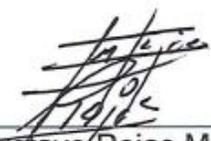


## CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Mauricio Carranza Solano, Ing. Ángel Navarro Mora, Ing. Miguel Peralta Salas, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



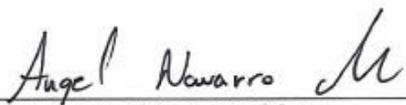
---

Ing. Gustavo Rojas Moya.  
Director



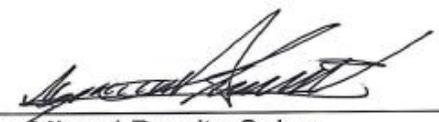
---

Ing. Mauricio Carranza Solano.  
Profesor Guía



---

Ing. Angel Navarro Mora.  
Profesor Lector



---

Ing. Miguel Peralta Salas.  
Profesor Observador

# **Comparación técnico-económica entre el método de coeficientes del ACI-318 con un método computacional para el diseño de losas de fundación**

# Abstract

The Coefficients Method from ACI-318 (1963) for two-way slabs and other simplified methods as the continuous frame with one-meter width analysis for one-way slabs from ACI-318 (2014), have been used to design mat foundations. Due to the specific formulation for floor slabs of these methods, came out the necessity of validate them against a computational analysis.

This project was about analyzing and designing mat foundations for three different buildings with: only walls, only frames and a combination of the two last, each one with some variations on the beam supports and soil. All this using the methods already mentioned, and a software named SAFE from *Computers & Structures. Inc.*, which gives a comparison parameter to identify the limitations of these methods described.

Also, an economic analysis of the quantities of steel reinforcement is given to determine if the difference between the costs of each method is significantly important for the designer.

By last, it was identified that the rigidity of the structure is determinant for the moment distribution, which is omitted in the Coefficients Method and in the individual analysis for a one-way slab as a continuous frame on supports with absolute rigidity.

Keywords: Coefficients Method, two-way slabs, mat foundations, SAFE, ACI-318 (1963), one-way slabs.

# Resumen

Para el diseño de losas nervadas de fundación, se ha recurrido al método de los coeficientes del ACI-318 de 1963 para losas de entrepiso en dos direcciones, así como a otros métodos simplificados como el análisis de viga continua por metro de ancho del ACI-318 (2014) para losas en una dirección. Debido a que dichos métodos fueron formulados para el análisis de losas de entrepiso, surgió la necesidad de validarlos por medio de un análisis computacional.

Este trabajo consistió en realizar el análisis y diseño de losas nervadas de fundación para tres edificaciones: marco, dual y muro; todas con variantes en las vigas de nervadura y el medio soportante. Esto se efectuó mediante los métodos mencionados y el uso de un programa computacional denominado SAFE de *Computers & Structures. Inc.*, lo cual sirve como parámetro de comparación para identificar las limitantes en la aplicación de tales metodologías.

También, se realiza un análisis económico de la cantidad de acero de refuerzo, con el fin de determinar si la diferencia en costo de un método con respecto al otro es importante para el proyectista.

En los resultados, se identificó que la rigidez de la estructura es determinante en la distribución de los momentos, lo cual se omite en el método de los coeficientes y en el análisis individual de una losa en una dirección como una viga continua apoyada sobre elementos infinitamente rígidos.

Palabras clave: Método de coeficientes, losas en dos direcciones, losas de fundación, SAFE, ACI-318 (1963), losas en una dirección.

# **Comparación técnico-económica entre el método de coeficientes del ACI-318 con un método computacional para el diseño de losas de fundación**

# **Comparación técnico-económica entre el método de coeficientes del ACI-318 con un método computacional para el diseño de losas de fundación**

NATALIA CALDERÓN CREECK

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Julio de 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

PREFACIO.....	1
RESUMEN EJECUTIVO .....	2
INTRODUCCIÓN .....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
METODOLOGÍA .....	14
RESULTADOS .....	22
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	45
CONCLUSIONES .....	50
RECOMENDACIONES .....	52
APÉNDICES .....	53
ANEXOS.....	54
REFERENCIAS.....	55

# Prefacio

El diseño de las cimentaciones de cualquier edificio, así como el de cualquier elemento sismorresistente o de importancia estructural, conlleva un análisis de esfuerzos que puede complicarse dependiendo de su papel dentro del sistema. Para las losas de entrepiso en una y dos direcciones, se ha simplificado su análisis de esfuerzos mediante distintos métodos que hoy son avalados por asociaciones internacionales y nacionales. Uno de estos es el método de coeficientes que ha sido aprobado por el Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés) y en diferentes libros de texto.

En Costa Rica, para la elaboración de los diseños de losas nervadas de fundación, debido a su comportamiento casi análogo a las losas de entrepiso, se ha implementado la metodología de los coeficientes, la cual es explicada en el ACI del año 1963; además, se considera, hasta ahora, un método confiable de diseño para este fin. Es importante recalcar que dentro del contexto nacional existe una parte de la población agremiada con dificultades en el manejo de programas de cómputo destinados al análisis estructural, lo cual sugiere el hecho de que un número de edificaciones han sido y siguen siendo diseñadas por métodos convencionales como el mencionado.

Por lo anterior, se pretende realizar una comparación entre los resultados obtenidos por el método de coeficientes y por modelos computacionales en el diseño de losas nervadas de fundación y que, por medio de esta paridad, sea posible generar indicadores que demuestren cuán aproximados y seguros son los diseños obtenidos a partir del método simplificado con respecto a los generados con el programa SAFE®, siendo este último el patrón de comparación.

El método de coeficientes es utilizado indistintamente del tipo de estructura o del tipo de suelo presentado en la obra por diseñar y ya ha sido descubierto que estos influyen en la distribución de las cargas y en la rigidez del

sistema. Por este motivo, se busca realizar un análisis comparativo entre esta metodología y los resultados obtenidos a partir de modelos computacionales que representen el comportamiento de las estructuras según su tipología (marco, dual o muro), así como las características del medio soportante. Esto con el fin de delimitar los alcances del método de coeficientes para el diseño de cimentaciones tipo losa.

Asimismo, este proyecto pretende incluir un análisis económico entre una metodología y otra, con el cual se pueda identificar en forma porcentual la diferencia en el costo y los materiales de cada una. Además, esto permitiría a quienes recurren a dichos métodos simplificados obtener cantidades de material acordes con las necesarias, es decir, sin incurrir en holguras que perjudiquen el costo final de la obra y con lo cual se pueda obtener un presupuesto más aproximado al valor real del proyecto.

Para la elaboración de este proyecto, fue necesario el apoyo de muchas personas. Primeramente, agradezco profundamente a mi Padre Celestial porque, por su gracia, consigo dar este paso. También, a mi mamá Verónica y a mi papá Edgar, quienes han sido luz de luna en este camino. De igual manera, a mi profesor guía por su disposición a escucharme y creer en mis capacidades. Por último, a mí, por mi valentía y sacrificios para poder seguir soñando ("Leo" por Ludovico Einaudi).

# Resumen ejecutivo

El uso de métodos simplificados para el análisis y diseño de estructuras, en este caso las losas de cimentación, es recurrente en agremiados del campo de la construcción con poca o ninguna habilidad en la manipulación de programas computacionales. Entre estos, para este proyecto, se analiza tanto el método de coeficientes para losas en dos direcciones del ACI-318 de 1963 como el análisis simplificado para losas en una dirección como vigas continuas por metro de ancho del ACI-318 (2014).

Debido a la simplificación de dichos métodos, es importante contraponerlos a estudios más especializados con el fin de identificar su precisión con la realidad y hacerle saber al proyectista los resultados para que este consiga determinar si es adecuado proseguir con su empleo o, incluso, aplicar algunas correcciones.

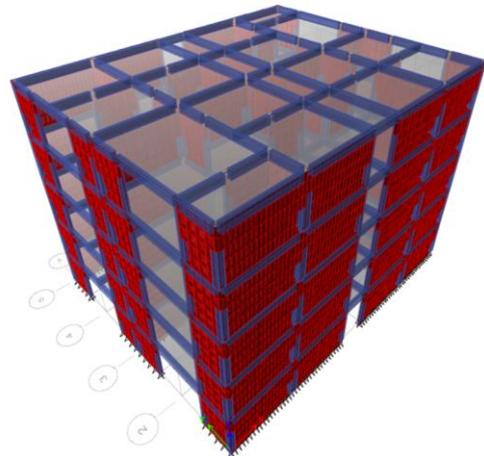
En este proyecto, se buscó realizar una comparación entre los momentos obtenidos por los métodos simplificados y aquellos derivados de un programa computacional denominado SAFE de *Computers & Structures, Inc.*; al mismo tiempo, se pretendió determinar la influencia que tiene la rigidez de los apoyos, el tipo de edificio (marco, dual y muro) y el suelo sobre el que se construye, en la distribución de las cargas en toda la estructura.

Además, se cuantificó la cantidad necesaria en peso de acero de refuerzo para la construcción de las losas de cimentación y su costo. Esto con el fin de poder mostrar si es significativamente importante la diferencia de un método a otro para el proyectista.

Para su elaboración, se recurrió al uso de las tablas de coeficientes que se muestran en el Anexo 2, obtenidas del ACI-318 (1963) y de Nilson (1999) en su libro *Diseño de estructuras de concreto*. También, se realizó un análisis para las losas en una dirección a partir de los coeficientes destinados a vigas y losas continuas en una dirección del ACI-318 (2014); sin embargo, se procedió a modelar la franja de losa en el programa SAP2000, debido a las

limitaciones de dicha metodología y que serán explicadas en el marco teórico del proyecto.

Además, anterior a este proceso, se modelaron las edificaciones en Etabs® y se trabajaron las cargas derivadas de estos modelos en hojas de cálculo para su análisis por el método convencional, mientras que fueron exportadas al software de SAFE® para el análisis computacional. Es decir, se procuró seguir la línea de diseño que recorre el profesional para evitar el uso de programas, la cual da inicio a partir de las bajadas de cargas de la superestructura a la base. Cabe recalcar que las edificaciones fueron modeladas para cinco niveles de uso residencial; además, fueron analizadas por el método estático lineal del CSCR-2010. En la Figura 1, se muestra uno de los modelos realizados para el edificio tipo muro.

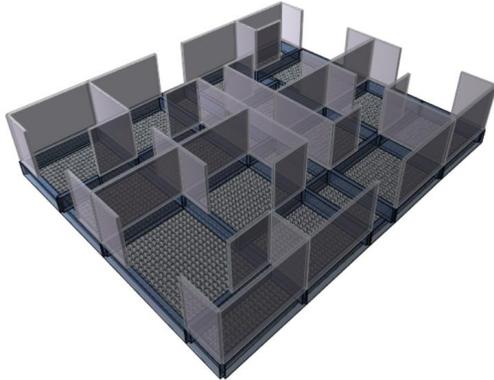


**Figura 1.** Modelo computacional del edificio tipo muro. Etabs v16 ®

En el programa SAFE®, se modelaron los elementos de todo el sistema de fundación: vigas de nervadura, losas, los elementos verticales sobre ellas, como muros y columnas. Además, se analizaron las zonas rígidas entre estos últimos y la losa. También, se incluyó la reacción del suelo a partir del modelo de Winkler, el cual supone al medio soportante como un espacio que responde

análogo a un grupo de resortes, los cuales semejan su rigidez.

Para ampliar el análisis, se trabajó con dos distintas rigideces, es decir, con diferentes suelos, uno blando y otro medianamente compacto, los cuales están categorizados dentro del CCCR-2009 con resistencias apropiadas y comunes para la construcción de una losa nervada de fundación (8 y 12 ton/m<sup>2</sup>). En la Figura 2, se representa el modelo de la estructura de cimentación para el edificio tipo muro.

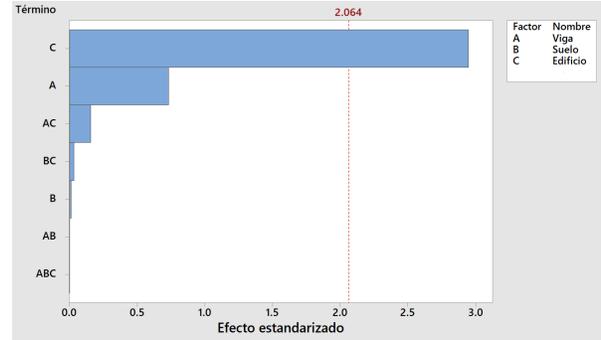


**Figura 2.** Modelo computacional de la losa nervada de fundación para el edificio tipo muro. SAFE v16®

Se obtuvo como resultado una diferencia en la distribución de las cargas de un método a otro. Esto provocó el mismo efecto en los momentos sobre las losas, de lo cual se identificó que el juego de rigideces dentro de la estructura tiene un papel fundamental en este comportamiento y que los métodos simplificados expuestos no consideran esta variante.

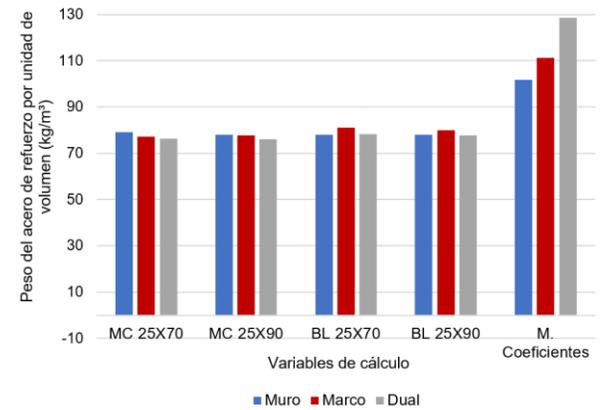
Se realizó una regresión factorial multinivel en el programa MiniTab® de la cual se obtuvo la Figura 3. En esta, se pudo notar que la variable de mayor afectación para la correlación de los resultados de SAFE® con los del método de coeficientes fue el tipo de estructuración del edificio.

También, los métodos mencionados tienden a mantenerse del lado conservador y sobrediseñar en la mayoría de las zonas. Sin embargo, existen otras en las que omiten las rigideces aportadas por los muros, los cuales suministraron la característica de continuidad en el borde de la losa y, por ende, recaen en el subdiseño.



**Figura 3.** Diagrama de Pareto sobre la afectación de cada variable en la relación de los momentos obtenidos con el programa SAFE con los del método de coeficiente. MiniTab®

En la Figura 4, se muestra la cantidad de acero en kilogramos por unidad de volumen de la losa correspondiente a cada edificio y su método de análisis. El MC corresponde a los edificios con suelo medianamente compacto y BL a un suelo blando; además, el dato 25x90 se refiere a vigas de nervadura con 90 cm de peralte y 25x70 a 70 cm.



**Figura 4.** Pesos del acero de refuerzo por unidad de volumen de la losa para cada tipo de edificio según sus características y método de diseño. Microsoft Excel®

De lo anterior se concluye que, a pesar del excesivo uso de acero de refuerzo, es incorrecto suponer que esto convierte a los métodos simplificados en estudio en métodos conservadores; pues, existieron zonas en las que dichas metodologías omiten el efecto de la rigidez de la súper estructura. Esto subestima o ignora la variación en la distribución de las cargas sobre la losa y así, la distribución de los momentos.

Además, según los datos obtenidos, para que los momentos de las estructuras modeladas en SAFE consigan igualarse o aproximarse a los

de los métodos de coeficientes, es necesario contar con vigas de nervadura suficientemente rígidas, lo cual convierte a estos métodos en costosos e inadecuados desde el punto de vista constructivo.

# Introducción

Para el análisis del comportamiento de estructuras, se han creado métodos que simplifican su estudio y comprensión. A partir de la incorporación de programas computacionales que muestran con mayor aproximación la forma en la que interactúan los elementos entre sí considerando sus características como la rigidez, las dimensiones y su ubicación en el espacio, ha sido posible obtener de forma más real el comportamiento de las estructuras.

En el transcurso del tiempo, los programas computacionales han ido evolucionando y perfeccionándose, así pues, la mayoría de los usuarios y los profesionales han conseguido manipularlos y comprender su forma de análisis para ingresar y recibir información correcta. Sin embargo, existen profesionales que no han dominado el uso de estos *softwares* y continúan realizando sus análisis y sus diseños de estructuras a partir de los métodos convencionales. Uno de estos es el método de coeficientes del ACI-318 (1963) para losas de entrepiso en dos direcciones y con el cual, es usual realizar diseños de losas de cimentación.

Este proyecto planteó como objetivo principal realizar una comparación entre ambas metodologías, la computacional y la simplificada, tomando como patrón los resultados del *software*. Con esto, se busca que el proyectista conozca el rango de aproximación a la realidad del método de coeficientes en el diseño de losas nervadas de fundación a fin de que pueda tomar en consideración las recomendaciones expuestas y las posibles correcciones que requiere dicho método; pues, debido a su naturaleza simplificada, se omiten los efectos de la interacción del suelo con el edificio y de la superestructura. De manera más detallada, este estudio se enfocó en:

- Analizar y diseñar losas nervadas de fundación para diferentes tipos de estructuras (marco, dual y muro) y distintos tipos de suelo (arcilla media de consistencia blanda y medianamente

compacta) mediante el método de coeficientes y los modelos computacionales desarrollados en el programa SAFE® con el fin de observar el comportamiento de los resultados con respecto a dichas variables.

- Comparar ambos métodos de forma cualitativa y cuantitativa para identificar las diferencias y las similitudes.
- Desarrollar un análisis de costos por concepto del acero de refuerzo para cada uno de los métodos.

## Alcances y limitaciones

- Se estudiaron edificios de cinco niveles con uso residencial.
- Se diseñaron únicamente las losas de cimentación y no las vigas de nervadura.
- Los edificios modelados en Etabs® se analizaron por el método estático lineal del CSCR-2010.
- No se brindan coeficientes de corrección generalizados.
- Para la distribución de cargas en la losa usada para el método de coeficientes, se recurrió a la hipótesis de linealidad de carga.
- Las cargas sísmicas producen presiones no uniformes sobre las losas de fundación, a diferencia de los entrepisos, las cuales no son consideradas dentro del método de los coeficientes.

# Marco teórico

Para edificios pesados sobre medios soportantes con baja capacidad o medianamente blandos, generalmente lo más económico es cimentar sobre losas macizas, también conocidas como losas flotantes. De estas, existen varios tipos, entre los cuales se pueden mencionar:

1. De placa plana en donde la losa es de espesor uniforme.
2. De placa plana con mayor espesor bajo las columnas.
3. De vigas y losa, en las cuales las vigas corren en ambas direcciones y las columnas se ubican en la intersección de las vigas.
4. De placas planas con pedestales.
5. Losa con muros de sótano como parte de la placa y las paredes actúan como refuerzo de la losa.

En este caso, se tratarán las estructuras del tipo tres. Estas se caracterizan por ser una losa de concreto que está subdividida en múltiples losas por medio de elementos continuos, llamados vigas de nervadura. Estas subdivisiones de losa se nombrarán de ahora en adelante como paños o paneles.

Una vez que se han determinado las presiones que ejerce el suelo sobre la estructura, el diseño de las vigas de nervadura será similar al de las vigas continuas invertidas y el de la losa de cimentación equivale al de losas o placas planas invertidas. Existen distintas metodologías de análisis de los esfuerzos para elementos de este tipo; en este caso, se tratarán dos de ellas basadas en coeficientes que lo simplifican.

## Métodos de coeficientes para el análisis de losas

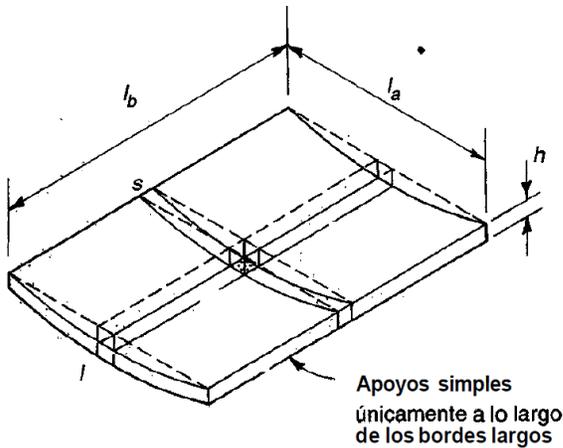
Según las dimensiones de los paneles de losa, estos pueden clasificarse como losas en una o dos direcciones. Nilson (1999), en su libro *Diseño de estructuras de concreto*, identifica las losas

que pueden apoyarse solo en dos lados opuestos; en este caso, la acción estructural de la losa es fundamentalmente en una dirección, pues, transmite las cargas en la dirección perpendicular a la de las vigas de apoyo. También, menciona las losas apoyadas en sus cuatro lados, de modo que se obtiene una acción de losa en dos direcciones.

Asimismo, señala que si la relación entre la longitud y el ancho de un panel de losa es mayor que un valor alrededor de dos, la mayor parte de la carga se transmite en la dirección corta hacia las vigas de apoyo. Por tanto, se obtiene, en efecto, acción en una dirección, aunque se proporcionen apoyos en todos los lados. En caso de que la relación sea menor que dos, se obtiene el efecto de losa en dos direcciones, esta consideración se analiza en este documento y se comenta más adelante.

## Losas en una dirección

Durante la construcción de estructuras de concreto reforzado, usualmente, se vuelan todos los elementos al mismo tiempo. El resultado es que las estructuras son generalmente monolíticas o continuas y por ello estáticamente indeterminadas. Una carga colocada en un claro de una estructura continua ocasionará cortantes, momentos y deflexiones en los otros claros de esa estructura.



**Figura 5.** Representación del comportamiento de las losas en una dirección. Copyright 1999 por Nilson, A.

Para las losas en una dirección, se tiene un análisis equivalente a una viga continua. En el ACI-318 (2014), se dispone de una serie de coeficientes que simplifican la obtención de momentos y cortantes para estructuras con continuidad (ver tabla en Anexo A). Cabe aclarar que este método no contempla la redistribución de momentos.

Limitaciones del método:

- Vigas continuas, losas aligeradas o losas armadas en una dirección.
- Debe tener dos o más tramos de luces más o menos iguales. La luz del tramo mayor, de dos adyacentes, no debe exceder en más del 20 % de la luz del menor ( $L_{\text{mayor}} \leq 1.2 L_{\text{menor}}$ ).
- Elementos prismáticos de sección constante.
- La carga viva no debe exceder de tres veces la carga muerta.
- Solo debe haber cargas uniformemente distribuidas. Las cargas muertas y vivas uniformemente distribuidas en cada uno de los tramos tienen la misma magnitud.

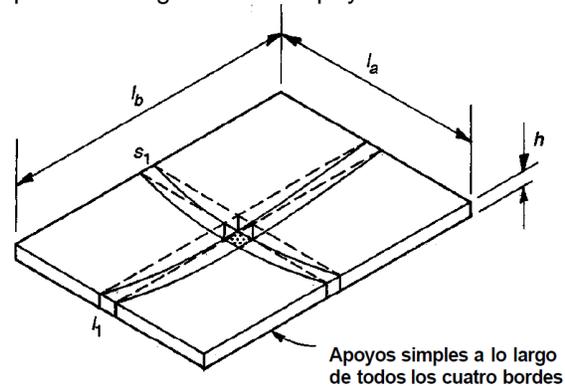
## Losas en dos direcciones

En el ACI-318 de 1963, se planteó al método de coeficientes como una de las tres metodologías para el diseño de losas de entrepiso en dos direcciones. Este se basa en las condiciones de apoyo de cada panel, del tipo de carga gravitacional a la cual es sometida y de sus dimensiones. Estos coeficientes se fundamentan en el análisis elástico; sin embargo, también consideran la redistribución inelástica.

Limitaciones del método:

- En los bordes discontinuos, se utilizará un momento negativo de un tercio del momento positivo.
- El método establece que cada panel debe dividirse, en ambas direcciones, en una franja central cuyo ancho es la mitad del ancho del panel; además, en dos franjas de borde o franjas de columna con un ancho igual a un cuarto del ancho del panel.
- Aplica para losas apoyadas en sus cuatro bordes, los cuales pueden ser muros, vigas de acero o vigas monolíticas de concreto con espesor no menor a tres veces el espesor de la losa ( $h \geq 3t$ ).
- Aplica para cargas uniformemente distribuidas en la dirección gravitacional.

En el Anexo B, se incluyen las tablas de coeficientes del ACI-318 (1963) para los distintos tipos de configuración de apoyos en losas.



**Figura 6.** Representación del comportamiento de las losas en dos direcciones. Copyright 1999 por Nilson, A.

Las cargas a las cuales se ven sometidos los paños de losa de cimentación se deben a la presión que ejerce el suelo como respuesta al peso propio del edificio y a otras cargas laterales; por ejemplo, el sismo. Debido a la complejidad del comportamiento del terreno, la forma en que estas fuerzas se reparten en las cimentaciones se desarrolló bajo varias hipótesis que idealizan algunas características del medio soportante, pero que, a pesar de ser aproximadas, son necesarias para poder contemplar los efectos de la reacción del suelo en las estructuras; pues, se ha demostrado que el comportamiento de las edificaciones no es independiente del lugar donde se cimienten.

# Interacción suelo-estructura

Los cimientos de una edificación se encargan de distribuir las cargas de la estructura hacia el suelo, de manera que este y los materiales usados tengan la capacidad suficiente para soportarlas sin sufrir deformaciones excesivas y sin fallar. Dependiendo de la interacción del suelo y la cimentación, las características de esta última cambiarán en cuanto a su tipo, forma, tamaño, entre otros.

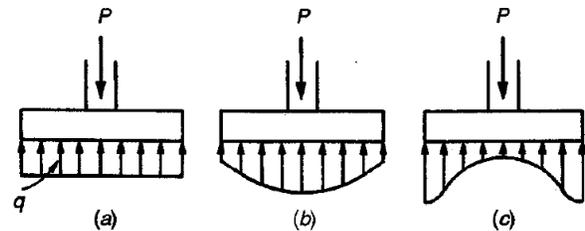
Para contemplar la forma en la cual el suelo reacciona contra las cargas que le son impuestas por la edificación, se han utilizado hipótesis que, si bien son idealizadas, también permiten aproximarse a la realidad desde un punto de vista conservador.

## Presión de contacto

En columnas y muros concéntricos, la carga se transmite verticalmente al cimiento, al cual lo soporta la presión hacia arriba del suelo sobre el cual descansa. Si la carga es simétrica con respecto al área de contacto, la presión de contacto se supone uniformemente distribuida (ver la Figura 7.a); sin embargo, se ha señalado que esto no es completamente preciso.

De acuerdo con lo expuesto por Nilson (1999), para zapatas que descansan sobre suelos granulares gruesos, la presión es mayor en el centro de la zapata y disminuye hacia el perímetro (ver la Figura 7.b). Esto se da a causa de que los granos individuales de este tipo de suelos están relativamente sueltos, razón por la cual el suelo localizado en las cercanías del perímetro puede correrse ligeramente hacia afuera en la dirección de menores esfuerzos en el suelo.

En contraste, en suelos arcillosos, las presiones son mayores cerca del borde que en el centro de la zapata; pues, en este tipo de suelos, la carga produce una resistencia a cortante alrededor del perímetro, la cual se adiciona a la presión hacia arriba (ver la Figura 7.c).

