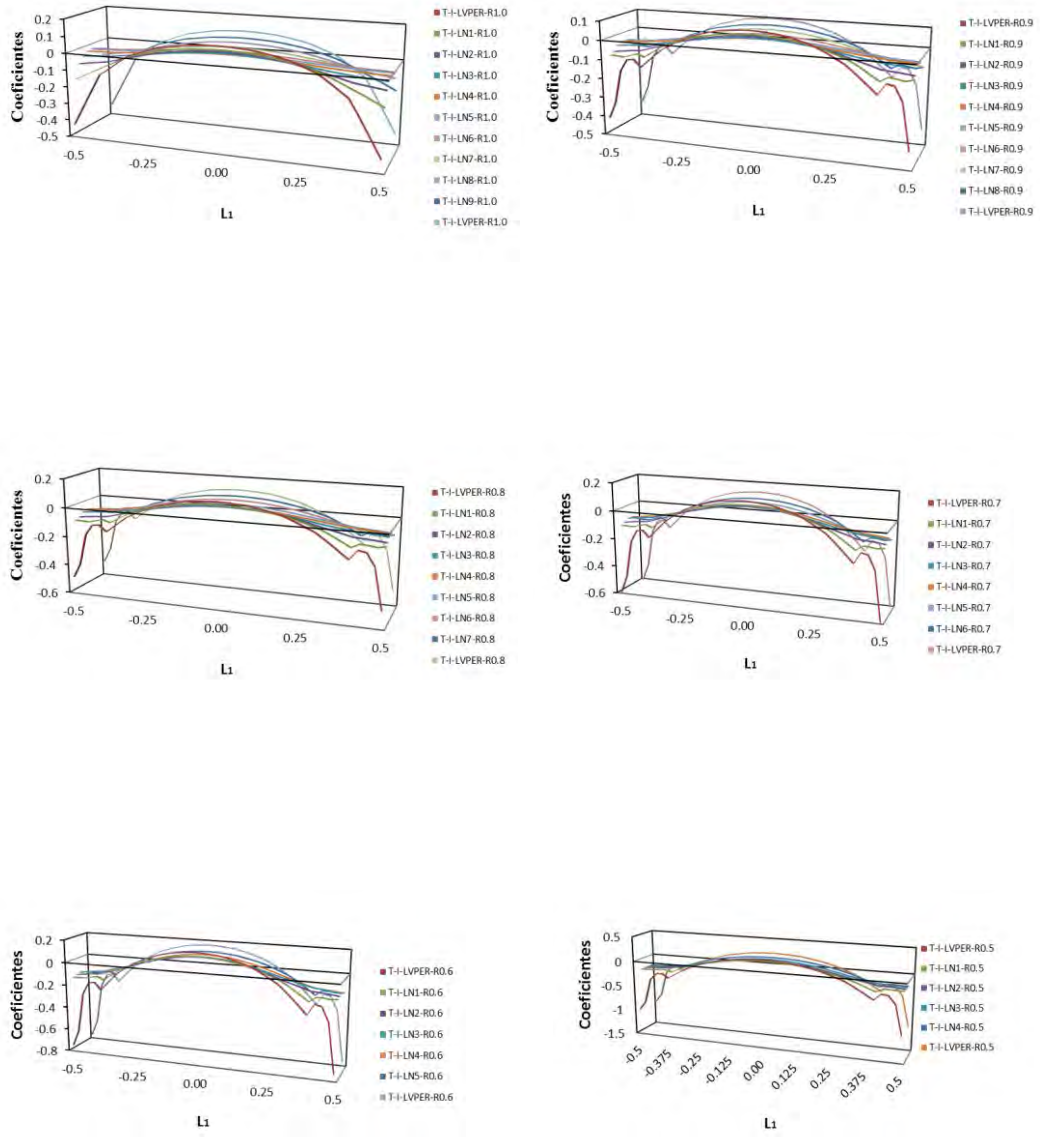


Figura AII. 27 Coeficientes de momentos en dirección del lado largo para tablero interior.