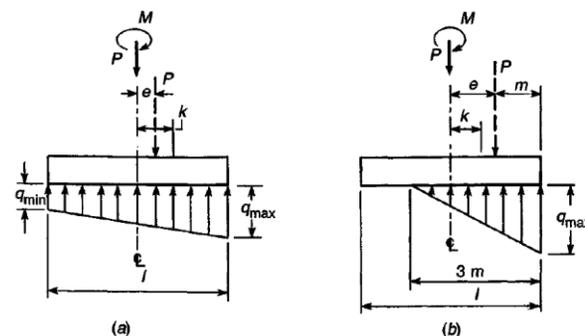


**Figura 7.** Distribución de presiones de contacto. a) Supuesta. b) Reales para suelos granulares. c) Reales para suelos cohesivos. Copyright 1999 por Nilson, A.

Se acostumbra a ignorar estas variaciones con respecto a la distribución uniforme porque:

1. Su cuantificación numérica es incierta y altamente variable dependiendo del tipo de suelo.
2. Su influencia en las magnitudes de los momentos flectores y de las fuerzas cortantes sobre la zapata es relativamente baja.

La distribución de presiones en zapatas y, en este caso, en losas que se asemejan a zapatas de grandes dimensiones, supone una teoría de distribución lineal cuando existe excentricidad en la aplicación de la carga. Es decir, esta teoría aplica si la columna soportada no es concéntrica con el área del cimiento o si la columna transmite, en su unión con la zapata, no sólo una carga vertical sino también un momento flector.



**Figura 8.** Presiones de contacto supuestas bajo cargas excéntricas. Copyright 1999 por Nilson, A.

Esta distribución de carga supone una presión máxima ( $q_{\text{máx}}$ ) y una mínima ( $q_{\text{mín}}$ ) cuando la excentricidad de la resultante  $P$  no sobrepasa un sexto de la dimensión que está en el sentido de la flexión de la zapata, largo ( $L$ ) o ancho ( $B$ )

para cimentaciones rectangulares, distancia que se representa con la letra  $k$ .

$$q_{\frac{m\acute{a}x}{m\acute{i}n}} = \frac{P}{BL} * \left(1 \pm \frac{6e}{\ell}\right) \quad (\text{ec.1})$$

Donde:

$e$ : excentricidad de la carga resultante.

$\ell$ : lado en el sentido de análisis.

Para zapatas en las cuales la excentricidad de la carga resultante es mayor que un sexto de  $\ell$ , se obtiene un valor negativo (tensión). Como la presión de contacto entre la cimentación y el suelo no puede transmitir tensión, se supone entonces una carga triangular en la que la presión se puede calcular de acuerdo con la ecuación 2.

$$q_{m\acute{a}x} = \frac{2P}{3\ell m} \quad (\text{ec.2})$$

## Módulo de reacción del suelo

Este parámetro está basado en el modelo de Winkler, el cual supone que la deflexión del terreno en un punto cualquiera de la superficie cargada es proporcional a la presión  $q$  aplicada en ese punto e independiente de las presiones aplicadas en los demás.

$$q(x) = k * w(x) \quad (\text{ec.3})$$

Se considera  $k$  como un factor de proporcionalidad con dimensiones de fuerza por unidad de longitud al cubo. A este valor, se le denomina coeficiente de reacción de la subrasante y es conocido comúnmente como coeficiente de balasto.

La homogeneidad de la fórmula exige que  $k$  tenga unidades de densidad; por tanto, la hipótesis efectuada supone que la cimentación flota sobre un líquido cuya densidad es el valor atribuido al coeficiente de balasto. Para tal hipótesis, se presume que la zapata descansa sobre un suelo homogéneo; no obstante, si existen en el terreno capas compresibles que se extienden solamente bajo una parte de la

cimentación, es evidente que las deformaciones no obedecerán a la ley de la proporcionalidad explicada.

De acuerdo con Rodríguez (1989), este modelo se puede visualizar como un conjunto de resortes independientes con constante  $k$  que solo se comprimen cuando están cargados directamente, tal como lo muestra la Figura 9.

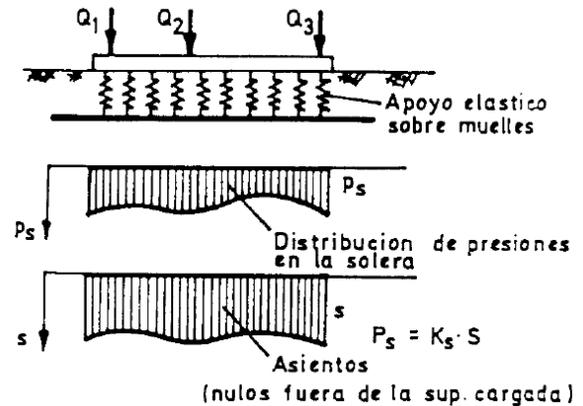


Figura 9. Modelo del coeficiente de balasto de Winkler. Copyright 1989 por Rodríguez, J.

Este coeficiente cumple la función de representar la resistencia del suelo, sin embargo, no es una característica intrínseca a este; pues, depende de la humedad del medio soportante, de si el suelo es granular o cohesivo, entre otras variables. Este dato se obtiene a partir de un ensayo de placa cuadrada con dimensiones generalmente de 30 cm x 30 cm a la cual se le aplica una carga  $P$  y se mide el desplazamiento vertical que provoca.

En el Código de Cimentaciones de Costa Rica (CCCR) (2009), se incluye una tabla con valores para el módulo de subrasante de acuerdo con el tipo de suelo en sitio. No obstante, debe considerarse que estas son solo sugerencias y que se recomienda realizar el ensayo de placa del sitio en el que se desarrollará el proyecto. Asimismo, el mismo código indica que tanto los valores del módulo de elasticidad del suelo como el del coeficiente de balasto deben reducirse al 25% cuando se trabaja en condiciones de cargas permanentes que generen cortantes y momentos; además, en el que se dé la consolidación.

TABLA 1. MÓDULO DE DEFORMACIÓN $E_o$ Y MÓDULO DE REACCIÓN VERTICAL DEL SUELO ( $K_{s1}$ ).		
Tipo de suelo	Módulo de deformación $E_o$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de reacción vertical $K_{s1}$ (kg/cm <sup>3</sup> )
Suelo fangoso	11.00 a 33.00	0.50 a 150
Arena seca o húmeda, suelta ( $N_{SPT}$ 3 a 9)	0.16H a 0.48H	1.20 a 3.60
Arena seca o húmeda, media ( $N_{SPT}$ 9 a 30)	0.48H a 1.60H	3.60 a 12.00
Arena seca o húmeda, densa ( $N_{SPT}$ 30 a 50)	1.60H a 3.20H	12.00 a 24.00
Grava fina con arena fina	1.07H a 1.33H	8.00 a 10.00
Grava media con arena fina	1.33H a 1.60H	10.00 a 12.00
Grava media con arena gruesa	1.60H a 2.00H	12.00 a 15.00
Grava gruesa con arena gruesa	2.00H a 2.66H	15.00 a 20.00
Grava gruesa firmemente estratificada	2.66H a 5.32H	20.00 a 40.00
Arcilla blanda ( $q_u$ 0.25 a 0.50 kg/cm <sup>2</sup> )	15 a 30	0.65 a 1.30
Arcilla media ( $q_u$ 0.50 a 2.00 kg/cm <sup>2</sup> )	30 a 90	1.30 a 4.00
Arcilla media ( $q_u$ 2.00 a 4.00 kg/cm <sup>2</sup> )	90 a 180	4.00 a 8.00
Arcilla dura ( $q_u$ 4.00 a 10.00 kg/cm <sup>2</sup> )	180 a 480	8.00 a 21.00

Fuente: Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2009.

## Efecto de la rigidez

De acuerdo con el CCCR (2009), la distribución de presiones bajo un cimiento depende de los valores relativos del módulo de reacción del suelo ( $k_{s1}$ ) así como de la longitud y espesor del cimiento. Conforme aumenta el módulo de reacción del suelo ( $k_{s1}$ ), es necesario un mayor espesor de la placa para mantener una distribución uniforme o planar de presiones en la base del cimiento. En la ecuación (4), una losa de cimentación se define como rígida siempre que se cumpla con el límite presentado; en caso contrario, se considera como flexible.

$$L < \frac{1}{4} \frac{\pi}{\sqrt{k_{s1} B}} \sqrt{4E_c I} \quad (\text{ec.4})$$

Donde:

B: Es el lado perpendicular a la deflexión de la cimentación.

$E_c$ : Módulo de elasticidad del material de cimentación.

I: Inercia de la sección transversal al sentido de flexión de la losa.

En caso de que no se cumpliera con el límite presentado, se denominará cimiento

flexible. Si esto sucede, debe diseñarse bajo metodologías basadas en la teoría de vigas sobre fundaciones elásticas u otros métodos comparables.

Cabe destacar que esta fórmula fue diseñada para cimentaciones aisladas y no es recomendable usarla para losas de fundación debido a que se obtendrán valores imprecisos. En este proyecto se identificará el tipo de cimentación (rígida o flexible) de acuerdo con la distribución de las cargas que se obtendrá de los programas computacionales.

## Diseño de losas de fundación

Los capítulos 7 y 8 del ACI-318 (2014) incluyen los términos de diseño para losas en una y dos direcciones, respectivamente. En el capítulo 6, se expone el método de coeficientes para el análisis estructural de losas y vigas continuas. El método de coeficientes para losas en dos direcciones aparece en el ACI-31 de 1963 en el Apéndice A, denominado como método tres.

## Espesores de losa

Para la suposición del espesor mínimo de losas en una dirección, en el apartado 7.3 del ACI-318 (2014), se presenta una tabla de recomendación para espesores mínimos (Tabla 2). Para  $f_y$  distinto de 420 MPa, los valores de la Tabla 2 deben multiplicarse por  $(0.4+f_y/400)$ .

Por su parte, para losas en dos direcciones, puede partirse de un espesor calculado según la ecuación 5, el cual podrá corregirse conforme se realicen las verificaciones por cortante y deflexión. Este espesor propone dividir el perímetro de cada panel de losa entre 180.

TABLA 2. ESPESORES MÍNIMOS PARA LOSAS EN UNA DIRECCIÓN MACIZAS Y NO PREFORZADAS	
Condición de apoyo	h mínimo <sup>[1]</sup>
Simplemente apoyadas	$l/20$
Un extremo continuo	$l/24$
Ambos extremos continuos	$l/28$
En voladizo	$l/10$

[1] Relaciones aplicables para concreto de peso normal y  $f_y=420$  MPa. Fuente: ACI-318 (2014).

$$h_{inicial} = \frac{\text{Perímetro}}{180} \quad (\text{ec.5})$$

En el apartado 8.3.1 del ACI-318 (2014), se incluyen ecuaciones para sugerir el espesor mínimo para paneles en dos direcciones, basado en la relación de rigidez de la losa y la viga de apoyo. Dicha relación se nombra  $\alpha_f$ , la cual se define como la rigidez a flexión de una sección de viga y la rigidez a flexión de una franja de losa limitada lateralmente por los ejes centrales de los paneles adyacentes (si los hay) a cada lado de la viga (Ver Figura 10) y está determinada según la ecuación (6):

$$\alpha_f = \frac{E_{cb}I_b}{E_{cs}I_s} \quad (\text{ec. 6})$$

Donde:

$E_{cb}$ : Módulo de elasticidad del material de la viga.

$E_{cs}$ : Módulo de elasticidad del material de la losa.

$I_b$ : Momento de inercia de la sección bruta de la viga con respecto al eje que pasa por el centroide.

$I_s$ : Momento de inercia de la franja de losa con respecto al eje que pasa por el centroide.

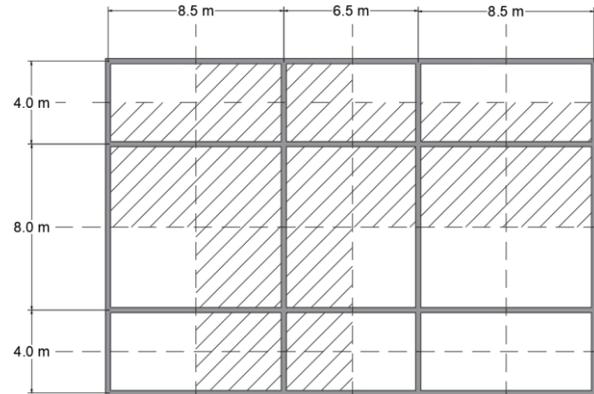


Figura 10. Representación de la franja de losa para el cálculo de  $\alpha_f$ . Elaboración propia.

Debe cumplirse en ambas direcciones ortogonales de la losa la siguiente relación:

$$0.2 \leq \frac{\alpha_{f1} \ell_2^2}{\alpha_{f2} \ell_1^2} \leq 5.0 \quad (\text{ec. 7})$$

Donde:

$\alpha_{f1}$ :  $\alpha_f$  en el sentido de  $\ell_1$ .

$\alpha_{f2}$ :  $\alpha_f$  en el sentido de  $\ell_2$ .

$\ell_1$ : Luz en la que se determinan los momentos medida centro a centro de los apoyos.

$\ell_2$ : Luz en la dirección perpendicular a  $\ell_1$ , medida de centro a centro de los apoyos.

En la Tabla 3, se incluyen las ecuaciones para el cálculo del espesor mínimo sugerido por el ACI-318, el cual está basado en una fracción de la luz larga entre apoyos de la losa.

TABLA 3. ESPESOR MÍNIMO PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES CON VIGAS EN LOS BORDES		
A <sub>fm</sub>	Espesor mínimo, h, mm	
$\alpha_{fm} \leq 0.2$	Se aplica 8.3.1.1	
$0.2 < \alpha_{fm} \leq 2.0$	Mayor de:	$h = \frac{\ell_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0.2)}$
		125
$\alpha_{fm} > 2.0$	Mayor de:	$h = \frac{\ell_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$
		90

$\alpha_{fm}$  es el valor promedio de  $\alpha_f$  para todas las vigas en el borde de un panel.  $\ell_n$  corresponde a la luz libre en la dirección larga, medida cara a cara de las vigas. El término  $\beta$  es la relación de la luz libre en la dirección larga a la luz libre en la dirección corta de la losa.  
Fuente: ACI-318 (2014).

Sin embargo, para el cálculo del espesor mínimo de la losa, se consideran como criterios principales el cumplimiento de la sección de concreto a esfuerzos cortantes y el que sus deformaciones no excedan los límites de deflexión estipulados por el ACI para losas tanto en una, como en dos direcciones.

La resistencia a cortante última del concreto está definida por el ACI-318 según la ecuación 8:

$$V_{cu} = \phi \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot h \quad (\text{ec. 8})$$

Donde:

$f'_c$ : Resistencia a la compresión del concreto.

b: Ancho de la franja de losa.

h: Espesor de losa.

$\phi$ : Factor de reducción de carga.

## Deflexiones

En el capítulo 24 del ACI-318, se indica que para el cálculo de las deflexiones inmediatas de miembros prismáticos no fisurados pueden utilizarse los métodos o fórmulas usuales para las deflexiones elásticas, con un valor constante del módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ) y una inercia efectiva ( $I_e$ ). Esta última se sugiere calcular como en la ecuación (9):

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \quad (\text{ec. 9})$$

Con:

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} \quad (\text{ec. 10})$$

Donde:

$M_{cr}$ : Momento de inercia agrietado.

$M_a$ : Momento máximo debido a cargas de servicio presentes en el miembro en la etapa para la que se calcula la deflexión.

$I_g$ : Momento de inercia de la sección bruta sin tener en cuenta el refuerzo.

$I_{cr}$ : Momento de inercia de la sección fisurada transformada a concreto.

$f_r$ : Módulo de ruptura del concreto.

$y_t$ : Distancia desde el eje que pasa por el centroide de la sección bruta a la cara en tracción, sin considerar el refuerzo.

Debe cumplirse que  $I_e$  siempre sea menor que  $I_g$ . Para concretos de peso normal,  $f_r$ , según el ACI-318, puede calcularse como:

$$f_r = 2 * \sqrt{f'_c} \quad (\text{ec. 11})$$

Para las losas continuas en una dirección, se permite tomar  $I_e$  como el promedio de los valores obtenidos con la ecuación (11)

para las secciones críticas de momento positivo y negativo. Los límites en las deflexiones de losas

en una dirección se muestran en la Tabla 4.

TABLA 4. DEFLEXIÓN MÁXIMA ADMISIBLE CALCULADA				
Miembro	Condición		Deflexión considerada	Límite de deflexión
Cubiertas planas	Que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.		Deflexión inmediata debida a Lr, S y R	$l/180^{[1]}$
Entrepisos			Deflexión inmediata debida a L	$l/360$
Cubiertas o entrepisos	Soporten o están ligados a elementos no estructurales	Susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	La parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales (la suma de la deflexión a largo plazo debida a todas las cargas permanentes, y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional) <sup>[2]</sup>	$l/480^{[3]}$
		No susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.		$l/240^{[4]}$

<sup>[1]</sup> Este límite no tiene por objeto constituirse en una salvaguardia contra el empozamiento de agua. El empozamiento de agua se debe verificar mediante cálculos de deflexiones, incluyendo las deflexiones debidas al agua estancada y considerando los efectos a largo plazo de todas las cargas permanentes, la contra flecha, las tolerancias de construcción y la confiabilidad en las medidas tomadas para el drenaje.

<sup>[2]</sup> Las deflexiones a largo plazo deben determinarse de acuerdo con 24.2.4 y se pueden reducir en la cantidad de deflexión calculada que ocurra antes de unir los elementos no estructurales. Esta cantidad se determina basándose en datos de ingeniería aceptables correspondiente a las características tiempo-deflexión de miembros similares a los que se están considerando.

<sup>[3]</sup> Este límite se puede exceder si se toman medidas adecuadas para prevenir daños en los elementos apoyados o ligados.

<sup>[4]</sup> Este límite no puede exceder la tolerancia proporcionada para los elementos no estructurales.

Fuente: ACI-318S (2014).

El cálculo de las deflexiones en las losas se calcula a partir de las ecuaciones (12) y (13), las cuales pueden aplicarse para paneles con dos o un solo borde continuo, pero construidos monolíticamente, de acuerdo con Nilson (1999). La ecuación (12) está definida para cargas vivas y la (13) para las permanentes o muertas.

$$\Delta_i = \frac{3 M_b l_b^2}{32 E_c I_e} \quad (\text{ec. 12})$$

$$\Delta_d = \frac{1 M_b l_b^2}{16 E_c I_e} \quad (\text{ec. 13})$$

Además, existe una deflexión adicional debida al flujo plástico y retracción del concreto, la cual depende del tiempo. En el apartado 24.2.4 del ACI-318 (2014), se indica que para obtenerlas se

multiplican los resultados obtenidos para las deflexiones inmediatas por un factor  $\lambda_\Delta$ .

$$\lambda_\Delta = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \quad (\text{ec. 14})$$

El valor de  $\rho'$  es el valor en la mitad de la luz para vanos simples y continuos y en el apoyo para voladizos.

En la Tabla 5, se incluyen los valores que puede tomar  $\xi$  de acuerdo con la duración de la carga sostenida.

TABLA 5. FACTOR DEPENDIENTE DEL TIEMPO PARA CARGAS SOSTENIDAS	
Duración de la carga sostenida, meses	Factor dependiente del tiempo, $\xi$
3	1.0
6	1.2
12	1.4
60 o más	2.0

Fuente: ACI-318 (2014).

## Refuerzo por retracción y temperatura

En concretos normales, el cemento no llega a hidratarse completamente; por ello, se dan cambios volumétricos causados por la variación de la humedad y temperatura, lo cual genera esfuerzos en la sección que deben ser soportados por un área de acero mínima que le brinde cierta ductilidad al material. En la Tabla 6, extraída del ACI-318, se presentan las cuantías mínimas.

TABLA 6. CUANTÍAS MÍNIMAS DE REFUERZO CORRUGADO DE RETRACCIÓN Y TEMPERATURA CALCULADAS SOBRE EL ÁREA BRUTA DE CONCRETO		
Tipo de refuerzo	$f_y$ , MPa	Cuantía mínima de refuerzo
Barras corrugadas	< 420	0.002
Barras corrugadas o refuerzo de alambre electrosoldado	$\geq 420$	Mayor de: $\frac{0.0018 \cdot 420}{f_y}$
		0.0014

Fuente: ACI-318 (2014).

## Refuerzo por flexión

En el capítulo 24 del ACI-318 (2014), se entablan los valores mínimos de área de acero a flexión por metro de ancho para losas en una y dos direcciones. En la Tabla 7, se representan dichos

valores, los cuales dependen de la resistencia a la fluencia del acero y del tipo de barra.

TABLA 7. ACERO MÍNIMO PARA LOSAS NO PREESFORZADAS EN UNA DIRECCIÓN O DOS DIRECCIONES.		
Tipo de refuerzo	$f_y$ , MPa	$A_s$ , mín
Barras corrugadas	< 420	$0.0020 \cdot A_g$
Barras corrugadas o refuerzo de alambre electrosoldado	$\geq 420$	Mayor de: $\frac{0.0018 \cdot 420}{f_y} A_g$
		$0.0014 A_g$

Fuente: ACI-318 (2014).

# Metodología

El proyecto propuesto se desarrolló en torno al diseño de losas nervadas de fundación, basado en el método de coeficientes del ACI-318S de 1963, el cual fue avalado por el ACI-318S de 2011. Además de dicha bibliografía, se consultó el ACI-318 de 2014 y otros libros de texto orientados a estructuras de concreto reforzado, específicamente para losas en dos y una dirección, tales como la décimo segunda edición del ejemplar del autor Arthur Nilson, denominado *Diseño de estructuras de concreto*. Asimismo, se realizaron modelos computacionales de las edificaciones con la ayuda de los programas denominados ETags, SAP2000 y Safe de *Computers & Structures, Inc.*

Inicialmente, se determinaron los tres tipos de estructuras por analizar: edificios tipo marco, dual y muro de cinco niveles cada uno y con uso residencial. Todas se encontraban apoyadas sobre un medio soportante cohesivo de consistencia media de acuerdo con el Código de Cimentaciones de Costa Rica (2009), el cual es un tipo de suelo predominante en el país y que se asoció con el suelo S3, según el CSCR (2010).

Esta selección se hizo de acuerdo con la premisa de que la estructuración del edificio y el material sobre el cual se cimienta varían la forma en la que se distribuyen las cargas sobre las losas. Esto con el objetivo de analizar casos con las características circunstanciales que llevan a la decisión de construir losas nervadas como solución para la cimentación del edificio.

Una vez determinados los casos de estudio para el análisis, se modelaron los edificios en ETags® versión 16.2.1. Los entrepisos de todas las estructuras se diseñaron como losas macizas de 12 cm de espesor. La resistencia del concreto fue de 280 kg/cm<sup>2</sup> para todos los elementos sismorresistentes.

Se presentan a continuación (Tabla 8) las dimensiones de los elementos mencionados de acuerdo con el tipo de edificio. Para el edificio muro, las columnas son mochetas con la forma que se indica a un lado de las dimensiones.

TABLA 8. DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS CORRESPONDIENTE AL TIPO DE EDIFICIO			
Edificio	Dimensiones (cm)		
	Vigas	Columnas	Muros
Marco	30x70	70x70	No aplica
Dual	30x70	40x40	15
	20x50		
Muro	20x45	15x30 rect.	15
		30x30x15 L	
		40x50x15 T	
		50x50x15 +	

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ®.

Los edificios propuestos son estructuras obtenidas de proyectos realizados por la empresa AESA S.A., cuyas distribuciones en planta fueron simplificadas para que pudieran cumplir con el fin del presente proyecto, dicho esto, las dimensiones de los elementos son similares a los originales. Debido a que el cumplimiento estructural de columnas, vigas o muros de las edificaciones está fuera de los objetivos y no tiene mayor repercusión, se omitió realizar dichos diseños o revisiones.

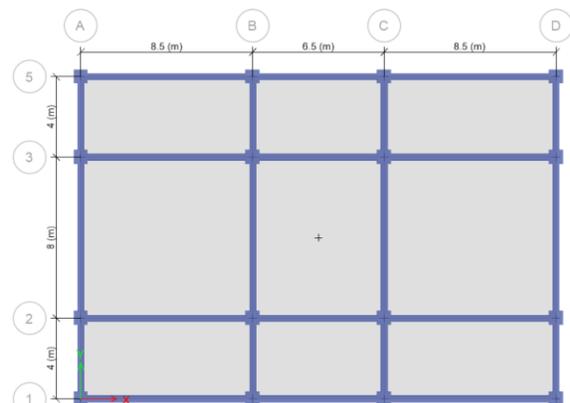
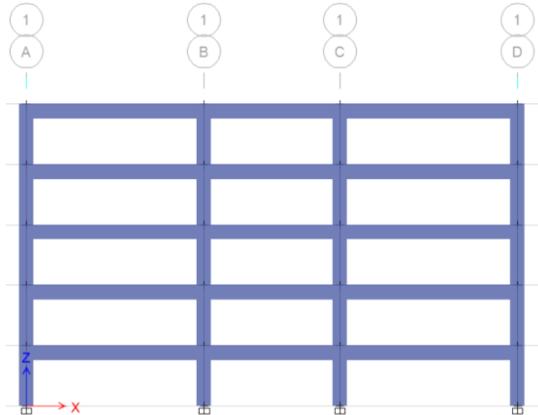
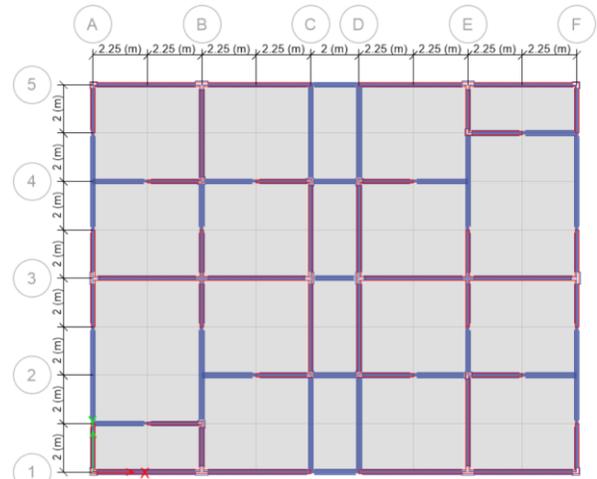


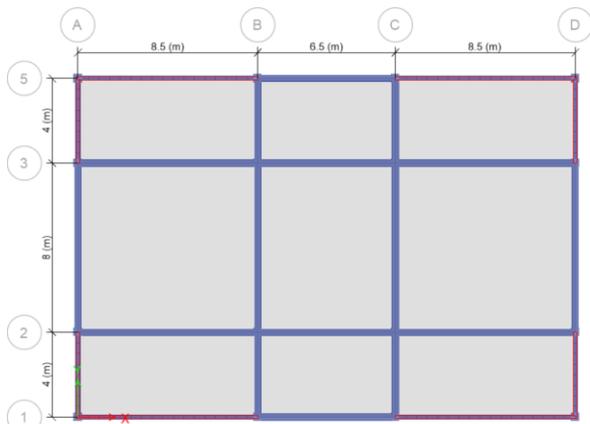
Figura 11. Planta típica del edificio marco. SAFE®



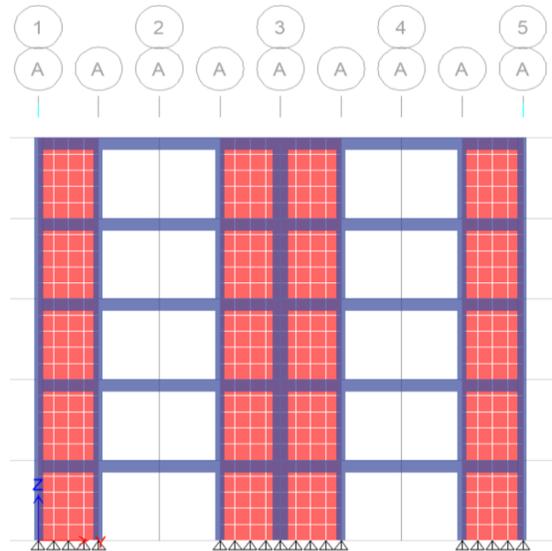
**Figura 12.** Elevación típica del edificio marco. SAFE®



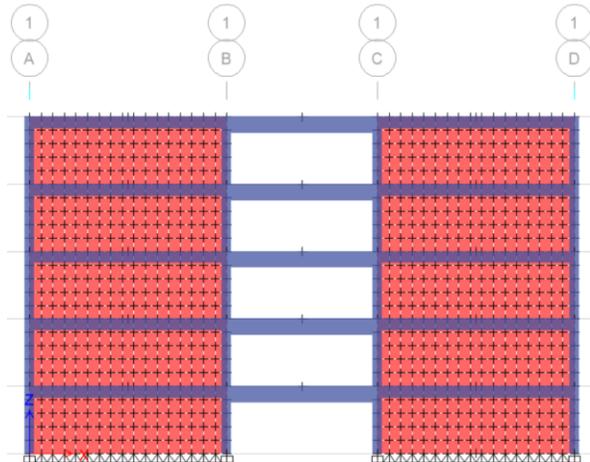
**Figura 15.** Planta típica del edificio muro. SAFE®



**Figura 13.** Planta típica del edificio dual. SAFE®



**Figura 16.** Elevación típica del edificio muro en el eje A. SAFE®



**Figura 14.** Elevación típica del edificio dual. SAFE®

Se modelaron los edificios con las respectivas cargas temporales, sobrecargas permanentes y fuerzas sísmicas que el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR) (2010) estipula en los apartados correspondientes. Las cargas vivas y sobrecargas muertas se indican en la Tabla 9.

TABLA 9. CARGAS DE ENTREPISO ASIGNADAS	
Tipo	Carga (kg/m <sup>2</sup> )
Cerámica	20
Cielo raso	15
Instalaciones electromecánicas	30
Paredes livianas	95
Cargas vivas	200

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ®.

La Figura 17 es una representación del edificio tipo marco. Todas las edificaciones se estudiaron por el método estático lineal y se verificó que las derivas de cada una cumplieran con el máximo dictado por el CSCR (2010) en el capítulo siete.



Figura 17. Modelo computacional del edificio tipo marco. ETabs v16 ®

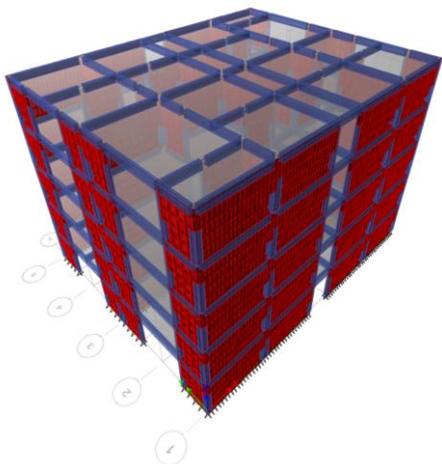


Figura 18. Modelo computacional del edificio tipo muro. ETabs v16 ®

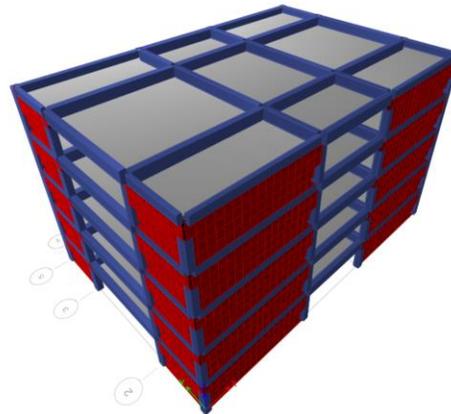


Figura 19. Modelo computacional del edificio tipo dual. ETabs v16 ®

Para iniciar con el análisis por el método de coeficientes propuesto en el ACI-318 (1963), se crearon combinaciones de carga que separaron las cargas permanentes y temporales de entre ellas. Es decir, de la combinación dos del CSCR (2010) que es igual a  $1.2CP+1.6f_rCT+1.6CE$ , por ejemplo, se desprendió una sub-combinación con 1.2 veces la carga permanente del edificio y otra con 1.6 veces la carga temporal. Para el caso de la combinación tres, la cual involucra el sismo, se separó en 1.05 veces la carga permanente más el cien por ciento del sismo y otra con 0.5 veces la carga temporal.

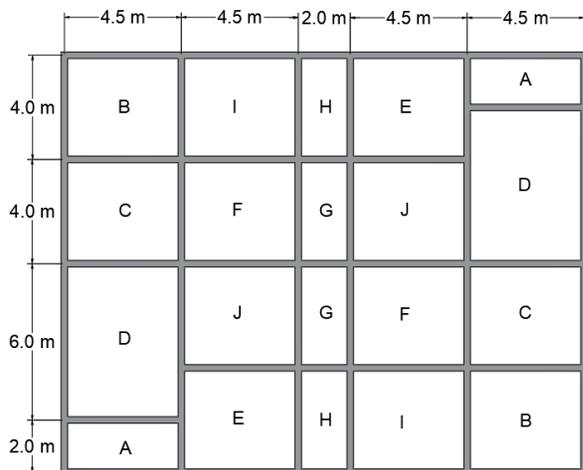
Esta división se realizó puesto que el empleo de los coeficientes de las tablas para losas en dos direcciones se hace acorde con el tipo de carga; por consiguiente, se obtuvieron distribuciones de presiones para cada una de estas subcombinaciones. La carga de sismo se asoció a la permanente, basándose en el razonamiento de que esta siempre va a estar en el momento en que ocurra este fenómeno, lo cual permite aproximar de una mejor forma el efecto de dicha carga lateral.

Seguidamente, se tabularon en una hoja de cálculo las reacciones resultantes del programa ETabs v16.2.1 en la base de cada uno de los edificios con el fin de calcular las presiones netas sobre la estructura para el método de coeficientes. Para ello, se recurrió a las ecuaciones (1) y (2), basadas en la hipótesis de distribución lineal de carga mencionada en el capítulo del marco teórico. Normalmente, el profesional objeto de estudio realizaría una bajada de cargas convencional; sin embargo, se decidió extraerlas de los modelos de ETabs a fin

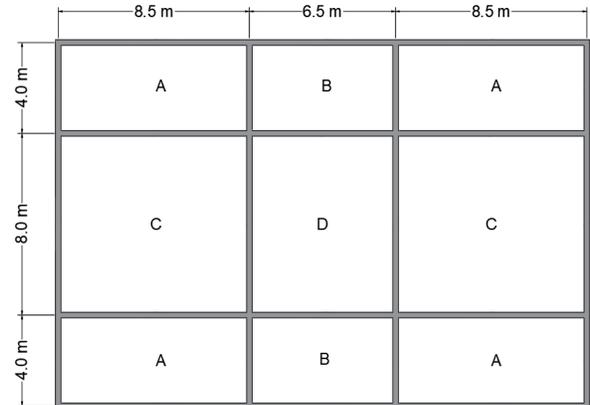
de contar con los mismos valores para ambos métodos y realizar una comparación más equiparada.

Las dimensiones de las losas elegidas son de 23.5 m x 16 m para los edificios dual y marco, mientras que para el tipo muro es de 20 m x 16 m (Ver Figuras 20 y 21). Se identificaron los paños de losa que se generaban en una misma fundación debido a la disposición que se les dio a las vigas de nervadura, de lo cual se separaron en losas en una y dos direcciones según su relación largo-ancho.

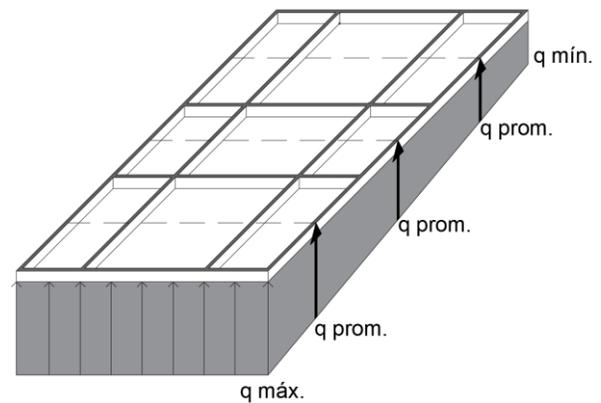
A partir de este punto, se graficó la distribución de presiones para cada caso de carga: uniforme, para fuerzas gravitacionales y trapezoidal cuando se contó con el efecto del sismo. Como resultado se obtuvo la ecuación de la recta respectiva. De esta, se interpolaron las presiones promedio en el centro de cada uno de los paños que componen la losa de cimentación según la dirección ortogonal (x o y) del sismo (Ver Figura 22).



**Figura 20.** Nomenclatura de los paños de losa para el edificio tipo muro. AutoCAD 2018 ©

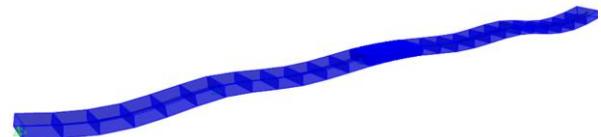


**Figura 21.** Nomenclatura de los paños de losa para el edificio tipo marco y dual. AutoCAD 2018 ©



**Figura 22.** Distribución de presiones por efecto del sismo y carga gravitacional y los puntos promedios en el centro de los paneles. Elaboración propia.

Para las losas en dos direcciones, se obtuvieron los momentos de acuerdo con la presión media que experimentaban y con la clasificación por condiciones de borde del método de coeficientes que va del uno al nueve, cuyos coeficientes se encuentran en las Tablas 61, 62 y 63 del Anexo B. Para las losas en una dirección, se recurrió al programa SAP2000 y estas se supusieron como vigas continuas de ancho igual a un metro, tal como se observa en la Figura 23.



**Figura 23.** Modelo de una franja de losa. SAP2000 v19 ©

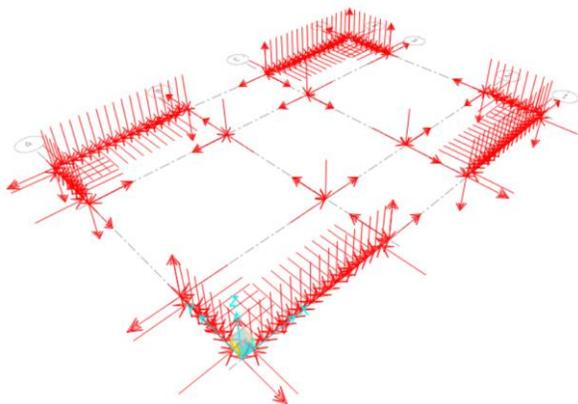
La configuración con la que se contó para las losas en una dirección no encajó con ninguna de las condiciones de la metodología de

coeficientes del ACI-318 (2014) para vigas continuas que se muestra en el Anexo A, pues, al aplicarla se obtuvieron datos incongruentes; razón por la cual, se procedió con la obtención de dichos momentos y cortantes con el *software* mencionado. Las cargas asignadas fueron las obtenidas según la distribución de presiones calculadas.

Una vez obtenidos los momentos y cortantes por el método de coeficientes, para la estimación del espesor mínimo de losa, se calculó la capacidad a cortante de la sección (ecuación 8) con el máximo valor obtenido por el método y así partir con un espesor que proporcionara una sección competente para resistirlo. Como segundo punto de verificación del espesor de losa, se llevó a cabo el cálculo de las relaciones de rigidez entre franjas de losa y vigas, especificado en el apartado 8.3.1 del ACI-318 (2014) y mostrado en el marco teórico, a fin de determinar si la sección cumplía con el espesor mínimo.

Por último, se realizó el cálculo de las deflexiones inmediatas y a largo plazo explicadas en las ecuaciones 12, 13 y 14 y con respecto al espesor seleccionado. Estas se revisaron para que se encontraran dentro del límite permitido por el ACI para losas de entrepiso, explicadas en la Tabla 4. El espesor final seleccionado fue de 30 cm.

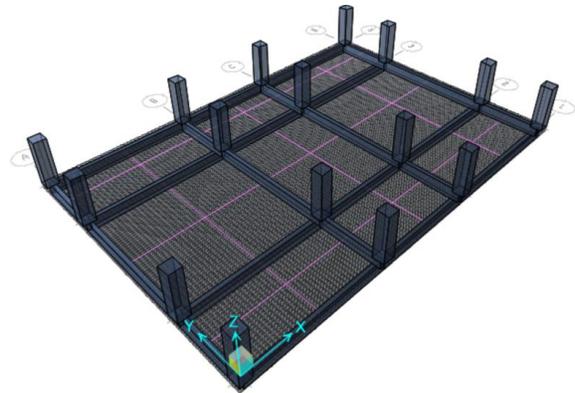
A partir de este punto, para el análisis por el método computacional, con los edificios ya modelados en el programa ETabs v16.2.1, se exportaron las reacciones en la base del edificio al programa SAFE® en el que se modelaron las losas de cimentación (Ver Figura 24).



**Figura 24.** Cargas del edificio tipo dual. SAFE v16 ©

Las losas se modelaron con las dimensiones y el espesor obtenidos por el método de coeficientes. Se realizó el análisis con dos dimensiones distintas de vigas; en uno, la losa está subdividida por vigas de 25 cm x 90 cm y en otro, por vigas de 25 cm x 70 cm. El primer caso se desarrolló con el fin de observar el comportamiento de la cimentación cuando se cumple apenas con el valor mínimo del peralte para los apoyos en vigas que establece el método de coeficientes para losas en dos direcciones, el cual postula que el peralte de las vigas de apoyo debe ser de al menos tres veces el espesor de la losa. El otro caso se determinó para comparar los resultados de cuando no se tiene la rigidez mínima en los apoyos contra la situación en la que sí; pues, comúnmente, las vigas tienden a ser de menor peralte por términos económicos.

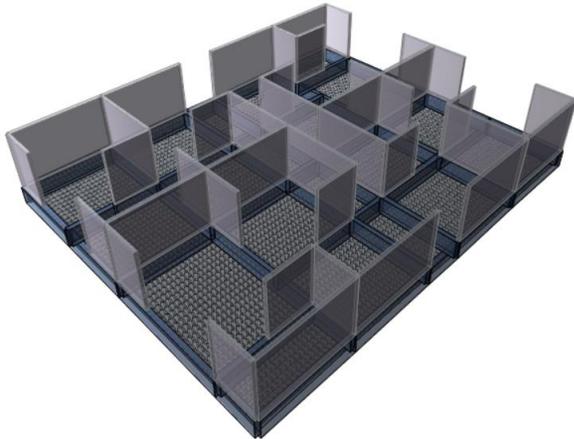
Se recreó el modelo con concreto de 280 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión a los 28 días para todos los elementos (vigas de nervadura y losa).



**Figura 25.** Modelo computacional de la losa nervada de fundación para el edificio tipo marco. SAFE v16 ©



**Figura 26.** Modelo computacional de la losa nervada de fundación para el edificio tipo dual. SAFE v16 ®

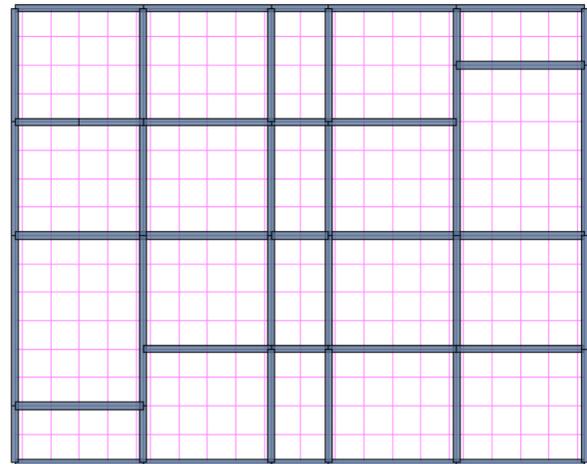


**Figura 27.** Modelo computacional de la losa nervada de fundación para el edificio tipo muro. SAFE v16 ®

Para la modelación del medio soportante, se recurrió a la utilización del coeficiente de balasto como la característica representativa de la rigidez del suelo. Dicho parámetro se obtuvo a partir de la Tabla 1 recuperada del CCCR-2009 para un suelo de arcilla media. Los rangos de capacidad soportante del suelo elegidos fueron de 8 y 14 ton/m<sup>2</sup>, con coeficientes de balasto de 2920 ton/m<sup>3</sup> y 1840 ton/m<sup>3</sup>, respectivamente. Sin embargo, para los casos con cargas permanentes y por la característica del suelo seleccionado, el cual fue clasificado como arcilla media, se utilizó el 25% de estos valores para la modelación, tal como lo plantea el CCCR-2009 para los casos en los cuales se producen consolidaciones en el terreno.

Cabe recalcar que el coeficiente de balasto es un valor sensible a la humedad, el tipo de suelo, además de estar asociado a un nivel de incertidumbre considerable. Por esta razón, debe ser utilizado a conciencia por el profesional; pues, este debe conocer el terreno del proyecto y siempre contar con un estudio de suelos completo que le permita hacer las respectivas apreciaciones del medio soportante con el que se cuenta en la realidad.

Una vez configuradas las losas, sus nervaduras y la resistencia del suelo, se generaron las combinaciones de carga y se dibujaron los elementos verticales del piso inmediato a la base; es decir, columnas y muros. A estos se les asignó un concreto de peso igual a cero toneladas, pues, dicha carga ya se encontraba entre las importadas desde el Etabs; además se les aplicó un diafragma rígido en la parte superior con el fin de simular el entrepiso que los restringe. Para la obtención de los resultados, se modelaron franjas de diseño de un metro de ancho sobre cada panel de losa, las cuales partían de sus centros y se extendían hacia sus bordes, tal como se observa en la Figura 28.



**Figura 28.** Franjas de diseño para la losa nervada de fundación del edificio tipo muro. SAFE v16 ®

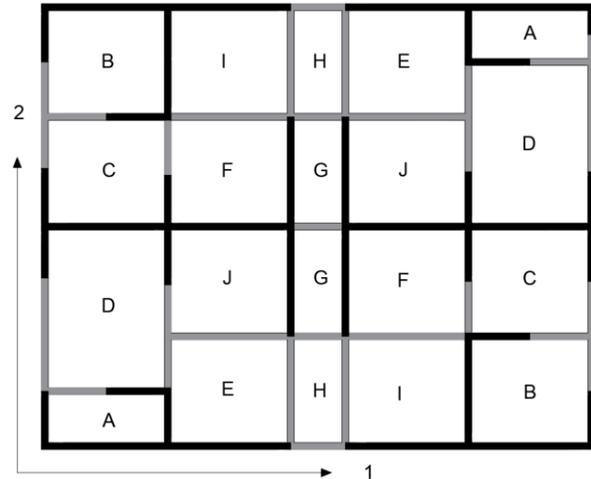
Con los modelos ejecutados para el análisis de resultados, se leyeron los momentos en el centro y bordes continuos y discontinuos para cada panel de losa. Los datos de los modelos con vigas de peralte igual a 90 cm se compararon con los calculados por el método de coeficientes del ACI y contra los obtenidos a partir del SAP2000 en el caso de las losas en una

dirección. Esto debido a que estos apoyos suponen una rigidez mayor y cumplen con la condición de tres veces el espesor de losa que postula el método de coeficientes.

Se obtuvieron factores de relación de magnitud de los datos obtenidos en el programa SAFE con respecto a los calculados con coeficientes, con el fin de determinar cuántas veces más grande o pequeño es el valor de uno en relación con el otro. Seguido a ello, se realizó el mismo proceso, pero esta vez se compararon los momentos de las losas con vigas de 70 cm de peralte contra el análisis por el método de coeficientes.

Los datos obtenidos por el método computacional también fueron sometidos a la verificación por resistencia a cortante de la sección transversal de la losa y por deflexiones máximas permitidas por el ACI.

Se utilizó la siguiente convención para indicar la dirección del momento: para los que se orientan en la dirección x, se les asoció con un uno (1); mientras que para aquellos en la dirección y, con el número dos (2), tal como se muestra en la Figura 29. Ahora, para los dos tipos de suelo, se les abrevió en BL para el blando y MC para el medianamente compacto.



**Figura 29.** Convención direccional de los momentos. AutoCAD®

Con la información de los esfuerzos en las losas, se llevaron a cabo los diseños para el acero de refuerzo que demandaba cada uno de los modelos, tomando en cuenta longitudes de desarrollo que exige el ACI-318S (2014) para acero en tensión por flexión. Se determinó el peso de acero para cada losa de fundación y se compararon entre sí. En la Figura 30, se muestra un diagrama del proceso para el diseño de la sección de las losas de fundación y para el área de acero de refuerzo.

Por último, se cuantificó la diferencia en peso de acero del método de coeficientes contra el método computacional en forma porcentual, así como su costo.

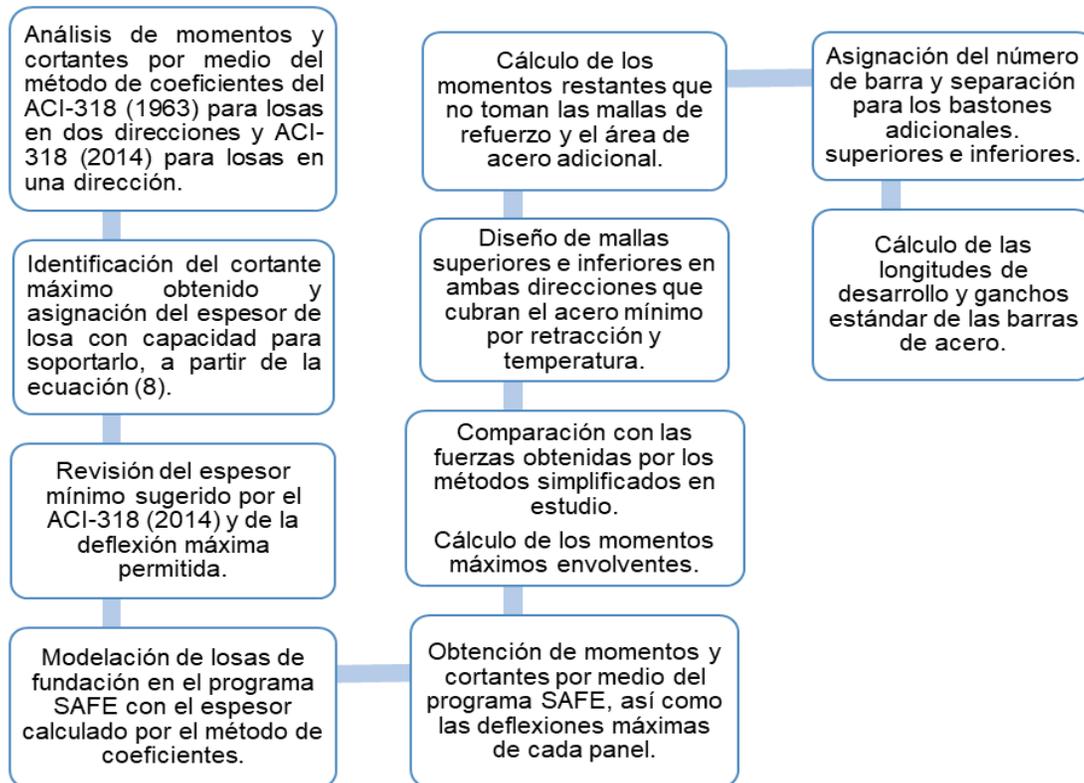


Figura 30. Diagrama del proceso de diseño de acero de refuerzo. Microsoft Word®

# Resultados

## Comparación de momentos

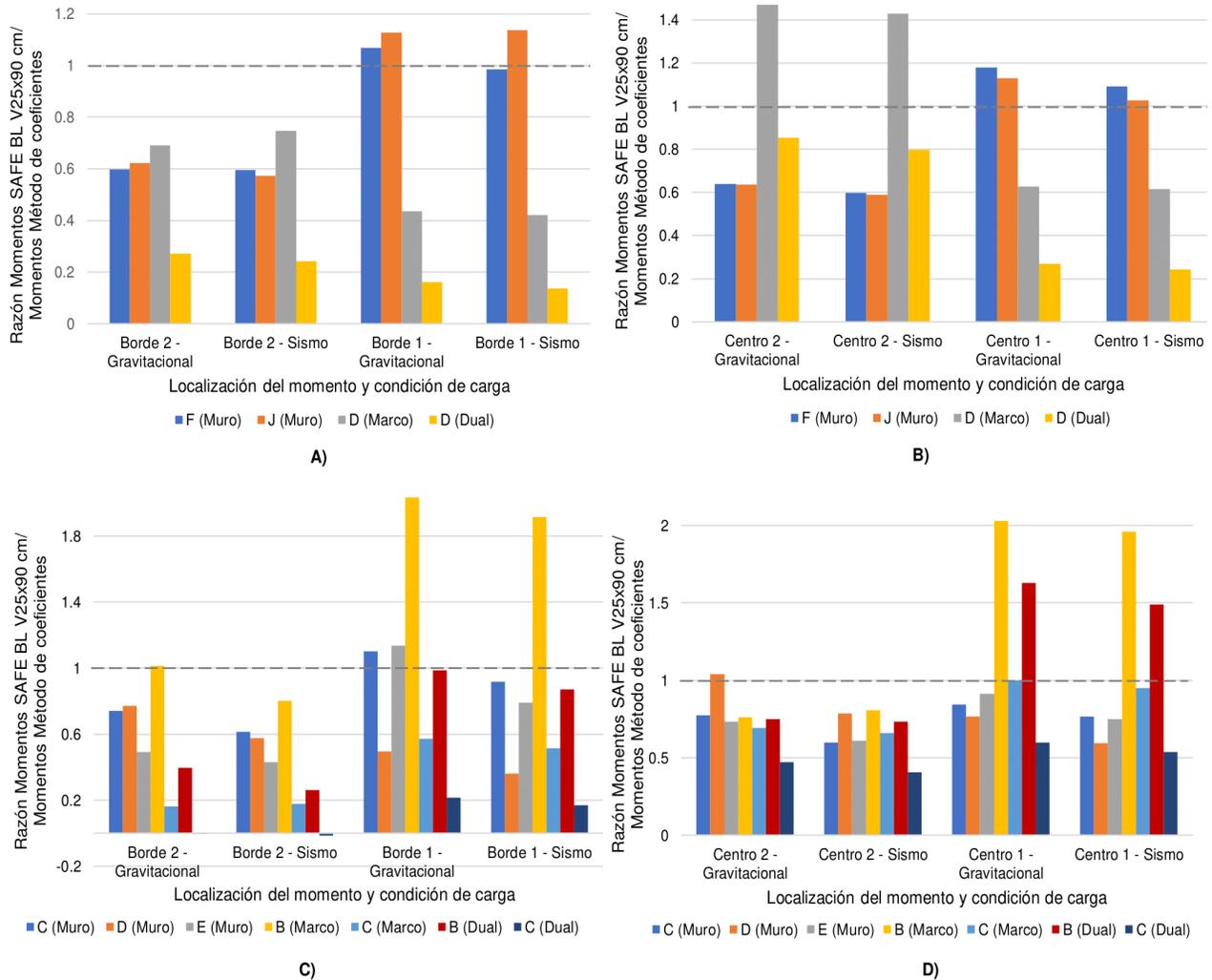
Se obtuvieron los momentos en los bordes continuos y en el centro de cada panel de losa de cada edificio con vigas de nervadura de 25x90 cm y 25x70 cm. Además, se estudió por tipo de suelo, medianamente compacto (MC) o blando (BL), los cuales fueron suministrados por el programa SAFE. Estos se compararon contra los momentos obtenidos por el método de coeficientes en el caso de las losas en dos direcciones y por el método simplificado de viga continua en SAP2000 para las losas en una dirección. Dichos valores y sus relaciones se encuentran a partir de la Tabla 37 hasta la 60 del Apéndice 3.