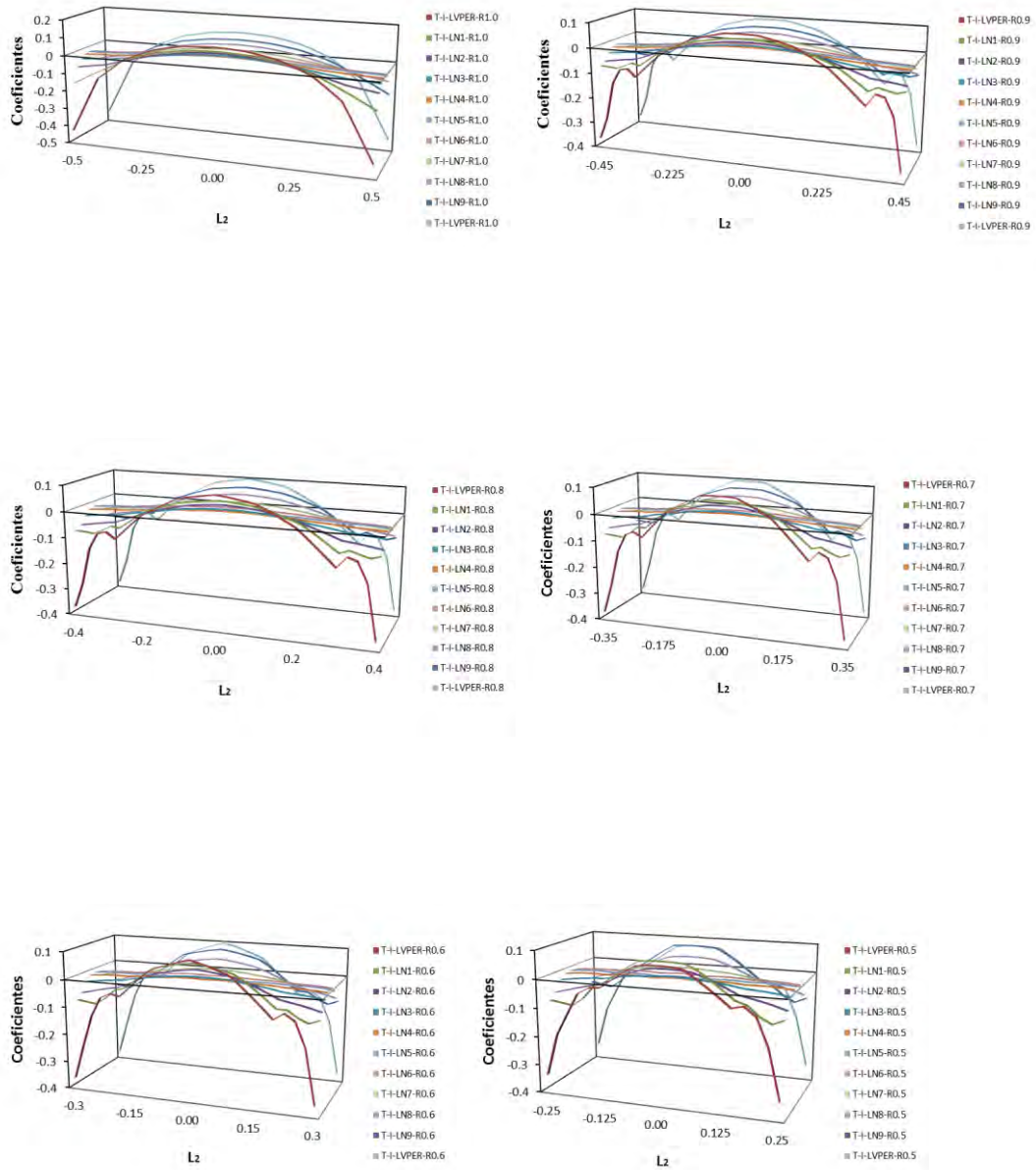


Figura AII. 28 Coeficientes de momentos en dirección del lado corto para tablero interior.