En las Figuras 31, 32, 33, 34 y 35, se representan dichas razones para las losas en dos direcciones, en las cuales se compara el comportamiento entre los tres tipos de edificio (marco, dual y muro); además, se separan para paneles con todos sus bordes continuos y con tres lados continuos. También, se analizan para dos casos; en el caso del primero sería para cargas gravitacionales versus cargas que cuentan con el efecto del sismo y el segundo, para el efecto de los dos diferentes tipos de suelo. Los bordes se identifican como 2 o 1, los cuales indican la dirección del momento que toman, de igual forma para los centros.

En la Figura 36 se incluye un promedio de las razones según la dirección y ubicación del momento. Además, se incluye una figura con factores de corrección para los momentos obtenidos a partir del método de coeficientes, de acuerdo con el tipo de estructura y los momentos de inercia de las vigas de apoyo de los paneles de losa.

Por otro lado, se presentan dos diagramas obtenidos del programa MiniTab®, de los cuales se representa la interacción y afectación de variables como el tipo de edificio, el suelo y la rigidez de las vigas de nervadura.

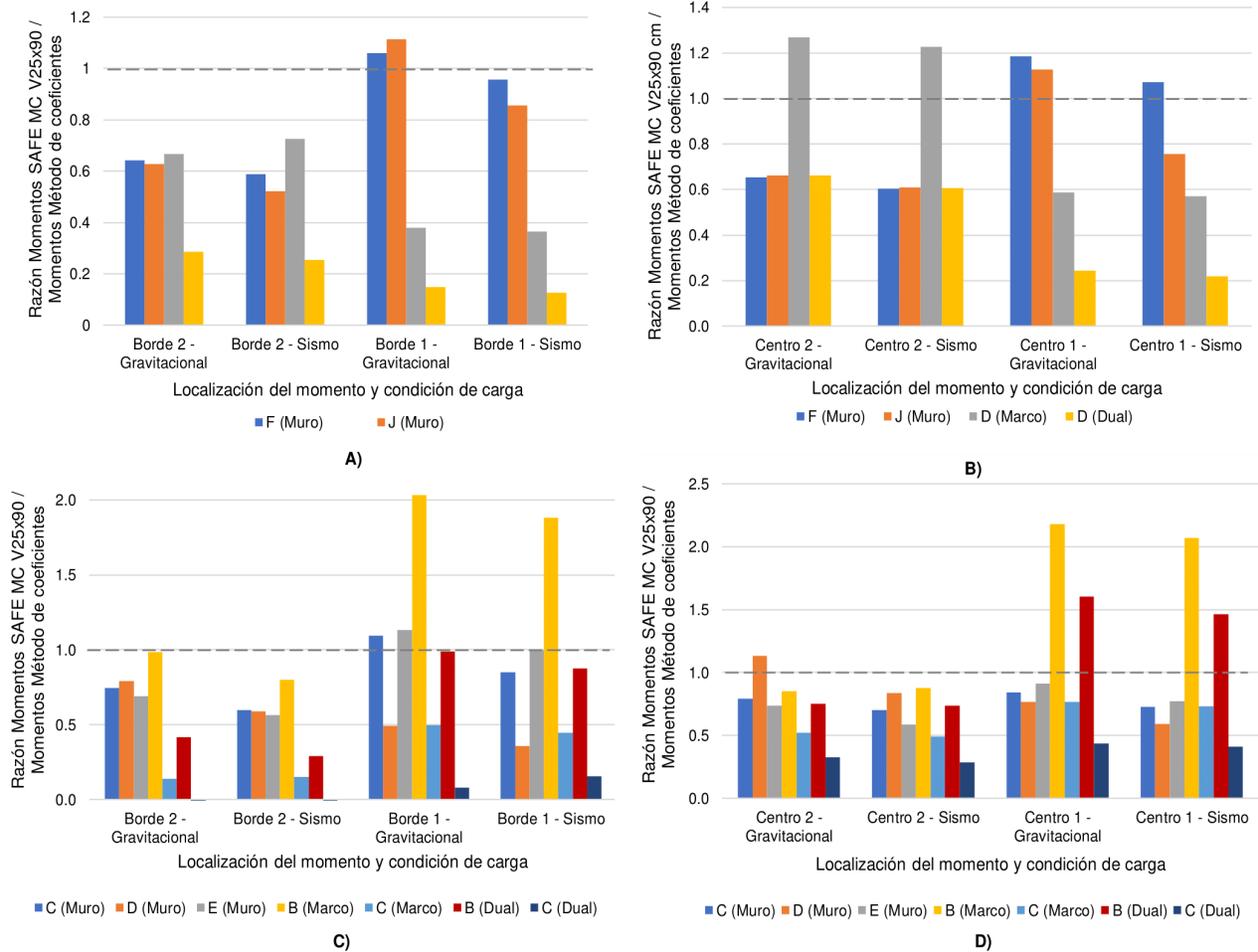
Para las losas en una dirección, se incluyen gráficos de barras que comparan los datos obtenidos con el programa SAP2000 del análisis simplificado.



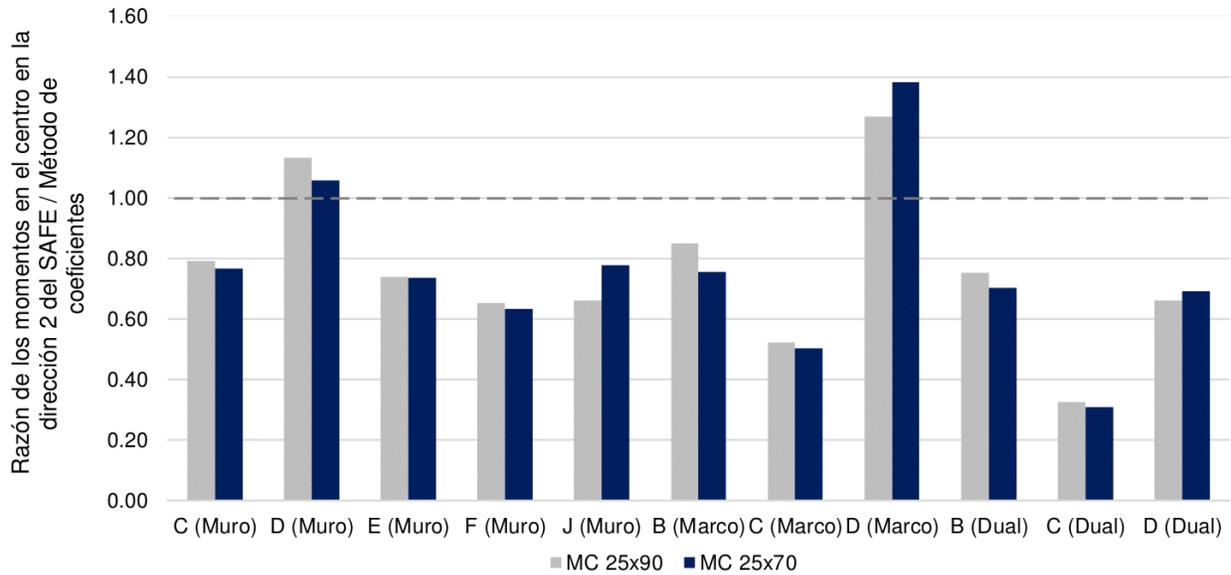
**Figura 31.** Variación en la razón de los momentos por cargas gravitacionales y sísmicas de las losas en dos direcciones con vigas de 25x90 cm y suelo blando obtenidos con SAFE sobre los momentos del método de coeficientes con: A) Todos sus lados continuos y ubicados en el borde, B) Todos sus lados continuos y ubicados en el centro, C) Tres lados continuos y ubicados en los bordes, D) Tres lados continuos y ubicados en el centro. Microsoft Excel®

Puede notarse que para los casos con carga sísmica las razones tienden a alejarse de la unidad y que los momentos son más pequeños que los obtenidos con el método de coeficientes.

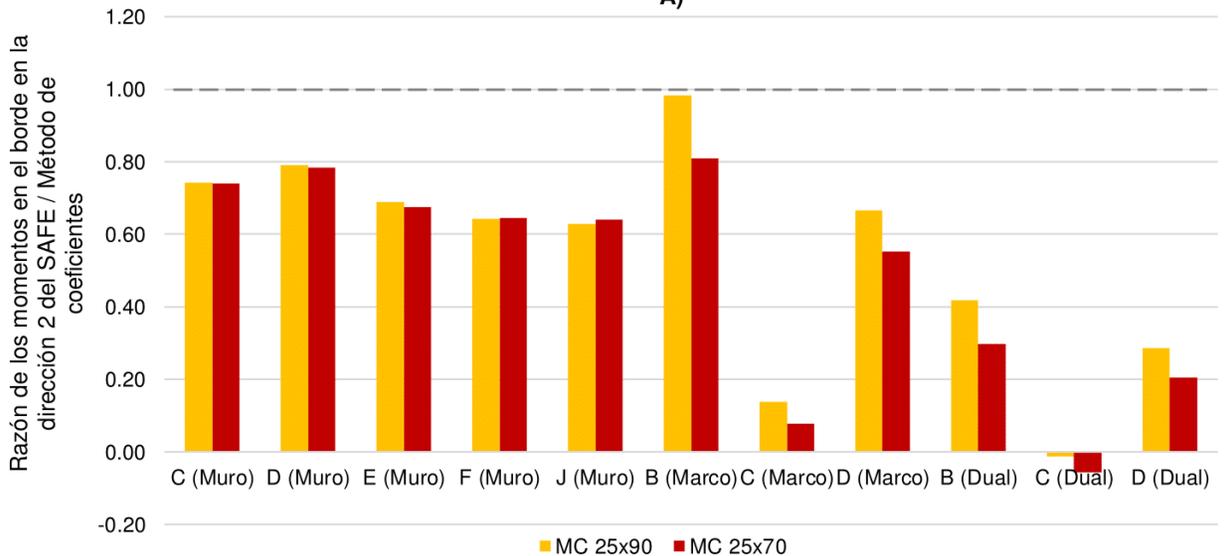
Además, se observa que en la mayoría de los casos las razones son menores que uno, tanto con o sin la carga sísmica en consideración, a excepción de casos particulares.



**Figura 32.** Variación en la razón de los momentos por cargas gravitacionales y sísmicas de las losas en dos direcciones con vigas de 25x90 cm y suelo medianamente compacto obtenidos con SAFE sobre los momentos del método de coeficientes con: A) Todos sus lados continuos y ubicados en el borde, B) Todos sus lados continuos y ubicados en el centro, C) Tres lados continuos y ubicados en los bordes y D) Tres lados continuos y ubicados en el centro. Microsoft Excel®



A)

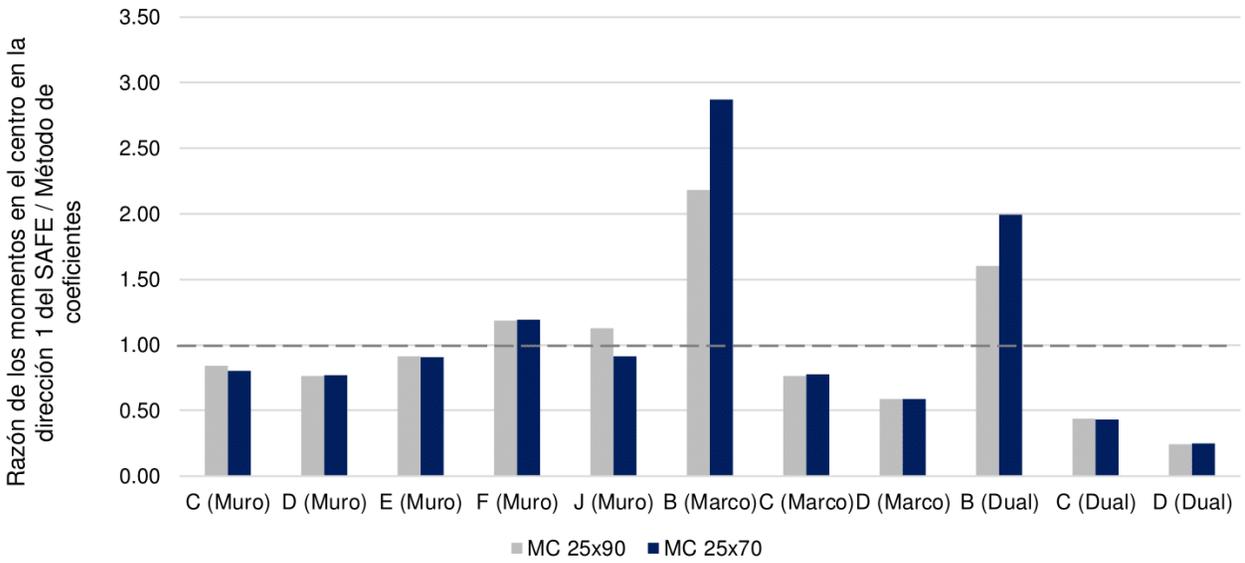


B)

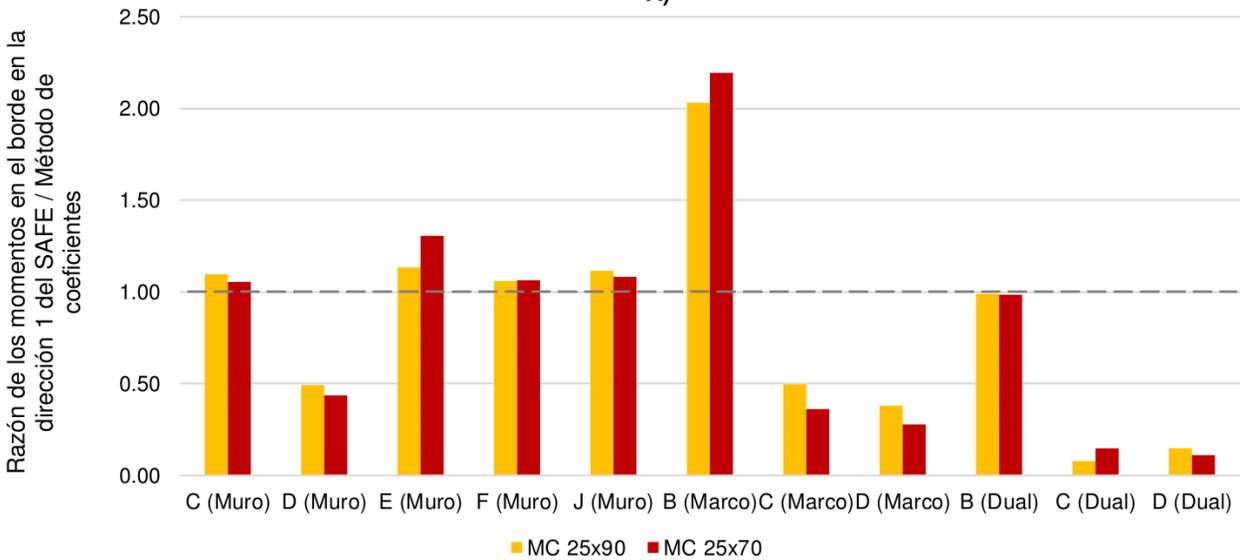
**Figura 33.** Variación por cambio de vigas de 25x90 cm a 25x70 cm en la razón de los momentos obtenidos con SAFE sobre el método de coeficientes en la dirección Y (2) por cargas gravitacionales con el suelo medianamente compacto como constante. A) En el centro. B) En los bordes. Microsoft Excel®

En la Figura anterior se observa que para la losa C del edificio dual la relación del momento de uno de sus bordes con respecto al método de

coeficientes está fuera de la tendencia que siguen los otros paneles

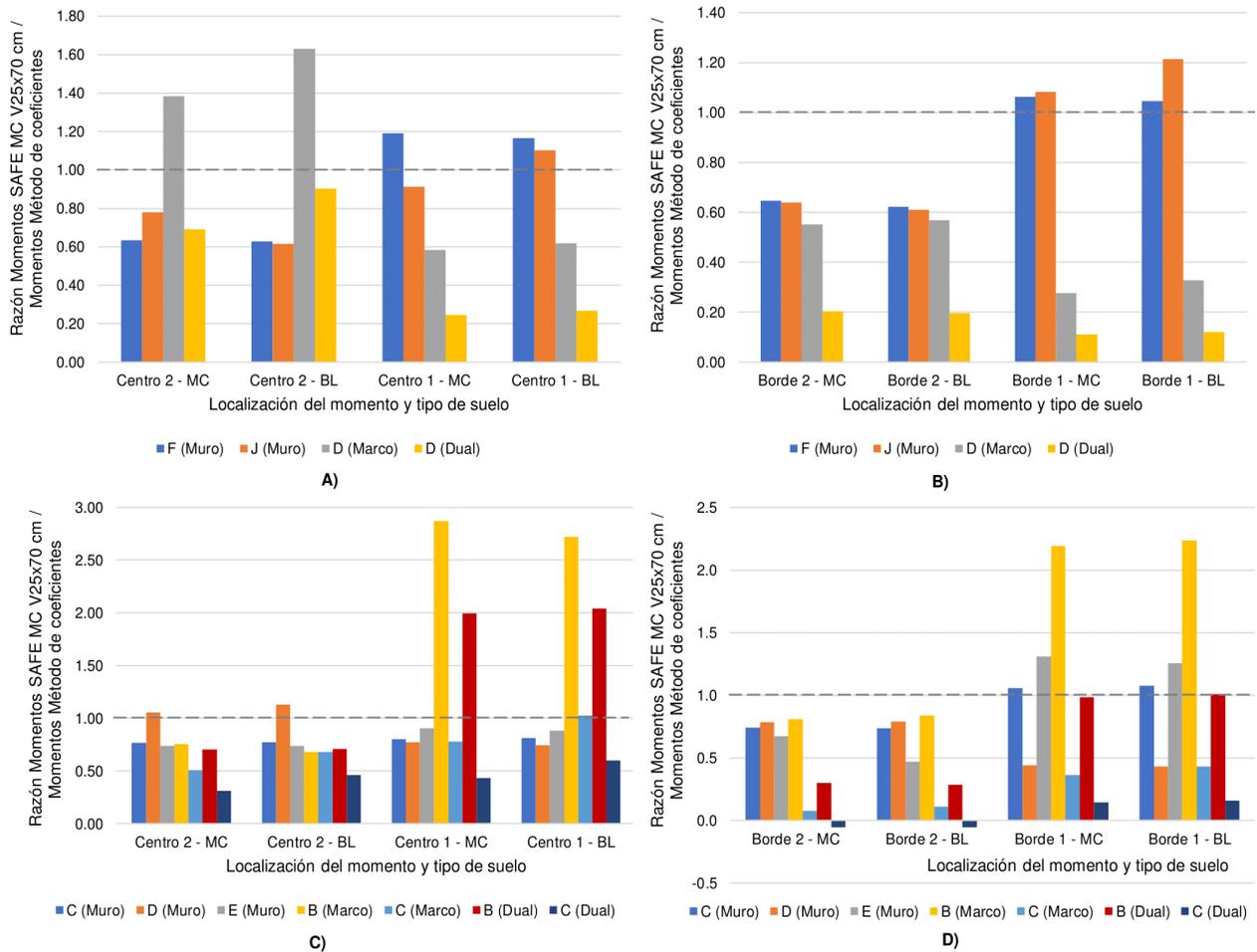


A)



B)

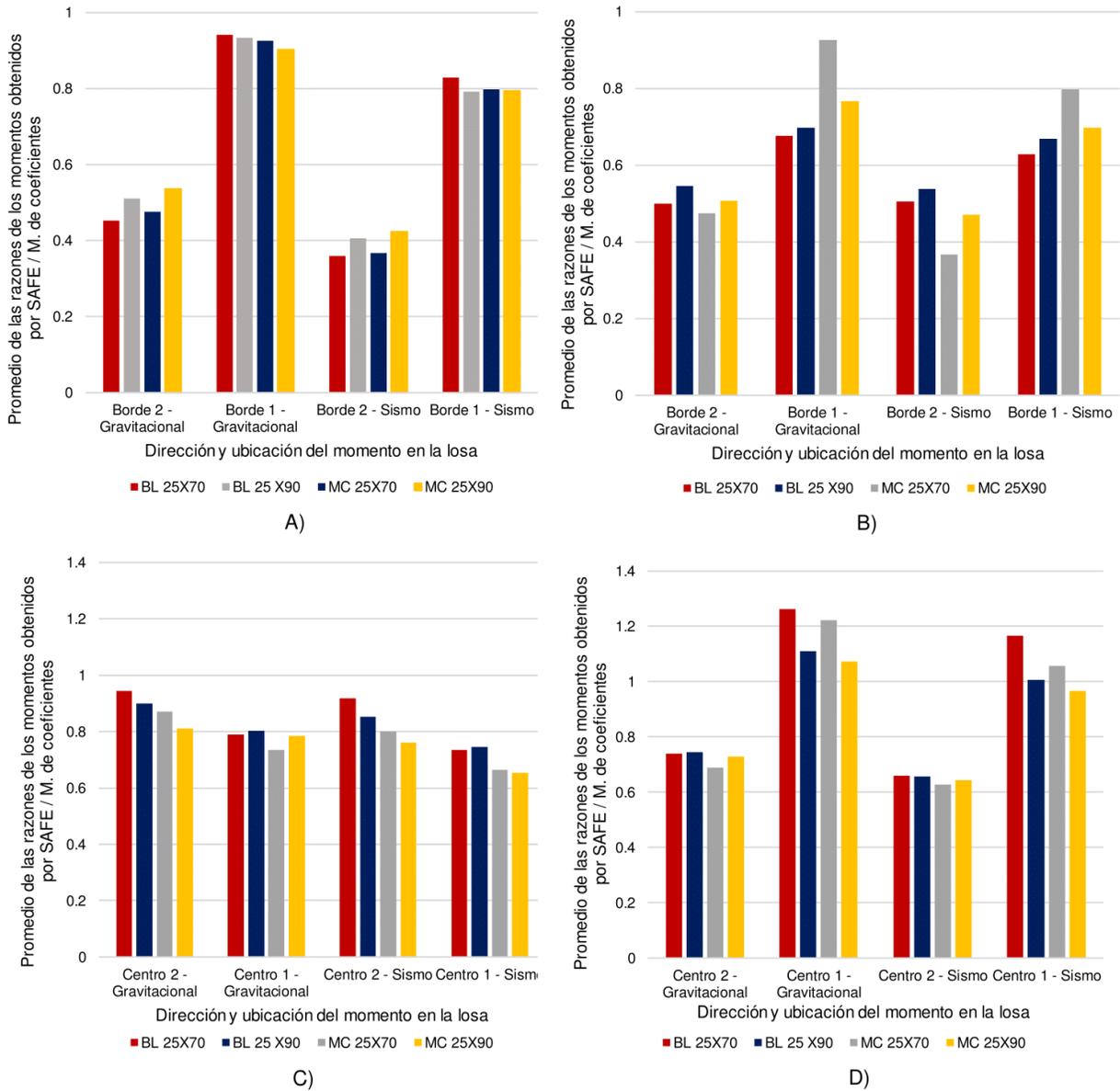
**Figura 34.** Variación por cambio de vigas de 25x90 cm a 25x70 cm en la razón de los momentos obtenidos con SAFE sobre el método de coeficientes en la dirección X (1) por cargas gravitacionales con el suelo medianamente compacto como constante. A) En el centro. B) En los bordes. Microsoft Excel®



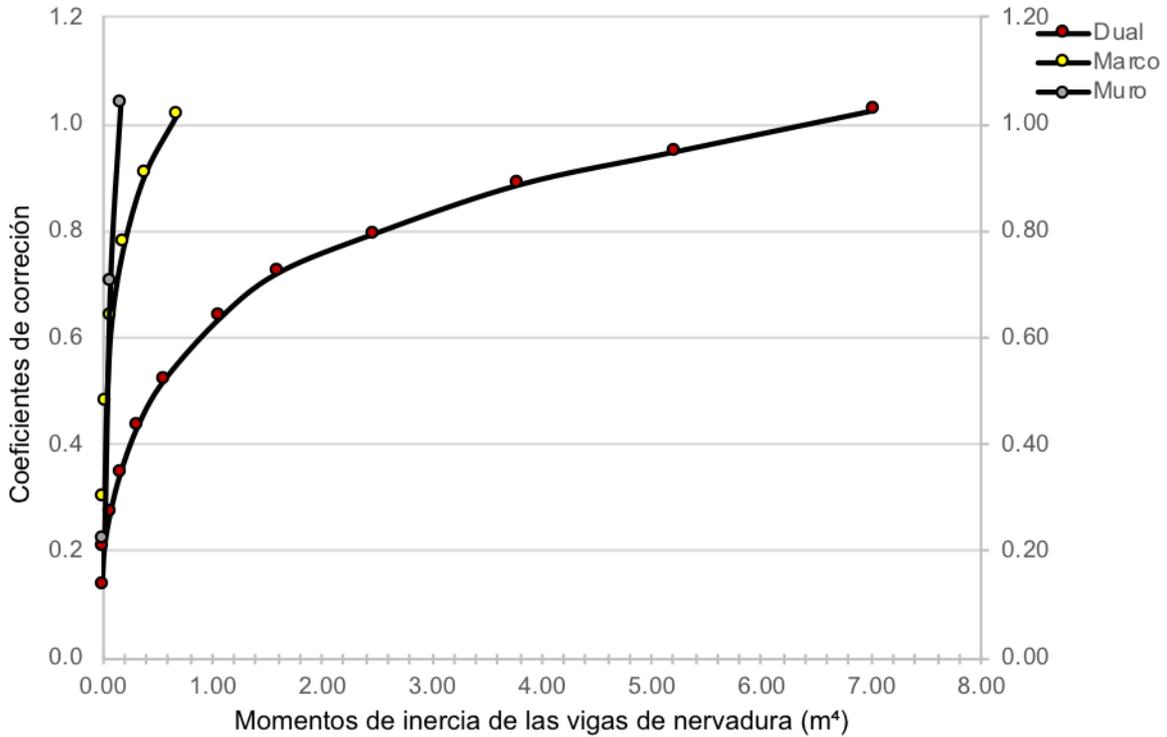
**Figura 35.** Variación por el cambio de arcilla media con consistencia medianamente compacta a blanda en la razón de los momentos obtenidos con SAFE sobre el método de coeficientes por cargas gravitacionales y con vigas de 25x70 cm como constante. A) En el centro de losas con todos sus lados continuos. B) En los bordes de losas con todos los lados continuos. C) En el centro de losas con tres lados continuos. D) En el borde de losas con tres lados continuos. Microsoft Excel ®

En la comparación anterior se tiene como variable el tipo de suelo. En la Figura se observan las variaciones en el centro y borde de los

paneles de losa al modificar la resistencia del suelo. Puede notarse que las diferencias son relativamente pequeñas entre sí.



**Figura 36.** Promedio de las razones de los momentos obtenidos con SAFE® sobre del método de coeficientes para las losas en dos direcciones con A) Cuatro lados continuos y promedio en los bordes B) Tres lados continuos y promedio en los bordes. C) Cuatro lados continuos y promedio en los centros. D) Tres lados continuos y promedio en los centros. Microsoft Excel®



**Figura 37.** Gráfico de factores de corrección para los momentos de losas en dos direcciones obtenidos a partir del método de coeficientes del ACI-318 (1963) en función de los momentos de inercia de las vigas de nervadura. Microsoft Excel®

En la Figura anterior se tiene un gráfico con factores de corrección para los momentos obtenidos con el método de los coeficientes según el tipo de edificio. En esta se muestra la variación de la rigidez en los apoyos de las losas que permiten obtener valores más parecidos al método computacional.

En las Figuras siguientes se muestran relaciones obtenidas a partir del programa MiniTab®, en estas se representa el grado de afectación o importancia de las variables consideradas en la distribución de las cargas.

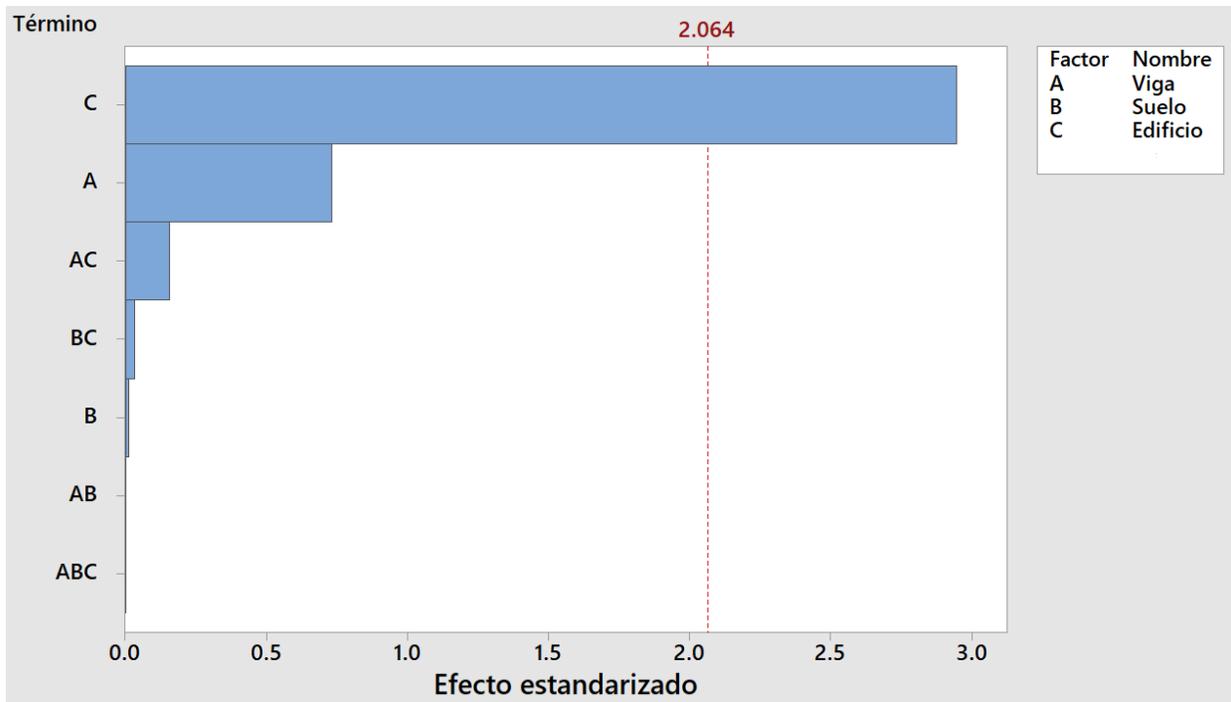


Figura 38. Diagrama de Pareto sobre la afectación de cada variable en la relación de los momentos obtenidos con el programa SAFE con los del método de coeficiente. MiniTab®

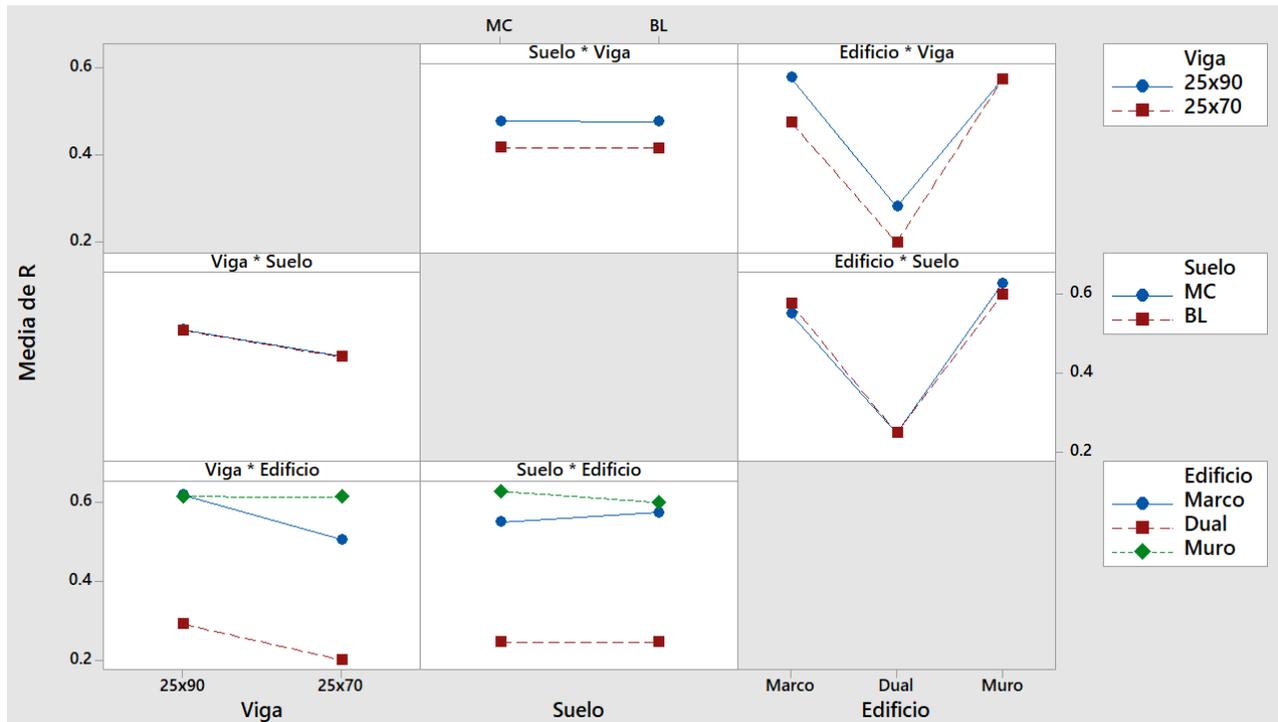
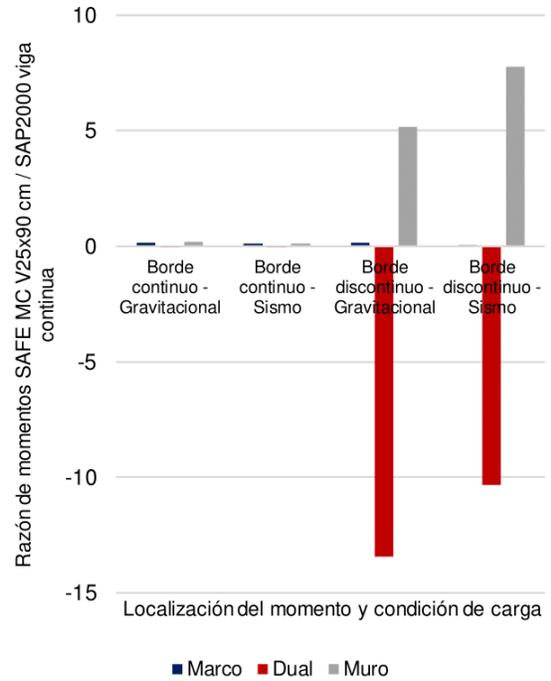
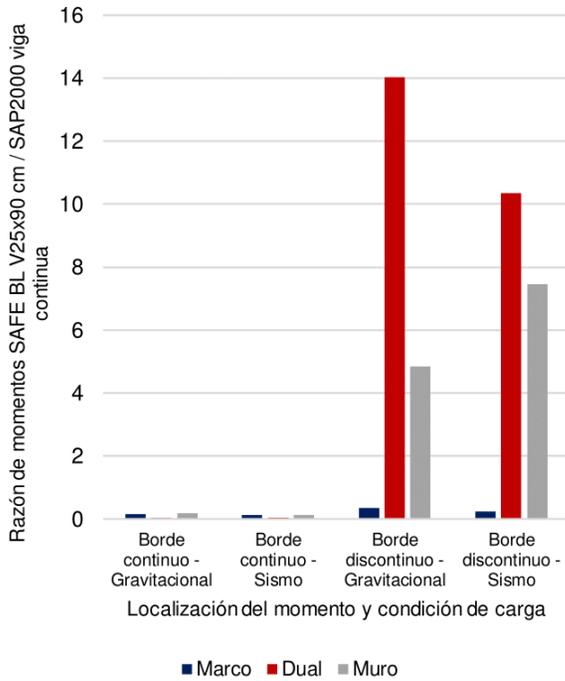
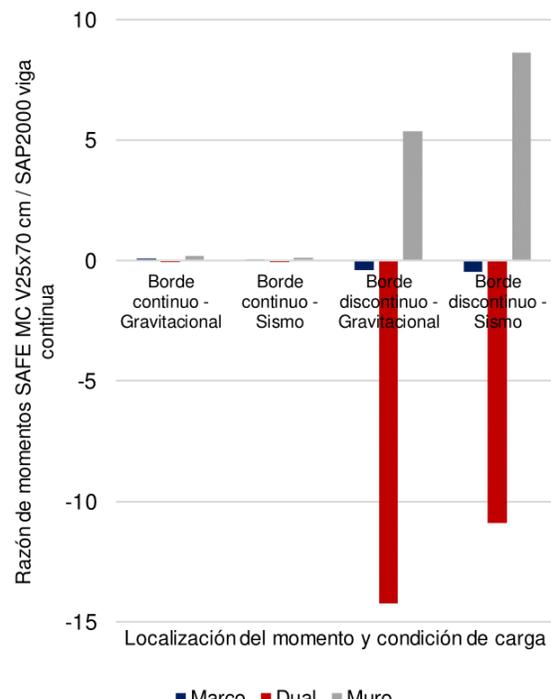
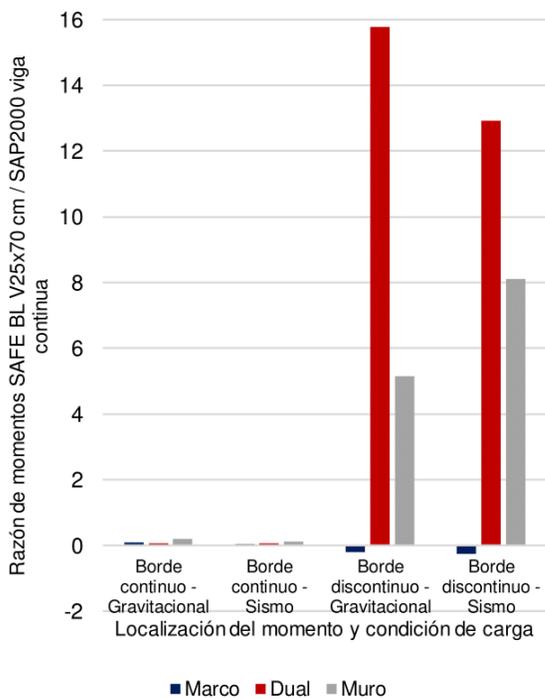


Figura 39. Gráfica de efectos principales para la relación de los momentos obtenidos con el programa SAFE con los del método de coeficiente. MiniTab®



A)

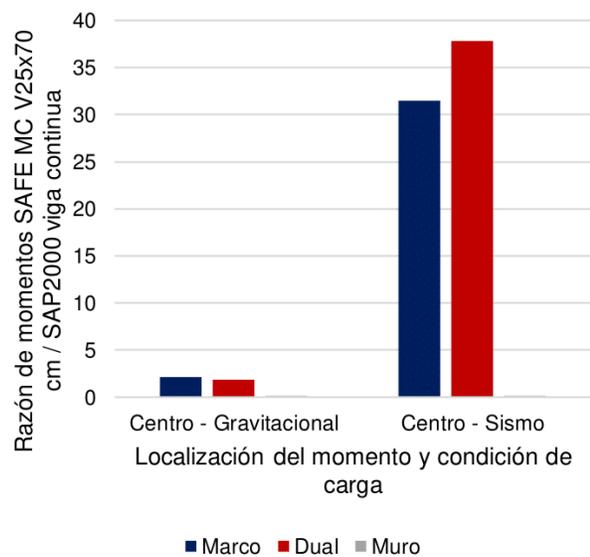
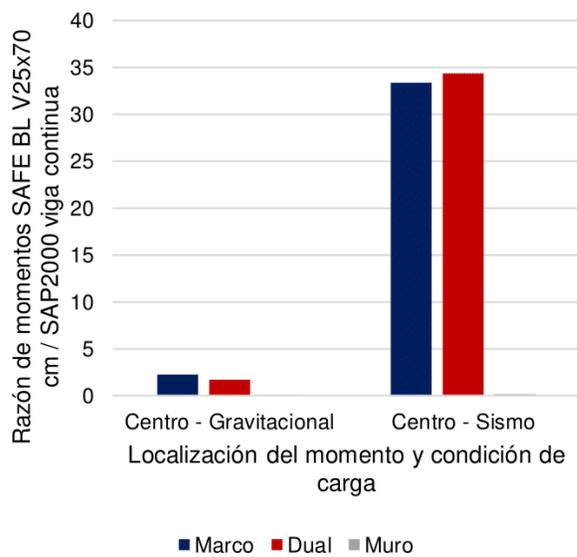
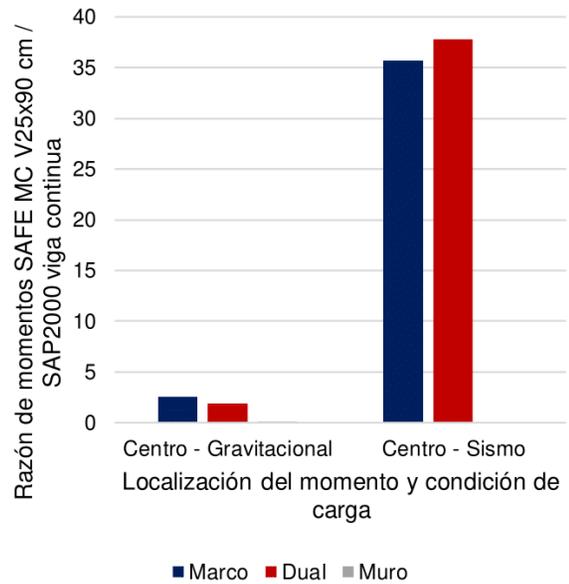
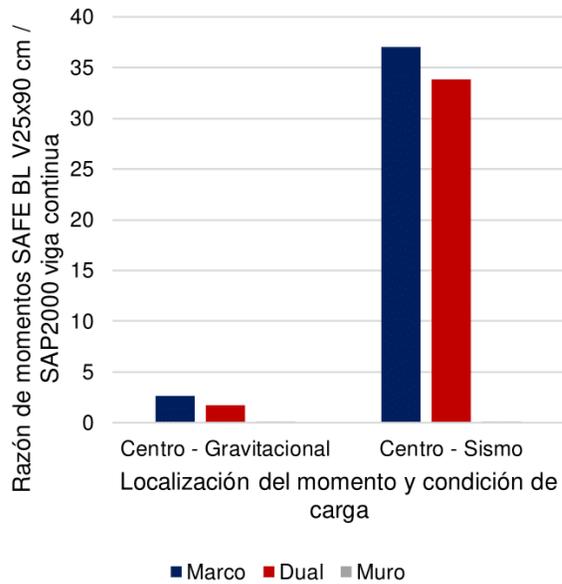
B)



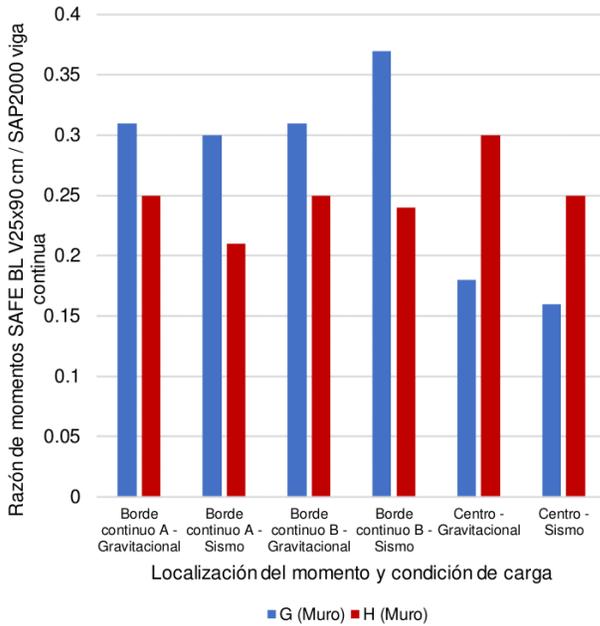
C)

D)

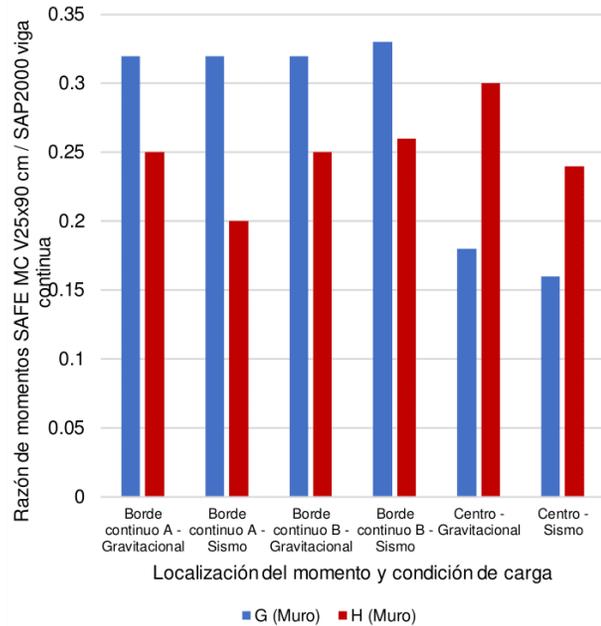
**Figura 40.** Comparación de los momentos en los bordes por cargas gravitacionales y sísmicas obtenidos con SAFE para las losas en una dirección con un borde continuo y otro discontinuo sobre los momentos obtenidos del análisis de viga continua de un metro de ancho en SAP2000 en: A) Suelo blando (BL) y vigas de 25x90 cm, B) Medianamente compacto (MC) con vigas de 25x90 cm, C) Suelo blando (BL) y vigas de 25x70 cm y D) Suelo blando (BL) y vigas de 25x70 cm. Microsoft Excel ®



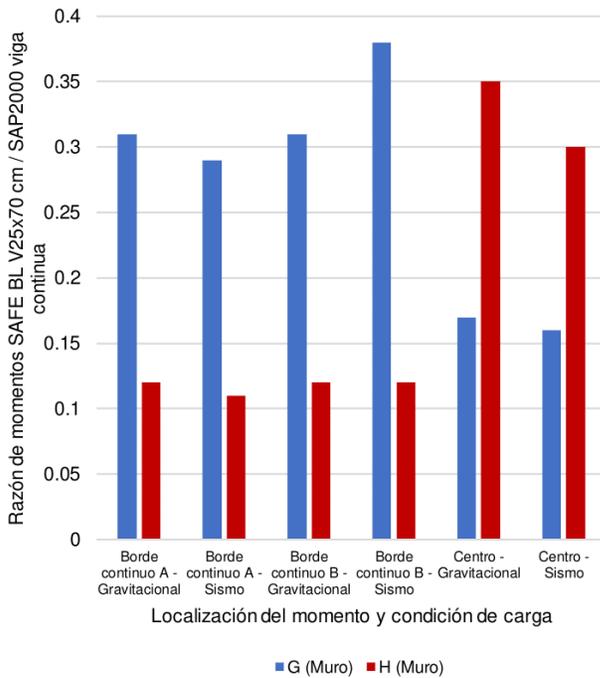
**Figura 41.** Comparación de los momentos en el centro por cargas gravitacionales y sísmicas obtenidos con SAFE para las losas en una dirección con un borde continuo y otro discontinuo sobre los momentos obtenidos del análisis de viga continua de un metro de ancho en SAP2000 en A) Suelo blando (BL) y vigas de 25x90 cm, B) Medianamente compacto (MC) y vigas de 25x90 cm, C) Suelo blando (BL) y vigas de 25x70 cm y D) Medianamente compacto (MC) y vigas de 25x70 cm. Microsoft Excel®



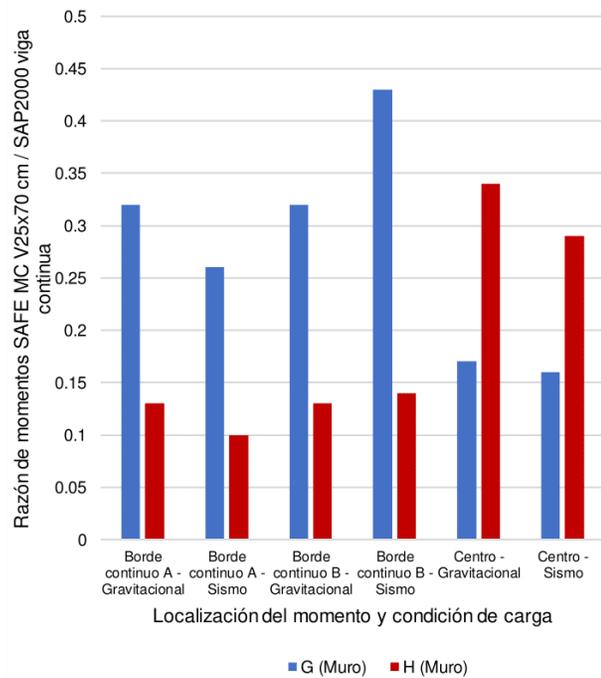
A)



B)



C)



D)

**Figura 42.** Comparación de los momentos en los bordes por cargas gravitacionales y sísmicas obtenidos con SAFE para las losas en una dirección con sus dos bordes continuos sobre los momentos obtenidos del análisis de viga continua de un metro de ancho en SAP2000 en: A) Suelo blando (BL) y vigas de 25x90 cm, B) Medianamente compacto (MC) y vigas de 25x90 cm, C) Suelo blando (BL) y vigas de 25x70 cm y D) Medianamente compacto (MC) y vigas de 25x70 cm. Microsoft Excel ®

# Comparación de cortantes

A continuación, se presentan los cortantes máximos obtenidos para cada modelo y método de análisis.

<b>TABLA 10. CORTANTES MÁXIMOS POR PANEL DE LOSA PARA EL EDIFICIO MARCO</b>		
<b>Losa</b>	<b>Cortante (ton/m)</b>	
	<b>Dirección</b>	
	<b>Lado largo</b>	<b>Lado corto</b>
<i>MC 25x90</i>		
A	14.2	7.9
B	12.4	7.9
C	12.9	9.7
D	10.0	12.7
<i>MC 25x70</i>		
A	14.6	8.4
B	13.3	8.2
C	13.8	9.9
D	10.1	13.7
<i>BL 25x90</i>		
A	14.8	7.5
B	12.0	7.3
C	13.9	10.4
D	10.5	11.7
<i>BL 25x70</i>		
A	15.2	8.1
B	13.0	7.6
C	14.8	10.6
D	10.6	12.7
<i>Método de coeficientes</i>		
A*	4.6	18.2
B	3.9	9.4
C	7.0	16.8
D	6.9	13.3

(\*) Para las losas en una dirección, los cortantes proporcionados por el método de coeficientes son los obtenidos en los apoyos del lado corto del panel. Esta nota aplica para las Tablas 11 y 12. **Fuente:** *Elaboración propia. Microsoft Excel®*

<b>TABLA 11. CORTANTES MÁXIMOS POR PANEL DE LOSA PARA EL EDIFICIO DUAL</b>		
<b>Losa</b>	<b>Cortante (ton/m)</b>	
	<b>Dirección</b>	
	<b>Lado largo</b>	<b>Lado corto</b>
<i>MC 25x90</i>		
A	14.0	12.9
B	8.4	6.7
C	7.4	7.5
D	5.6	7.5
<i>MC 25x70</i>		
A	15.0	13.1
B	8.9	7.0
C	7.4	7.0
D	5.8	7.9
<i>BL 25x90</i>		
A	15.0	13.0
B	8.3	6.4
C	7.8	8.1
D	7.4	6.2
<i>BL 25x70</i>		
A	15.9	13.2
B	8.9	6.7
C	7.8	8.3
D	6.2	7.9
<i>Método de coeficientes</i>		
A*	5.0	19.0
B	4.3	10.1
C	7.9	19.0
D	7.8	15.0

Fuente: *Elaboración propia. Microsoft Excel®*

**TABLA 12. CORTANTES MÁXIMOS POR PANEL DE LOSA PARA EL EDIFICIO MURO**

Losa	Dirección		Losa	Dirección	
	Lado largo	Lado corto		Lado largo	Lado corto
<i>MC 25x90</i>			<i>BL 25x90</i>		
A	6.8	6.2	A	6.7	7.5
B	11.4	12.0	B	11.3	12.0
C	10.1	10.0	C	10.0	10.3
D	12.7	15.5	D	13.0	5.6
E	12.3	12.6	E	12.5	12.5
F	8.6	9.4	F	8.6	9.4
G	1.4	5.6	G	1.4	5.6
H	6.6	1.9	H	6.7	1.6
I	10.8	10.4	I	10.0	10.0
J	11.9	9.5	J	12.0	9.5
<i>MC 25x70</i>			<i>BL 25x70</i>		
A	7.0	5.3	A	6.9	7.8
B	11.5	9.4	B	11.5	12.5
C	10.3	10.0	C	10.0	10.6
D	12.9	13.0	D	13.0	5.2
E	12.0	11.0	E	12.5	13.0
F	8.0	9.3	F	8.5	9.3
G	1.0	6.0	G	1.1	5.6
H	4.9	2.0	H	6.7	1.7
I	10.8	10.8	I	10.8	10.4
J	12.0	9.0	J	12.2	9.8
Losa	Dirección				
	Lado largo	Lado corto			
<i>Método de coeficientes</i>					
A*	9.2		18.0		
B	7.7		10.9		
C	4.7		13.2		
D	10.7		12.8		
E	11.1		7.9		
F	10.9		7.7		
G	7.7		7.7		
H	7.7		7.7		
I	4.8		13.4		
J	4.7		13.2		

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

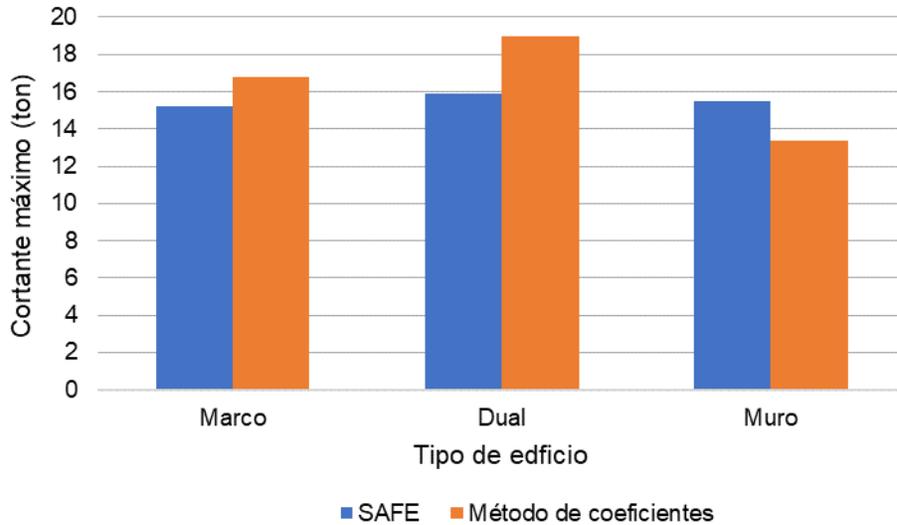


Figura 43. Comparación de los cortantes máximos obtenidos por tipo de edificio y según el método de análisis. Microsoft Excel®

## Diseño del acero de refuerzo

A continuación, se muestran las distribuciones de acero adicional a las mallas de refuerzo que se colocaron en todos los paneles de losa, las cuales fueron en barras #4 a cada 20 cm en ambas direcciones, tanto superior como inferior, en grado 40. El recubrimiento superior fue de 4

cm y el inferior de 5 cm. Para las barras No. 6 y mayores, se utilizó grado 60.

Aunado a esto, se agregaron imágenes con las concentraciones de momentos por el programa SAFE, las cuales se comparan con la distribución de los bastones adicionales resultantes del momento restante de la diferencia del que toman las mallas con el total experimentado por las losas. Los bastones azules representan el acero superior y los negros los inferiores.

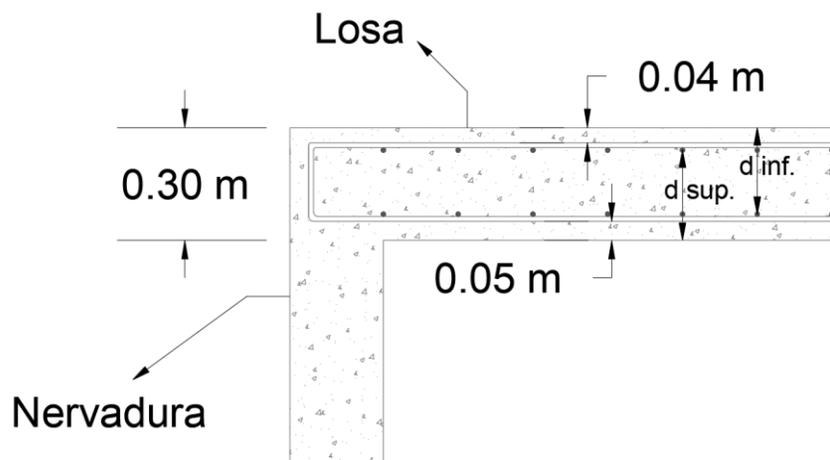


Figura 44. Detalle general de los recubrimientos superior e inferior y espesor de losa. AutoCAD®

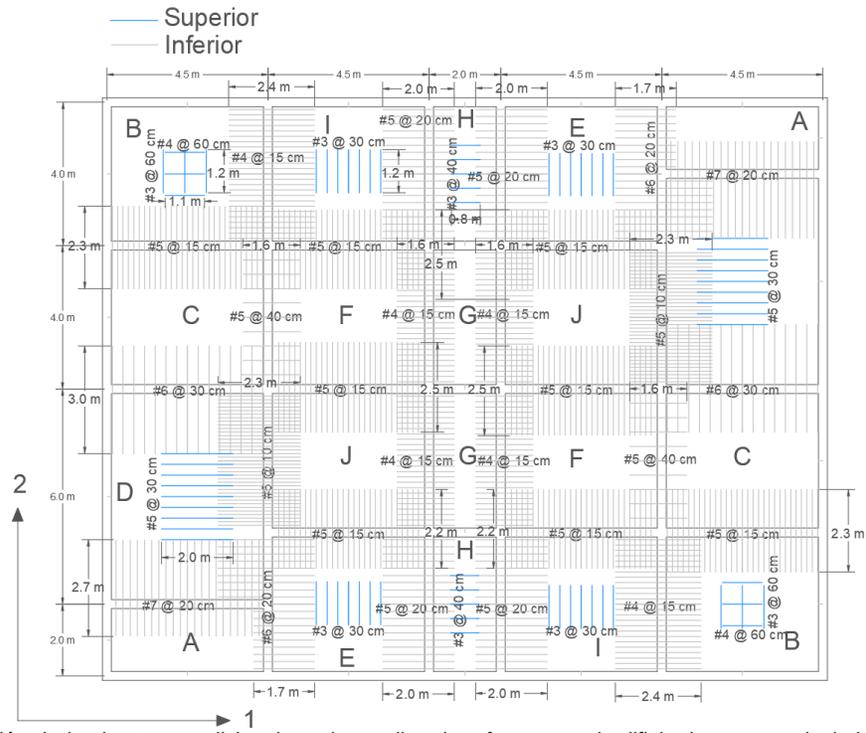


Figura 44. Distribución de los bastones adicionales a las mallas de refuerzo en el edificio tipo muro calculado por el método de los coeficientes. AutoCAD®

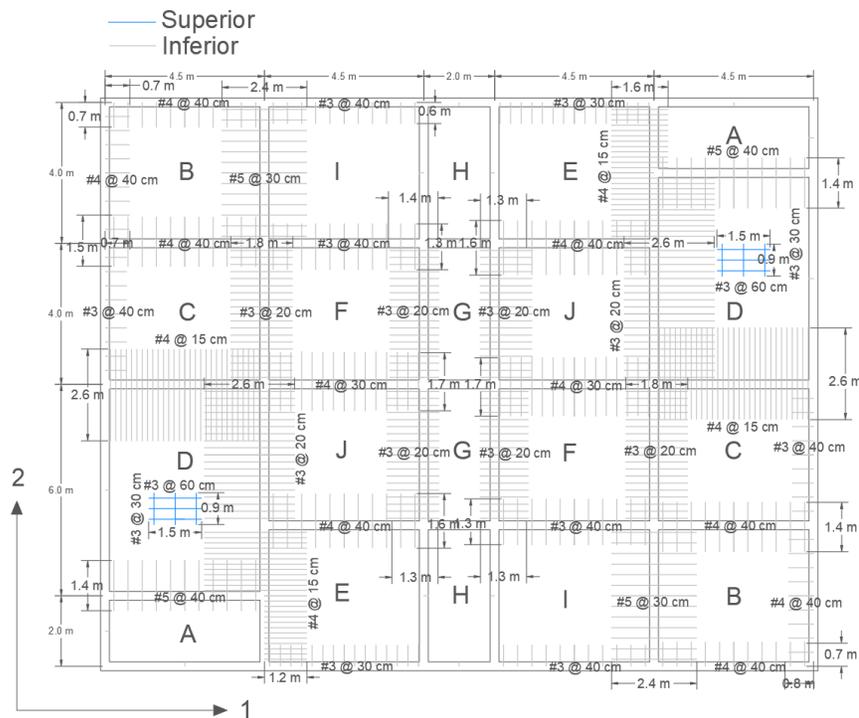
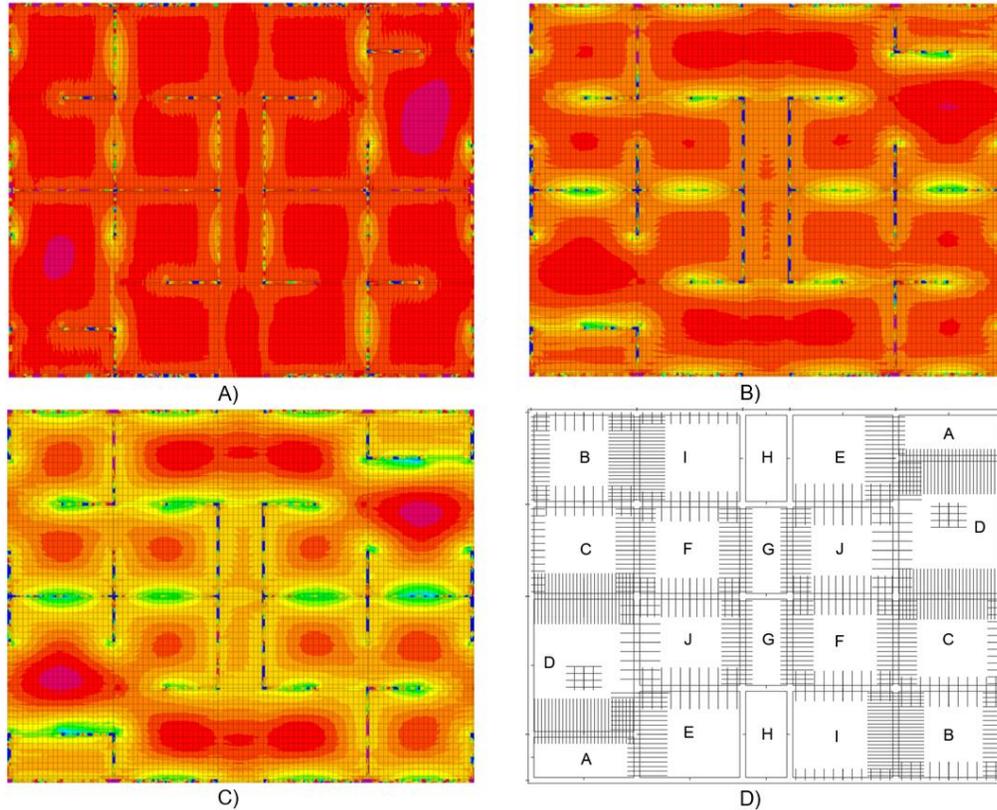
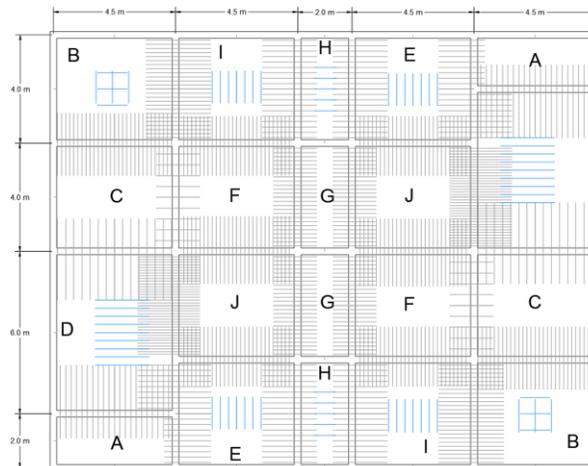


Figura 45. Distribución de los bastones adicionales a las mallas de refuerzo en el edificio tipo muro con vigas de 25x90 cm y sobre suelo medianamente compacto. AutoCAD®



**Figura 46.** Distribución de los momentos del programa SAFE para el edificio tipo muro con vigas de 25x90 cm y sobre suelo medianamente compacto. A) Concentración de momentos en los bordes verticales. B) Concentración de momentos en los ejes horizontales. C) Concentración de momentos en el centro de los paneles. D) Distribución de acero adicional a la malla de refuerzo. SAFE v16®



**Figura 47.** Distribución de bastones adicionales para el edificio muro diseñado por el método de coeficientes. AutoCAD®

En la Figura 46 se puede notar el cambio en las concentraciones de esfuerzos entre los bordes con muros y los que no. Además, se aprecian las

diferencias en el acero de refuerzo obtenido por el método de coeficientes con el computacional.

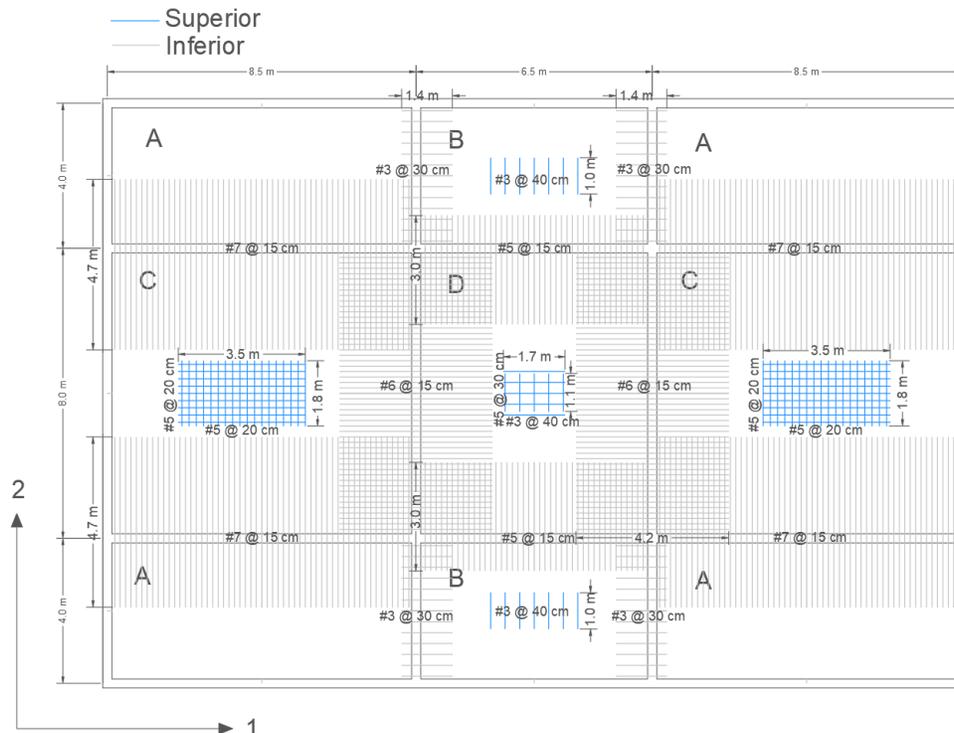


Figura 48. Distribución de los bastones adicionales a las mallas de refuerzo en el edificio tipo marco calculado por el método de los coeficientes. AutoCAD®

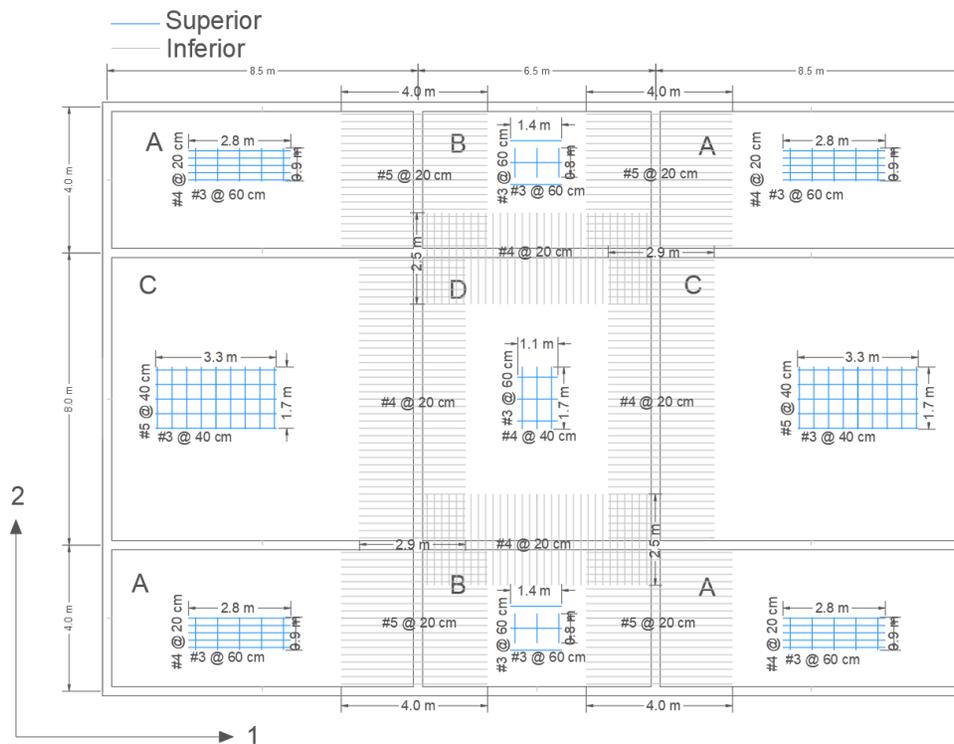
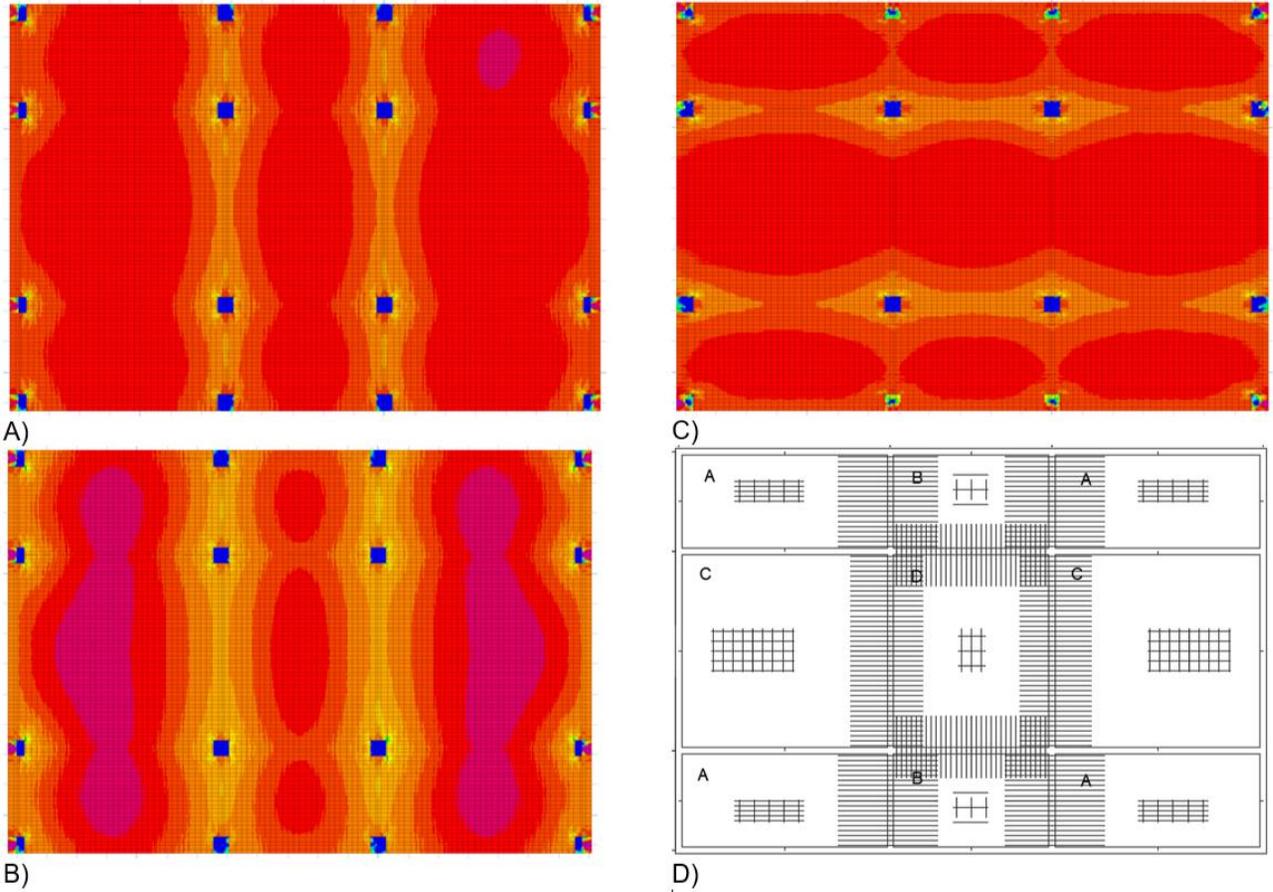
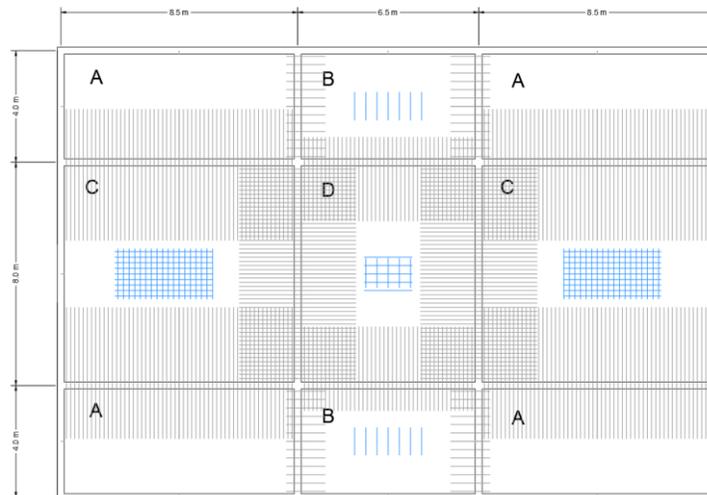


Figura 49. Distribución de los bastones adicionales a las mallas de refuerzo en el edificio tipo marco con vigas de 25x90 cm y sobre suelo medianamente compacto. AutoCAD®



**Figura 50.** Distribución de los momentos del programa SAFE para el edificio tipo marco con vigas de 25x90 cm y sobre suelo medianamente compacto. A) Concentración de momentos en los bordes verticales. B) Concentración de momentos en los ejes horizontales. C) Concentración de momentos en el centro de los paneles. D) Distribución de acero adicional a la malla de refuerzo. SAFE v16 ®



**Figura 51.** Distribución de bastones adicionales para el edificio marco diseñado por el método de coeficientes. AutoCAD ®

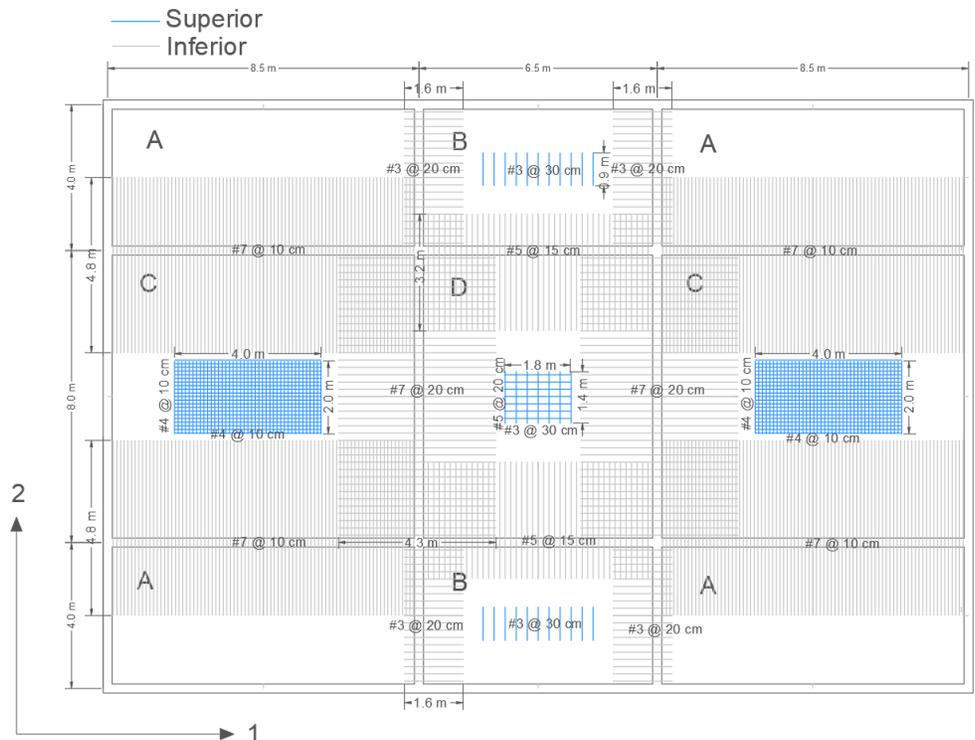


Figura 52. Distribución de los bastones adicionales a las mallas de refuerzo en el edificio tipo dual calculado por el método de los coeficientes. AutoCAD®

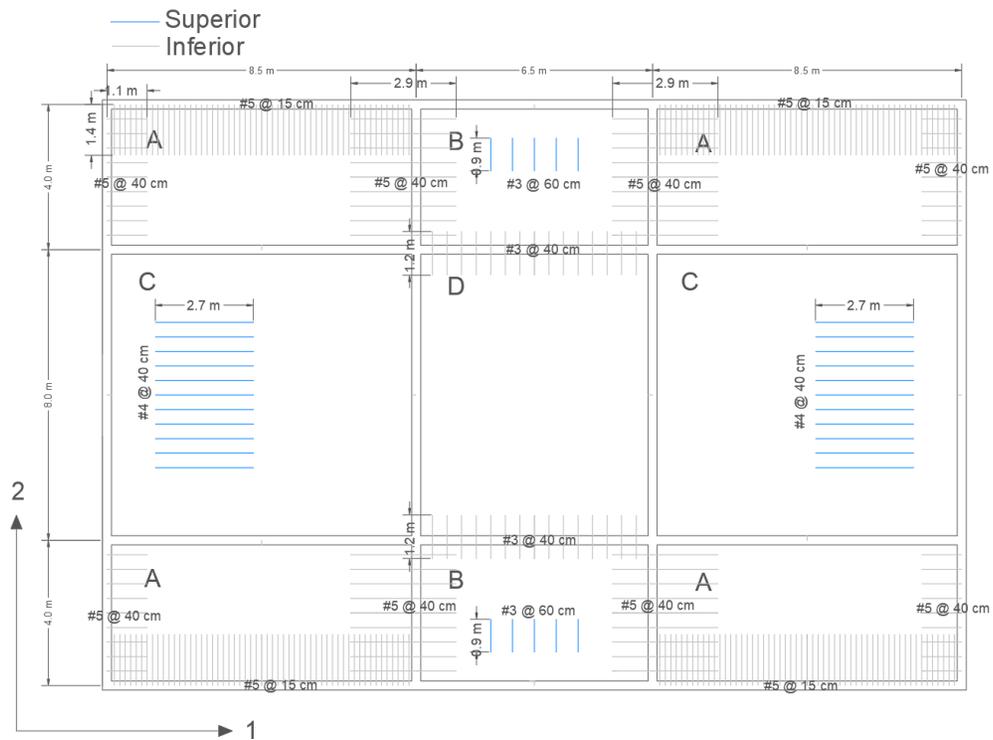
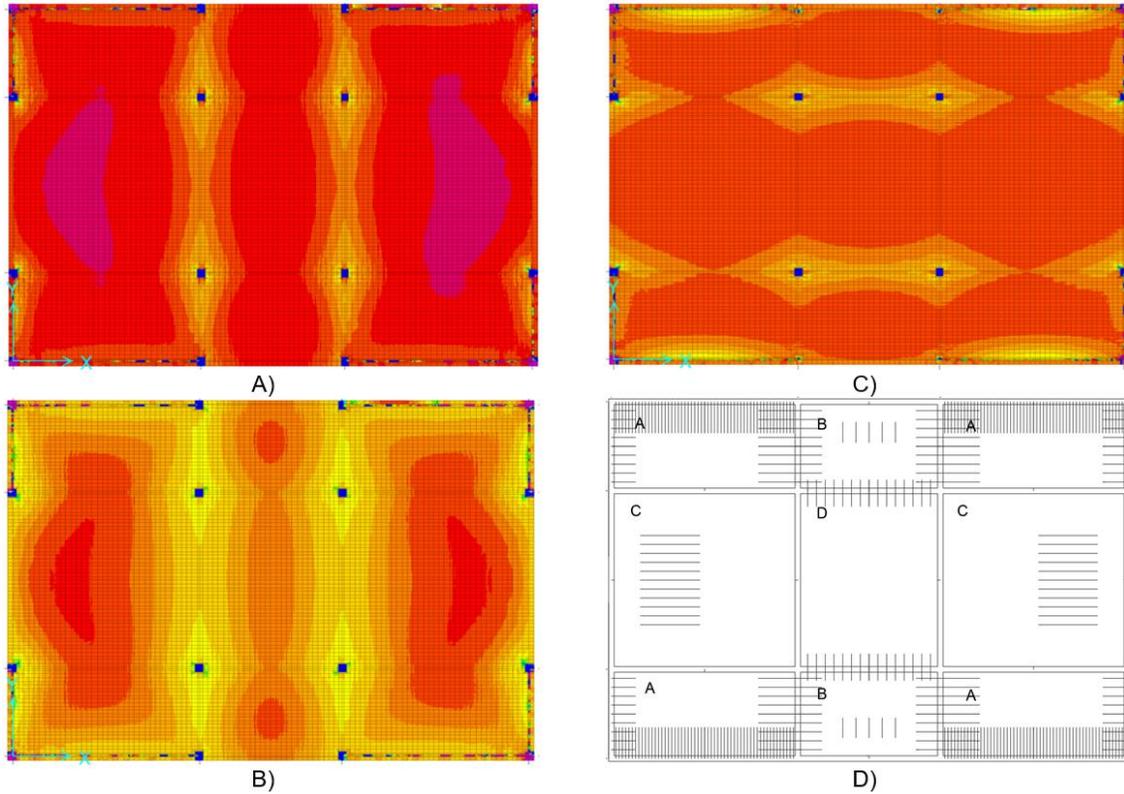
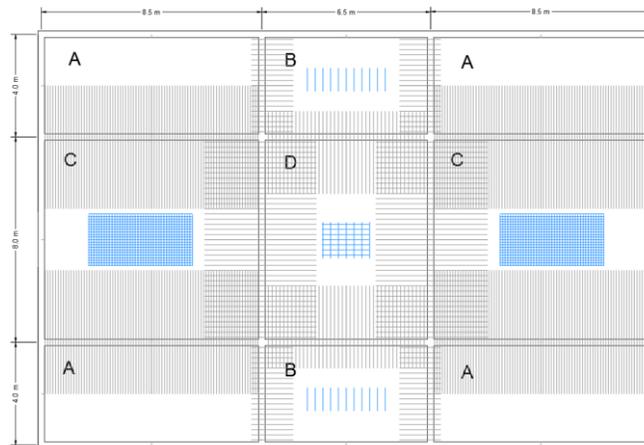


Figura 53. Distribución de los bastones adicionales a las mallas de refuerzo en el edificio tipo dual con vigas de 25x90 cm y sobre suelo medianamente compacto. AutoCAD®



**Figura 54.** Distribución de los momentos del programa SAFE para el edificio tipo dual con vigas de 25x90 cm y sobre suelo medianamente compacto. A) Concentración de momentos en los bordes verticales. B) Concentración de momentos en los ejes horizontales. C) Concentración de momentos en el centro de los paneles. D) Distribución de acero adicional a la malla de refuerzo. SAFE v16 ®



**Figura 55.** Distribución de bastones adicionales para el edificio marco diseñado por el método de coeficientes. AutoCAD ®

Puede observarse que la colocación del acero adicional corresponde con las intensidades registradas en el programa. En los bordes es notoria la concentración de esfuerzos donde

existen muros y se observa que los momentos en el centro de las losas no se concentran en el centro geométrico de los paneles, sino que tres de estos paneles parecieran formar una sola losa.

## Comparación económica

Se presentan seguidamente los costos en colones costarricenses por concepto del acero de refuerzo en las losas de cimentación únicamente. En cada una, se muestra el costo según las características del edificio y el método de análisis. Además, aparecen por separado el peso de las mallas superior e inferior colocadas en las losas y la de los bastones adicionales a estas. Con estos datos, se calculó el peso total de acero de refuerzo por volumen de la losa en metros cúbicos.

En la Figura 56, se muestra una comparación gráfica de la diferencia en peso por unidad de volumen de losa para cada edificio.

Modelo	Peso bastones (kg)	Peso malla (kg)	Peso por volumen (kg/m <sup>3</sup> )	Costo
MC 25x70	814.5	6785	79.16	₡3,860,123
MC 25x90	708.6		78.06	₡3,806,425
BL 25x70	715.0		78.13	₡3,809,342
BL 25x90	708.9		78.06	₡3,807,327
Método coeficientes	2978.1		101.70	₡4,986,767

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ©

Modelo	Peso bastones (kg)	Peso malla (kg)	Peso por volumen (kg/m <sup>3</sup> )	Costo
MC 25x70	954.6	7760	77.3	₡4,429,997
MC 25x90	1006.1		77.7	₡4,455,014
BL 25x70	1371.5		80.9	₡4,642,653
BL 25x90	1262.8		80.0	₡4,589,061
Método coeficientes	4774.5		111.1	₡6,450,636

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ©

Modelo	Peso bastones (kg)	Peso malla (kg)	Peso por volumen (kg/m <sup>3</sup> )	Costo
MC 25x70	859.4	7760	76.4	₡4,382,656
MC 25x90	807.6		75.9	₡4,355,872
BL 25x70	1057.5		78.2	₡4,483,013
BL 25x90	1005.9		77.7	₡4,457,301
Método coeficientes	6738.5		128.5	₡7,479,318

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ©

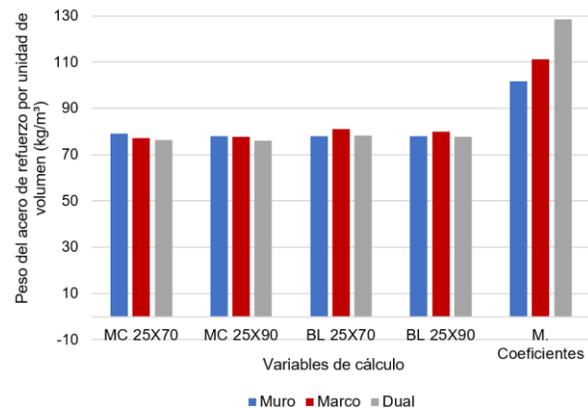
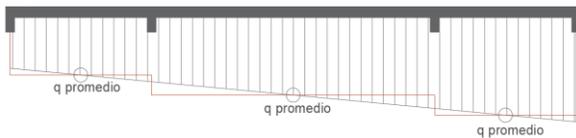


Figura 56. Pesos del acero de refuerzo por unidad de volumen de la losa para cada tipo de edificio según sus características y método de diseño. Microsoft Excel ©

# Análisis de los resultados

## Comparación de momentos

Con respecto a la obtención de los momentos por el método de coeficientes para las losas en dos direcciones, se identificó como limitante que dicho método únicamente analiza paneles con cargas uniformemente distribuidas. Por esta razón, para las combinaciones que involucraron el efecto del sismo, se decidió asignar el promedio de las presiones del suelo en forma escalonada, según se muestra en la Figura 57.



**Figura 57.** Asignación promediada de las cargas debidas a las combinaciones con el efecto del sismo para paneles de losa. AutoCAD®

Además, a pesar de la existencia de otras tablas de coeficientes para la obtención de los momentos de losas en dos direcciones y cargas triangulares, las de Bares (1979), que se manejan usualmente en el diseño de tanques, se decidió descartarlas; pues, los casos de posición de la carga con respecto a la continuidad de la losa no fueron compatibles con la mayoría de los paneles en estudio. Dicho esto, se recurrió a analizar las cargas derivadas de las combinaciones tres y cuatro del CSCR-2010, tal como se representó en la Figura 49.

En las Figuras 31, 32, 33, 34 y 35 de los resultados, se tiene la comparación de las razones de los momentos obtenidos con el programa SAFE® sobre los del método de coeficientes del ACI-318 de 1963, entre paneles con tres y cuatro lados continuos, identificados con el edificio al que pertenecen y si incluye o no el efecto del sismo. Pudo observarse que los valores obtenidos por el programa, generalmente,

tienden a ser menores que los del método de coeficientes. Sin embargo, esto no permite indicar que dicho método sea conservador; pues, se observaron zonas en las que no se cubrió el momento real experimentado por la losa, el cual, en algunos casos, sobrepasó hasta un 100% más de lo calculado por el método.

Además, pudo notarse en las Figuras 33 y 34 que el momento en los bordes de las losas con nervaduras de 90 cm fue mayor que para aquellas con nervaduras de 70 cm. Esto ocurrió debido a que las primeras cuentan con una mayor rigidez, por lo que toman mayor carga, lo cual evidenció una ligera variación en la distribución de los momentos.

De acuerdo con Nilson (1999), el método de coeficientes se basa en apoyos infinitamente rígidos; además, el mismo método establece un peralte mínimo para las vigas de apoyo, el cual debe ser de al menos tres veces el espesor de la losa, tal como se mencionó en el apartado del marco teórico. Esto concuerda con el comportamiento observado en las Figuras 33 y 34, donde se pudo apreciar que las razones para los momentos en los bordes de las losas apoyadas sobre vigas de 90 cm tienden a acercarse más a la unidad que para aquellas apoyadas sobre las de 70 cm. Esto a su vez tuvo como resultado una mayor concentración de carga hacia los bordes de las losas y por ende los momentos se incrementaron en estas zonas.

Con base en el concepto de la rigidez a flexión, la cual se define como  $EI/L$  y como la capacidad de un elemento a resistir esfuerzos de flexión oponiéndose al mismo tiempo a la deformación, puede explicarse que cuanto mayor sea el momento de inercia ( $I$ ) del elemento, consecuentemente lo será su rigidez y así, los momentos que pueda tomar, lo cual quiere decir que entre dos elementos, siendo uno más rígido que el otro, el primero será capaz de soportar mayores cargas y en consecuencia, mayores momentos que el segundo, lo cual explica la

forma en la que se distribuyen las cargas en toda la losa.

En cuanto a magnitudes, los momentos en el sentido 2 en los bordes fueron aproximadamente un 50% menores que los calculados por el método de los coeficientes y de 10% a 20% menores para la dirección 1, tal como puede observarse en la Figura 36.

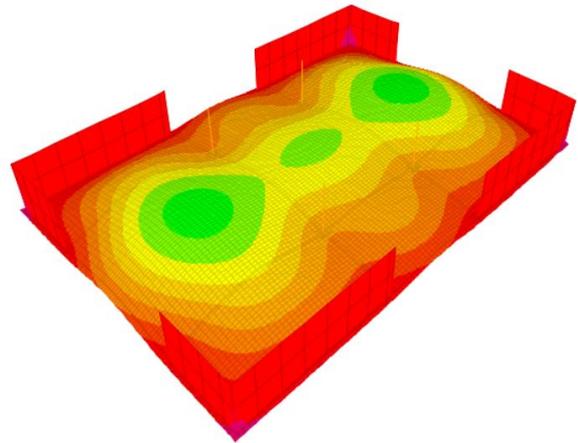
Además, se identificó que para las combinaciones con sismo la relación perdió más cercanía, debido a la distorsión que se generó por la convención de utilizar presiones promedio escalonadas en los paneles según la dirección de la carga lateral. También, con base en el Apéndice 3, en el cual se muestran los momentos obtenidos por combinación de carga para ambos métodos, pudo observarse que el caso de carga envolvente, de acuerdo con el programa SAFE®, fue la combinación dos, por cargas gravitacionales.

Con respecto al comportamiento en el centro de las losas, para aquellas con continuidad en todos sus lados, se observó en la Figura 36 que los momentos fueron menores en un 20% a los obtenidos por el método de coeficientes; además, para las que pierden continuidad en uno de sus bordes, fueron 30% menores en la dirección 2 y 10% mayores en la dirección 1. Aunado a esto, con la rigidez actual en los apoyos, la ubicación de los momentos no fue en el centro geométrico de los paneles de losa, especialmente en aquellos con bordes discontinuos.

Pudo notarse, en el edificio marco y dual, que la deformación de todo el sistema de losa no ocurrió de forma independiente para cada paño, tal como lo supone el método de coeficientes. Es decir, en dicho método no se contempla el desplazamiento vertical de los apoyos; pues este los supone con una rigidez ideal o aproximada. Sin embargo, en la realidad estos desplazamientos de los elementos de apoyo en losas de fundación sí suceden y en ciertos casos la presión del suelo logra vencer las reacciones de estos.

A lo anterior, se suma su diferencia en rigidez con respecto a la supuesta por el método de coeficientes, lo cual provocó que un panel de losa y sus adyacentes se deformaran como si fueran una sola losa (Ver Figura 58); es decir, las vigas de nervadura no ejercieron suficiente restricción y también se deformaron con ellos. Debido a que la curvatura de un elemento está

definida en proporción al momento, cuando los paneles de losa no se deforman idealmente como en el método simplificado, la distribución del momento cambia.



**Figura 58.** Deformación de la losa de cimentación para el edificio dual con vigas de 25x90 cm sobre arcilla de consistencia media y medianamente compacta. SAFE®.

De acuerdo con el comportamiento en general de la losa de fundación, se determinó como una cimentación flexible debido a la forma en la que se distribuyeron las cargas sobre ella. En el caso de las cimentaciones rígidas, dicha distribución se desarrolla siguiendo con mayor precisión el modelo idealizado para elementos rígidos. Sin embargo, como se ha analizado, las cargas no siguieron la distribución supuesta por la hipótesis de linealidad desarrollada para elementos infinitamente rígidos. Con lo anterior se pudo notar que la rigidez global de la estructura no fue suficiente para que tal distribución de cargas se desarrollara de acuerdo con el modelo de linealidad y que para ello se hubiese requerido aumentar los momentos de inercia de los apoyos o de toda la losa.

Referente a la Figura 37, en donde se muestran factores de corrección para los momentos obtenidos a partir del método de coeficientes para losas en dos direcciones, se observó que conforme aumentó el momento de inercia de las vigas de nervadura, los modelos diseñados en SAFE® lograron alcanzar los valores calculados por el método de coeficientes.

Para el edificio tipo muro no fue necesario un aumento significativo. Esto se debió a que los muros inmediatos a la losa de cimentación aportan mucha rigidez a todo el sistema y aquellos paneles de losa que cuentan con muros en todo su borde representaron mejor

la rigidez supuesta por el método en estudio. Por otro lado, a pesar de que los muros aportan gran rigidez al sistema, esto también significa que dicha rigidez es equivalente entre apoyos; es decir, que no existen zonas excesivamente más rígidas que las adyacentes a estas. De lo contrario, se podrá observar un comportamiento similar al del edificio dual, observado en la Figura 37, de la cual se infiere que los momentos de inercia de los apoyos debieron ser excesivos para poder equipararlos con los del método de coeficientes.

Los coeficientes de corrección obtenidos en la Figura 37 son solamente indicadores que permiten apreciar con mayor facilidad la diferencia en magnitudes de los momentos obtenidos. Como se ha mencionado, las diferencias entre los resultados son originadas principalmente por la rigidez de toda la estructura y la configuración que exista en el sistema, lo cual varía de edificio a edificio. Sin embargo, permiten darle una idea al proyectista de cuánto es la afectación aproximada por la variación en la rigidez que supone el método de coeficientes y lo que puede aportar la superestructura con la cual cuenta la obra.

Debido a la variabilidad entre los resultados, se procedió con la realización de una regresión factorial de las variables: tipo de edificio, suelo y viga en el programa denominado MiniTab®. En la Figura 38 se muestra un diagrama de Pareto, el cual indica el grado de significancia de cada una de las variables en la correlación de los momentos obtenidos por SAFE® con los momentos del método de coeficientes.

Pudo observarse que el factor más importante es el tipo de estructura, el cual supera el grado de significancia mencionado. Aunque la variación en el tipo de viga no superó este parámetro, esta es la segunda variable más importante. Además, puesto que únicamente se modelaron vigas con solo dos diferentes peraltes y al ser estos valores muy similares (90 y 70 cm), la variación en la afectación de cada uno no pudo apreciarse mejor.

Por otro lado, en la Figura 39 se representa la interacción entre dichas variables. Puede notarse, de derecha a izquierda, que para los tres tipos de estructuras la variación en la rigidez del suelo no fue significativa; en cambio, con la variación en la rigidez de los apoyos, los edificios marco y dual se correlacionaron mejor a

los valores del método de coeficientes. Para el edificio muro, tal variación no tuvo ningún efecto importante.

Con respecto al suelo, para el edificio dual, fue indiferente el estar soportado por un suelo blando o medianamente compacto. Además, el edificio muro y marco apenas variaron sus pendientes. Lo anterior también se repite al comparar vigas de 70 y 90 cm sobre el mismo suelo.

Para la variante de las vigas, se pudo notar que las de 90 cm llevaron a una mejor correlación de los datos con los del método convencional, aunque para el edificio muro no tuvo mayor afectación debido a su ya alta rigidez proporcionada por los muros estructurales. Nuevamente, se observó que la variación en el tipo de suelo no fue importante.

Para las losas en una dirección, se tuvo que la asunción basada en la premisa de que las cargas se reparten en forma idealizada hacia la dirección corta de la losa, no se cumple necesariamente cuando la rigidez de los apoyos es incongruente con lo que supone el método. En las Figuras 40, 41 y 42, se observó que el asumir a este tipo de losas como vigas continuas con un metro de ancho no fue aproximado a lo que se obtuvo a partir del programa SAFE. Las relaciones entre los momentos se dispararon y evidenciaron que la configuración de las losas adyacentes, junto con la rigidez en los apoyos, afectó la repartición de las cargas.

Además, se observaron en estas mismas figuras la existencia de momentos con signos opuestos a los esperados, principalmente en el edificio dual. Esto se debió a la diferencia de rigidez entre los apoyos, es decir, el diagrama de momentos parte de un punto de apoyo muy rígido con respecto al apoyo adyacente a este, como resultado, el momento que el primero toma es lo suficientemente grande como para que la distribución de los momentos, al llegar al siguiente apoyo, no consiga invertirse y continúe a la losa adyacente.

Por otro lado, referente a las Figuras 40, 41 y 42, se observó que las losas en una dirección modeladas en SAP2000 despreciaron el efecto de las losas adyacentes a estas, lo cual se notó en las magnitudes obtenidas del SAFE, es decir, la afectación que sufrieron las losas adyacentes por cuestiones de rigidez y en la distribución de las cargas, también modificó el comportamiento de las losas en una dirección.

## Comparación de los cortantes

Con respecto al método de coeficientes para losas en dos direcciones, el cortante máximo obtenido para el edificio tipo muro fue de 13 toneladas y por el programa SAP2000 para las losas en una dirección, fue de 17 ton. Para el edificio marco, fue de 17 ton para las losas en dos direcciones y de 18 para las de una dirección; en cambio, para el dual fueron de 19 y 18.9 ton, en el mismo orden. Por esto, de acuerdo con la ecuación 8 del ACI-318 (2014), se obtuvo el espesor de 30 cm para soportar 20 ton/m causadas por esfuerzos cortantes.

Al compararlos con los esfuerzos cortantes en las losas obtenidos del programa SAFE, los cuales se muestran en las Tablas 10, 11 y 12, se evidenció que los resultados son similares entre sí. En la Figura 43, se tiene una comparación gráfica entre los cortantes del método de coeficientes y los obtenidos mediante el programa SAFE.

Las magnitudes en los cortantes de acuerdo con la dirección larga o corta del panel de losa no siguen la repartición idealizada que toma el método de coeficientes, es decir, para esta metodología convencional en estudio se pudo observar en las tablas de los cortantes que las mayores magnitudes se dirigen en la dirección corta, mientras que en el programa sucede lo contrario. Nuevamente, la distribución de la rigidez en la planta de todo el sistema de cimentación es la principal causa de dicha diferencia.

## Distribución del acero de refuerzo

A pesar de que se ha demostrado que el método de coeficientes tiende a ser conservador en algunos casos, también fue posible notar que no considera la rigidez que pueden aportar los elementos verticales como los muros. De acuerdo con el método de los coeficientes y en el ACI-318 (1963), se indica que se tome un tercio del momento positivo para los bordes discontinuos. Sin embargo, se obtuvieron momentos mayores en los bordes donde existen muros debido a la

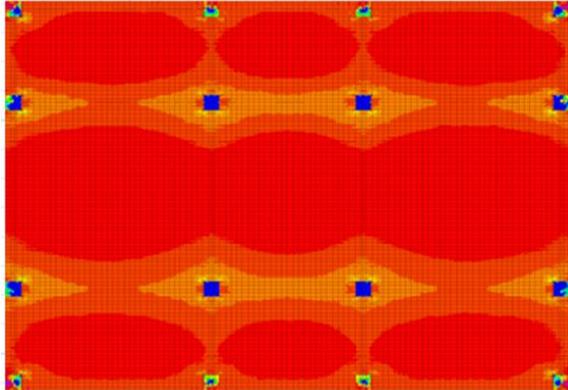
rigidez y restricción que aportan estos elementos, lo cual se es congruente con la continuidad en la losa.

En las Figuras 46, 47, 54 y 55, se evidenció que el diseño realizado a partir del método de coeficientes quedó rezagado en cuanto al acero de refuerzo necesario para bordes discontinuos en losas. Además, se pudo observar que la distribución del refuerzo en los bordes continuos fue más extensa por medio de este método y se requirió el uso de barras de acero de mayor grado y diámetro para cubrir el momento adicional.

En las mismas figuras, se muestra la concentración de los momentos obtenidos a partir del SAFE, el cual demostró que existe una importante consideración de esfuerzos en los bordes discontinuos de las losas con muros. También, se evidencian las concentraciones en los bordes continuos, las cuales coincidieron con la distribución del acero de refuerzo desarrollado con las cargas proporcionadas por el programa. Además, el número máximo de barra de refuerzo utilizada en el diseño con el programa SAFE fue de #5 (15.88 mm), mientras que en el método de coeficientes fue de #7 (22.22 mm).

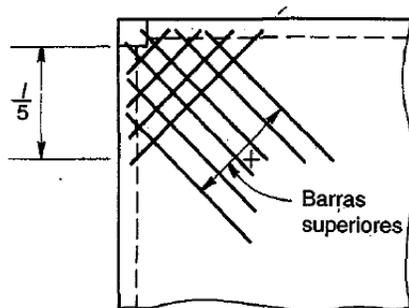
En el Apéndice 5, se presenta la distribución del acero de refuerzo adicional para las losas restantes que no se muestran en el capítulo de Resultados. En este apartado pudo observarse que, para el edificio dual y marco, al hacer el cambio de suelo medianamente compacto a blando, el requerimiento de bastones adicionales superiores se incrementó, lo cual evidenció que la rigidez del suelo también interfiere en cierto grado sobre la distribución de las cargas en la losa.

Con respecto a las Figuras 50, 51, 54 y 55, pudo observarse que en los puntos de carga de columnas se genera una concentración de momentos importante, la cual provoca una torsión en las esquinas de las losas que debe ser tomada por barras diagonales.



**Figura 59.** Concentración de momentos en las esquinas de las losas. SAFE®.

De acuerdo con Nilson (1999), se indica la colocación de acero en la dirección de la diagonal de la losa y perpendicular a esta para las esquinas exteriores de losa; sin embargo, pudo apreciarse que no necesariamente se desarrolla solo en estos puntos, sino que también en aquellos con concentraciones de carga en donde convergen cuatro o dos esquinas de losa. En la Figura 60, se muestra una sugerencia para la colocación de dicho refuerzo especial.



$l =$  Luz libre mayor

**Figura 60.** Refuerzo especial en las esquinas de borde de losas en dos direcciones apoyadas sobre vigas. Copyright 1999, Nilson, A.

## Comparación económica

En las Tablas 13, 14 y 15 y en la Figura 56 se observó la diferencia entre peso y costo del acero de refuerzo de acuerdo con las características de diseño. Pudo notarse que el método de coeficientes fue mayor en todos los tipos de edificio. Cabe recalcar que los datos obtenidos corresponden únicamente a las losas de

fundación, es decir, las vigas de nervadura no están incluidas dentro del cálculo debido a que el fin del proyecto estaba enfocado en la comparación de losas solamente.

Para el edificio dual, el costo obtenido a partir del método en estudio fue de un 60% con respecto al costo promedio de los cuatro casos modelados para el mismo tipo de edificación. Para el marco, fue de un 70% del promedio y para el muro, de un 77%. Es evidente notar que para este último el costo final fue relativamente más representativo del costo real; pues, esta estructura fue la que mejor se aproximó a los valores obtenidos por el método de coeficientes; nuevamente, por su mayor rigidez con respecto a las otras estructuras.

# Conclusiones

1. Para una distribución de momentos calculada por el método de coeficientes deben construirse apoyos suficientemente rígidos o, en dado caso, un espesor de losa mayor, lo cual lo convierte en un método costoso y poco práctico en términos constructivos.
2. El sistema de losas utilizado representó un modelo de losa flexible de acuerdo con la forma en la que se distribuyeron los momentos y las presiones del suelo, por lo cual, evidentemente, la losa no es del tipo rígida siendo esta última opción muy costosa en términos económicos.
3. El tipo de estructuración del edificio es significativamente importante debido a su aporte de rigidez en el sistema de fundación.
4. El método de coeficientes no considera las rigideces de todo el conjunto de elementos que conforman la losa de cimentación ni la estructura en general y toma una distribución de momentos conveniente a la suposición de apoyos infinitamente rígidos.
5. Las rigideces de las vigas de nervadura, convenientemente, deben ser equivalentes entre sí para propiciar una distribución uniforme de las presiones y, por ende, de momentos.
6. En los bordes de losa discontinuos donde existan muros, se puede suponer continuidad generada por la restricción y rigidez que estos elementos aportan.
7. El efecto del suelo sobre la estructura no fue un factor significativo en la distribución de presiones del edificio. Esto puede explicarse por la magnitud del intervalo entre las capacidades soportantes seleccionadas, el cual fue de 8 a 14 ton/m<sup>2</sup> y que correspondían a un mismo tipo de suelo: arcilla media.
8. Los cortantes máximos obtenidos por el método de coeficientes fueron aproximados a los del programa SAFE®, por lo tanto, no fue necesaria su corrección. De esto, se infirió que las secciones de las estructuras analizadas por dicho método no sufren de fallas por cortante, las cuales producen afectaciones significativas sobre el edificio.
9. El método de coeficientes no contempla la combinación de losas en una y dos direcciones en el sistema en planta de la estructura.
10. El programa SAFE® calcula con mayor exactitud la forma en que se distribuyen las cargas sobre el suelo, lo cual influye directamente en el comportamiento de las losas, por lo tanto, con SAFE® se analiza de una forma más aproximada a la realidad la interacción suelo-estructura.
11. El método de coeficientes considera los momentos en el centro, sin embargo, esta suposición se ve alterada debido a las rigideces de la estructura, lo cual provoca que la ubicación de los momentos tienda a desplazarse del centro geométrico del panel.
12. El SAFE® corrobora que es necesaria la colocación de acero diagonal en esquinas donde ocurre torsión en las losas, principalmente en puntos de carga en columnas. En los casos donde existe muro este efecto se despreció debido a que, por su rigidez, estos impiden la torsión de las losas.
13. Para configuraciones en planta que incluyan losas en una y dos direcciones adyacentes entre sí, las primeras tienden a comportarse como losas en dos direcciones debido al cambio abrupto en el sistema y a la rigidez que aportan elementos circundantes a los apoyos de estas.
14. La distribución en el acero de refuerzo del método de coeficientes fue más extensa, pero no la adecuada. Se despreciaron zonas con requerimiento de acero adicional; por ejemplo, los bordes discontinuos. Además, se sobrecargaron otras.
15. El costo del edificio dual fue de un 60% de lo calculado con el método de coeficientes. Para el edificio marco, fue de un 70% y para el muro, de un 77%.

16.El uso del método de coeficientes para el análisis y diseño de losas de fundación se concluyó como inadecuado puesto que la estructura debe ser lo suficientemente rígida para encontrar una distribución de presiones similar a la hipótesis de linealidad expuesta en el marco teórico y la cual se basa en cimentaciones rígidas; es decir que, en el caso de aquellas del tipo flexibles, la distribución de dichas presiones será distinta y por ende los momentos también. Por lo tanto, para obtener valores similares a los calculados con el método de coeficientes, la losa de cimentación debe tener peraltes elevados para ser considerada rígida, que es la situación ideal considerada por dicho método y lo cual lo hace costoso en términos económicos.

# Recomendaciones

- Se sugiere continuar con el estudio mediante la modelación de más losas de cimentación con diferentes configuraciones para cada tipo de estructura planteada a fin de proporcionar posibles factores de corrección de los momentos obtenidos por el método de coeficientes.
- Para que el presente informe pueda ser utilizado como referencia en proyectos que cuentan con terrenos de baja capacidad soportante, se recomienda realizar un mejoramiento del suelo para equiparar su capacidad a las utilizadas en el trabajo.
- Para el edificio dual, es preferible realizar modelos con muros distribuidos en el interior de la planta de fundación, puesto que el caso en estudio puede tomarse como especial debido a su particular configuración.
- Se recomienda manejar luces cortas para las vigas de nervadura con el fin de no afectar significativamente su rigidez a la flexión, la cual es inversamente proporcional al largo del elemento.
- En bordes discontinuos donde converjan muros estructurales, se sugiere tomarlos como continuidad en la losa.
- Para capacidades de suelo elevadas, en los casos particulares donde se requiera la colocación de una losa de cimentación, es preferible estudiar el comportamiento del método, pues la rigidez del medio soportante provoca una distribución de presiones distinta a un medio flexible.
- Es preferible ampliar el rango de capacidades soportantes y los tipos de suelo para definir con mayor precisión su grado de injerencia en la distribución de las cargas. Lo mismo aplicaría para los momentos de inercia para las vigas de nervadura.
- No se recomienda el uso del método de coeficientes para el diseño de losas de fundación a menos de que estas sean lo suficientemente rígidas para contemplar una distribución de presiones uniforme.

# Apéndices

## **Apéndice 1:**

Cálculo de espesores mínimos de losa según el ACI-318 (2014) y sus verificaciones por cortantes y deflexiones máximas.

## **Apéndice 2:**

Momentos máximos obtenidos con ambos métodos de cálculo.

## **Apéndice 3:**

Cálculo de razones entre los momentos por combinación.

## **Apéndice 4:**

Gráficos de comparación de las razones obtenidas a partir del programa SAFE sobre el método de coeficientes.

## **Apéndice 5:**

Diseño del acero de refuerzo para las losas de fundación.

# Anexos

## **Anexo A:**

Cuadro de coeficientes para losas en una dirección y vigas continuas.

## **Anexo B:**

Tablas de coeficientes para losas en dos direcciones.

# Referencias

- ACI Comité 318. 2014. **BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR REINFORCED CONCRETE.** Detroit: American Concrete Institute.
- ACI Comité 318. 1963. **BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR REINFORCED CONCRETE.** Detroit: American Concrete Institute.
- Asociación Costarricense de Geotecnia. 2009. **CÓDIGO DE CIMENTACIONES DE COSTA RICA.** Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Bowles, J. 1997. **FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN.** Illinois: McGraw-Hill Companies.
- Carranza, M. 2019. **DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES LINEALIZADA Y REPARTICIÓN DE LAS CARGAS CONFORME A LA RIGIDEZ DE LOS ELEMENTOS.** Curridabat, AESA S.A. Comunicación personal.
- Chaverri, A. 2019. **CONSIDERACIÓN DE RIGIDECES DEL MÉTODO DE COEFICIENTES.** Cartago, Tecnológico de Costa Rica. Comunicación personal.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. 2010. **CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA.** Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Jiménez, P., García, A. & Morán, F. 2000. **HORMIGÓN ARMADO.** España: Editorial Gustavo Gili.
- McCormac, J. & Brown, R. 2011. **DISEÑO DE CONCRETO REFORZADO.** México: Alfaomega Grupo Editor.
- Nilson, A. 1999. **DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO.** Colombia: Editorial McGraw-Hill Interamericana.
- Park, R. & Paulay, T. 1988. **ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.** México: Editorial Limusa.
- Rodríguez, J. et al. 1989. **CURSO APLICADO DE CIMENTACIONES.** Madrid, España: Graficincó.

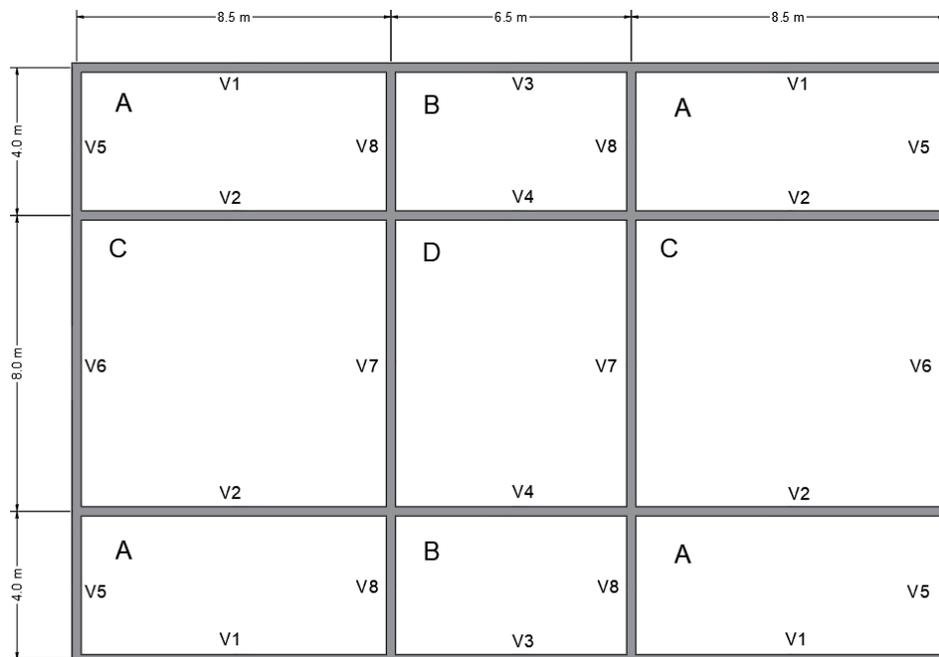
# ***Apéndices***

# Apéndice 1

Inicialmente, para comenzar con el diseño de las losas, se predispuso de un espesor con base en la ecuación 5 expuesta en el capítulo del marco teórico, en la que se divide el perímetro del panel entre 180. Seguidamente, como se ha expuesto, dicho valor se sometió a las verificaciones por resistencia al cortante y las deflexiones permitidas, con lo cual se dispuso de un espesor final de 30 cm para todos los paneles de losa de todos los edificios. Se recalca dicha asignación y su objetivo, el cual fue buscar un espesor estándar con el fin de realizar una comparación

con variables en común entre los métodos de diseño.

Para la revisión del espesor mínimo de losas en dos direcciones, de acuerdo con el ACI-318 en el apartado 8.3.1.2, se calcularon las relaciones de rigidez entre las vigas y la losa. Para ello, se les asignó a las vigas la nomenclatura que aparece en la Figura 53; además, en la Tabla 16, se muestran los momentos de inercia de cada una. Todo lo anterior fue considerado para el edificio tipo marco.



**Figura 61.** Nomenclatura de las vigas de nervadura para el edificio tipo marco y dual. AutoCAD®

TABLA 16. CÁLCULO DE INERCIA PARA VIGAS DE 25x90 CM DEL EDIFICIO TIPO MARCO						
Viga	bf (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )		Ix (cm <sup>4</sup> )		Ix total (cm <sup>4</sup> )
		Sección		Sección		
		1	2	1	2	
1	93.5	2805	1500	15988500	1354500	17343000
2	200	6000	1500	34200000	1354500	35554500
3	77	2310	1500	13167000	1354500	14521500
4	155	4650	1500	26505000	1354500	27859500
5	56	1680	1500	9576000	1354500	10930500
6	89.5	2685	1500	15304500	1354500	16659000
7	190	5700	1500	32490000	1354500	33844500
8	95	2850	1500	16245000	1354500	17599500

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ®

TABLA 17. RELACIONES DE RIGIDEZ DE LAS VIGAS DE 25x90 CM CON RESPECTO A LA LOSA DE 30 CM PARA EL EDIFICIO TIPO MARCO			
Viga	Ib (cm <sup>4</sup> )	Is (cm <sup>4</sup> )	$\alpha$
V1	17343000	450000	38.5
V2	35554500	1350000	26.3
V3	14521500	450000	32.3
V4	27859500	1350000	20.6
V5	10930500	956250	11.4
V6	16659000	956250	17.4
V7	33844500	1687500	20.1
V8	17599500	1687500	10.4

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ®

A pesar de que la losa A sea en una dirección, se revisa por este método el espesor mínimo para este y para el resto de los paneles, para lo cual

puede verificarse que el espesor propuesto de 30 cm cumple con el mínimo.

TABLA 18. CÁLCULO DE ESPESORES MÍNIMOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES SEGÚN EL ACI-318 EN EL EDIFICIO TIPO MARCO.			
Losa	B	Am	h mín (cm)
A	2.2	21.7	14.8
B	1.67	18.4	12.3
C	1.06	22.5	18.1
D	1.24	20.3	16.4

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ®

A continuación, se presentan los mismos cálculos anteriores, pero para el edificio tipo dual. Este cuenta con vigas de mayores inercias debido a que soportan los muros de corte; de ahí, la

inclusión de una sección 3 que corresponde a estos elementos.

Viga	bf (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )			Ix (cm <sup>4</sup> )			Ix total (cm <sup>4</sup> )
		Sección			Sección			
		1	2	3 (Muro)	1	2	3 (Muro)	
1	93.5	2805	1500	4350	15988500	1354500	658626250	675969250
2	200	6000	1500		34200000	1354500		35554500
3	77	2310	1500		13167000	1354500		14521500
4	155	4650	1500		26505000	1354500		27859500
5	56	1680	1500	4350	9576000	1354500	658626250	669556750
6	89.5	2685	1500		15304500	1354500		16659000
7	190	5700	1500		32490000	1354500		33844500
8	95	2850	1500		16245000	1354500		17599500

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ®

Viga	Ib (cm <sup>4</sup> )	Is (cm <sup>4</sup> )	$\alpha$
V1	675969250	450000	1502.2
V2	35554500	1350000	26.3
V3	14521500	450000	32.3
V4	27859500	1350000	20.6
V5	669556750	956250	700.2
V6	16659000	956250	17.4
V7	33844500	1687500	20.1
V8	17599500	1687500	10.4

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ®

Losa	$\beta$	$\alpha m$	h mín (cm)
A	2.2	559.8	14.8
B	1.67	18.4	12.3
C	1.06	22.5	18.1
D	1.24	20.3	16.4

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ®

Seguidamente, se presenta la nomenclatura de las vigas de nervadura para el edificio tipo muro en la Figura 54. En las Tablas 22, 23 y 24, se

muestran los cálculos correspondientes para el espesor mínimo de losas.

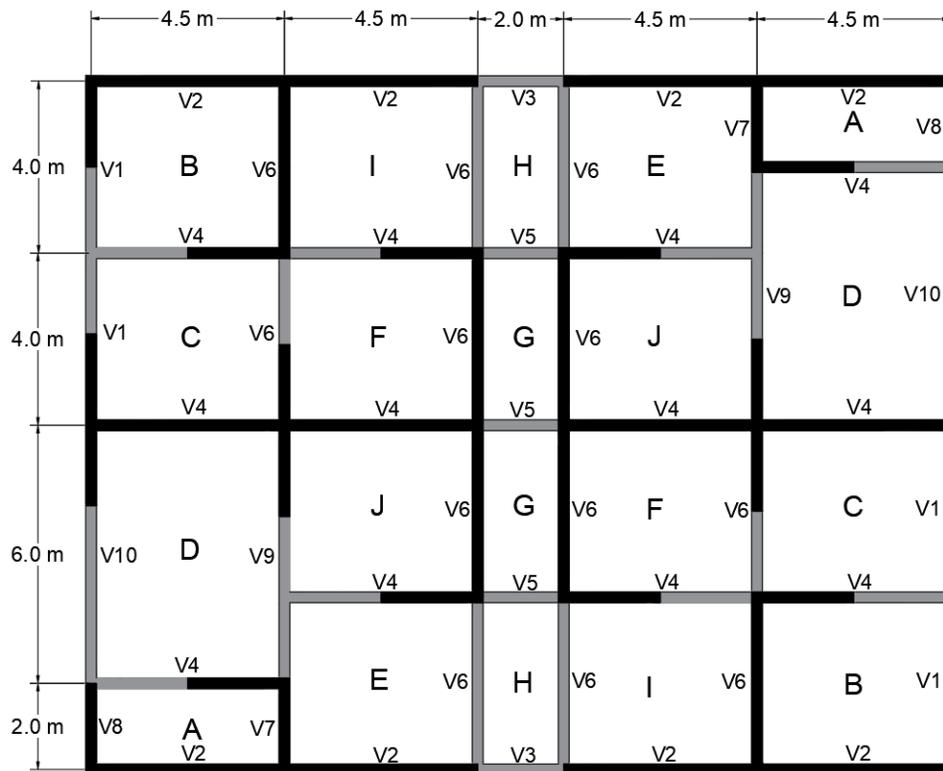


Figura 62. Nomenclatura de las vigas de nervadura para el edificio tipo muro. AutoCAD ®

TABLA 22. CÁLCULO DE INERCIAS DE VIGAS DE 25x90 CM PARA EDIFICIO TIPO MURO								
Viga	bf (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )			Ix (cm <sup>4</sup> )			Ix total (cm <sup>4</sup> )
		Figura			Figura			
		1	2	3 (Muro)	1	2	3 (Muro)	
1	56	1680	1500		9576000	1354500		10930500
2	60	1800	1500		10260000	1354500		11614500
3	39.5	1185	1500		6754500	1354500		8109000
4	106	3180	1500	4350	18126000	1354500	658626250	678106750
5	44	1320	1500		7524000	1354500		8878500
6	93	2790	1500	4350	15903000	1354500	658626250	675883750
7	44	1320	1500	4350	7524000	1354500	658626250	667504750
8	40	1200	1500	4350	6840000	1354500	658626250	666820750
9	144	4320	1500		24624000	1354500		25978500
10	73	2190	1500		12483000	1354500		13837500

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ®

**TABLA 23. RELACIONES DE RIGIDEZ DE LAS VIGAS DE 25x90 CM CON RESPECTO A LA LOSA DE 30 CM PARA EL EDIFICIO TIPO MURO**

Viga	Ib (cm <sup>4</sup> )	Is (cm <sup>4</sup> )	A
V1	10930500	506250	21.6
V2	11614500	450000	25.8
V3	8109000	450000	18.0
V4	678106750	900000	753.5
V5	8878500	900000	9.9
V6	675883750	1012500	667.5
V7	667504750	1012500	659.3
V8	666820750	506250	1317.2
V9	25978500	1012500	25.7
V10	13837500	506250	27.3

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ®

**TABLA 24. CÁLCULO DE ESPESORES MÍNIMOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES SEGÚN EL ACI-318 PARA EL EDIFICIO TIPO MURO**

Losa	$\beta$	$\alpha m$	h mín (cm)
A	2.43	688.9	14.3
B	1.13	367.1	13.5
C	1.13	549.0	17.9
D	1.35	390.0	16.1
E	1.13	526.5	16.8
F	1.13	710.5	16.8
I	1.13	528.6	16.8
J	1.13	550.0	16.8

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ®

## Verificación por cortante

A continuación, se presentan los cortantes en los paneles de losa para el edificio tipo muro, los cuales se revisan contra el espesor de losa, que de 30 cm.

**TABLA 25. CORTANTES DE LAS LOSAS EN DOS DIRECCIONES SEGÚN EL MÉTODO DE COEFICIENTES DEL ACI-318 (1963) PARA EL EDIFICIO TIPO MURO**

Losas	Combinación	Cortante (ton)	
		Dirección	
		Lado largo	Lado corto
<b>B</b>	1	6.2	8.7
	2	6.7	9.4
	3X	7.2	10.1
	3Y	7.7	10.9
	4X	6.3	8.9
	4Y	6.8	9.6
<b>C</b>	1	3.8	10.8
	2	4.7	13.2
	3X	4.1	11.5
	3Y	3.9	10.9
	4X	3.9	11.0
	4Y	3.3	9.4
<b>D</b>	1	8.2	9.8
	2	10.0	12.0
	3X	8.8	10.5
	3Y	10.7	12.8
	4X	8.4	10.0
	4Y	9.6	11.4
<b>E</b>	1	8.9	6.3
	2	10.9	7.7
	3X	8.7	6.1
	3Y	11.1	7.9
	4X	7.4	5.2
	4Y	9.8	7.0
<b>F</b>	1	8.9	6.3
	2	10.9	7.7
	3X	8.7	6.1
	3Y	9.0	6.4
	4X	7.4	5.2
	4Y	7.7	5.5
<b>I</b>	1	3.8	10.8
	2	4.7	13.2
	3X	3.7	10.5
	3Y	4.8	13.4
	4X	3.2	9.0
	4Y	4.3	11.9

<b>J</b>	1	3.8	10.8
	2	4.7	13.2
	3X	3.5	9.7
	3Y	3.6	10.1
	4X	3.2	9.0
	4Y	3.3	9.4

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

<b>TABLA 26. CORTANTES DE LAS LOSAS EN UNA DIRECCIÓN COMO VIGAS CONTINUAS PARA EL EDIFICIO TIPO MURO</b>			
<b>Losa</b>	<b>Combinación</b>	<b>Cortante (ton)</b>	
		<b>Apoyo</b>	
		<b>Derecho</b>	<b>Izquierdo</b>
<b>A</b>	1	9.15	15.35
	2	3.16	16.65
	3X	3.40	17.95
	3Y	1.70	17.00
	4X	3.00	15.75
	4Y	1.50	16.00
<b>H</b>	1	-6.2	6.2
	2	-7.7	7.7
	3X	-5.1	4.4
	3Y	-7.35	7.35
	4X	-4.65	3.9
	4Y	-6.9	6.9
<b>G</b>	1	-6.2	6.2
	2	-7.7	7.7
	3X	-5.1	4.4
	3Y	-5.85	5.85
	4X	-4.65	3.9
	4Y	-5.4	5.4

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

Se tiene que la resistencia del concreto a los esfuerzos cortantes con un espesor de 30 cm, resistencia a la compresión de 280 kg/cm<sup>2</sup> y por metro de ancho es de 20 ton/m, de acuerdo con la ecuación 8 del marco teórico. Esto significa que dicha sección es adecuada para los

cortantes presentes en la cimentación obtenidos por los métodos de coeficientes. Seguidamente, se presentan los cortantes para el edificio tipo marco, donde se puede observar que el espesor de 30 cm cumple por capacidad a cortante.

<b>TABLA 27. CORTANTES DE LAS LOSAS EN DOS DIRECCIONES SEGÚN EL MÉTODO DE COEFICIENTES DEL ACI-318 (1963) PARA EL EDIFICIO TIPO MARCO</b>			
<b>Losa</b>	<b>Combinación</b>	<b>Cortante (ton)</b>	
		<b>Dirección</b>	
		<b>Lado largo</b>	<b>Lado corto</b>
<b>B</b>	1	3.5	8.3
	2	3.8	9.0
	3X	2.9	6.9
	3Y	3.9	9.4
	4X	2.4	5.7
	4Y	3.1	7.3
<b>C</b>	1	6.4	15.4
	2	7.0	16.8
	3X	6.0	14.4
	3Y	6.1	14.7
	4X	5.1	12.2
	4Y	4.7	11.2
<b>D</b>	1	6.4	12.2
	2	6.9	13.3
	3X	5.3	10.1
	3Y	6.1	11.6
	4X	4.3	8.3
	4Y	4.6	8.8

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

<b>TABLA 28. CORTANTES DE LAS LOSAS EN UNA DIRECCIÓN COMO VIGAS CONTINUAS PARA EL EDIFICIO TIPO MARCO</b>			
<b>Losa</b>	<b>Combinación</b>	<b>Cortante (ton)</b>	
		<b>Apoyo</b>	
		<b>Derecho</b>	<b>Izquierdo</b>
<b>A</b>	1	-4.20	16.65
	2	-4.55	18.15
	3X	-4.45	15.00
	3Y	-4.35	17.40
	4X	-3.85	12.65
	4Y	-3.70	14.70

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

Por último, se muestran los cortantes obtenidos para el edificio tipo dual, cumpliendo también el espesor de 30 cm por capacidad a cortante.

**TABLA 29. CORTANTES DE LAS LOSAS EN DOS DIRECCIONES SEGÚN EL MÉTODO DE COEFICIENTES DEL ACI-318 (1963) PARA EL EDIFICIO TIPO MARCO**

Losas	Combinación	Cortante (ton)	
		Dirección	
		Lado largo	Lado corto
<b>B</b>	1	3.8	9.2
	2	4.3	10.2
	3X	3.2	7.7
	3Y	4.0	9.5
	4X	2.6	6.3
	4Y	3.4	8.1
<b>C</b>	1	7.1	17.0
	2	7.9	19.0
	3X	6.7	16.1
	3Y	6.3	15.0
	4X	5.6	13.5
	4Y	5.2	12.4
<b>D</b>	1	7.0	13.4
	2	7.8	15.0
	3X	5.9	11.3
	3Y	6.2	11.8
	4X	4.8	9.2
	4Y	5.1	9.8

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

**TABLA 30. CORTANTES DE LAS LOSAS EN UNA DIRECCIÓN COMO VIGAS CONTINUAS PARA EL EDIFICIO TIPO DUAL**

Losas	Combinación	Cortante (ton)	
		Apoyo	
		Derecho	Izquierdo
<b>A</b>	1	-4.80	17.10
	2	-5.05	18.90
	3X	-4.85	15.50
	3Y	-4.75	18.10
	4X	-4.10	13.20
	4Y	-3.95	15.15

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

## Verificación de deflexiones máximas

Una vez que se ha comprobado que la sección de concreto propuesta soporta los cortantes experimentados por los paneles de losa, se

procedió a revisar las deflexiones máximas por efecto de cargas gravitacionales según el ACI-318 (2014). A continuación, se muestran las tablas con las deflexiones por servicio y a largo plazo por losa para cada tipo de edificio, además, según su método de análisis.

TABLA 31. DEFLEXIONES MÁXIMAS POR SERVICIO PARA EL EDIFICIO TIPO MURO						
Losa	$\Delta$ (cm)					
	M. Coeficientes	MC 25x90	MC 25x70	BL 25x90	BL 25x70	ACI-318
A	0.040	0.020	0.030	0.028	0.031	0.56
B	0.114	0.058	0.100	0.073	0.072	1.11
C	0.105	0.058	0.124	0.051	0.052	1.11
D	0.270	0.062	0.118	0.144	0.137	1.25
E	0.134	0.047	0.104	0.093	0.097	1.11
F	0.115	0.010	0.040	0.034	0.037	1.11
G	0.030	0.013	0.011	0.011	0.005	0.56
H	0.030	0.047	0.133	0.086	0.102	0.56
I	0.134	0.053	0.128	0.090	0.089	1.11
J	0.115	0.024	0.050	0.048	0.066	1.11

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 32. DEFLEXIONES MÁXIMAS POR LARGO PLAZO PARA EL EDIFICIO TIPO MURO						
Losa	$\Delta$ (cm)					
	M. Coeficientes	MC 25x90	MC 25x70	BL 25x90	BL 25x70	ACI-318
A	0.073	0.029	0.062	0.028	0.052	0.56
B	0.207	0.127	0.214	0.175	0.182	1.11
C	0.191	0.126	0.233	0.142	0.146	1.11
D	0.491	0.143	0.309	0.335	0.431	1.25
E	0.244	0.080	0.215	0.222	0.223	1.11
F	0.209	0.020	0.126	0.122	0.138	1.11
G	0.055	0.019	0.013	0.014	0.015	0.56
H	0.055	0.063	0.253	0.167	0.226	0.56
I	0.244	0.052	0.252	0.200	0.221	1.11
J	0.209	0.030	0.130	0.355	0.146	1.11

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

<b>TABLA 33. DEFLEXIONES MÁXIMAS POR SERVICIO PARA EL EDIFICIO TIPO MARCO</b>						
<b>Losa</b>	<b><math>\Delta</math> (cm)</b>					
	<b>M. Coeficientes</b>	<b>MC 25x90</b>	<b>MC 25x70</b>	<b>BL 25x90</b>	<b>BL 25x70</b>	<b>ACI-318</b>
A	0.04	0.44	0.53	0.48	0.60	1.11
B	0.13	0.10	0.13	0.10	0.12	1.11
C	1.08	0.43	0.43	0.55	0.50	2.22
D	0.51	0.33	0.34	0.39	0.41	1.81

Fuente: *Elaboración propia. Microsoft Excel®*

<b>TABLA 34. DEFLEXIONES MÁXIMAS POR LARGO PLAZO PARA EL EDIFICIO TIPO MARCO</b>						
<b>Losa</b>	<b><math>\Delta</math> (cm)</b>					
	<b>M. Coeficientes</b>	<b>MC 25x90</b>	<b>MC 25x70</b>	<b>BL 25x90</b>	<b>BL 25x70</b>	<b>ACI-318</b>
A	0.07	0.80	0.86	0.91	0.99	1.11
B	0.23	0.57	0.66	0.63	0.80	1.11
C	1.97	0.53	0.55	0.87	0.77	2.22
D	0.93	0.61	0.53	0.80	0.90	1.81

Fuente: *Elaboración propia. Microsoft Excel®*

<b>TABLA 35. DEFLEXIONES MÁXIMAS POR SERVICIO PARA EL EDIFICIO TIPO DUAL</b>						
<b>Losa</b>	<b><math>\Delta</math> (cm)</b>					
	<b>M. Coeficientes</b>	<b>MC 25x90</b>	<b>MC 25x70</b>	<b>BL 25x90</b>	<b>BL 25x70</b>	<b>ACI-318</b>
A	0.050	0.31	0.34	0.320	0.390	1.11
B	0.159	0.17	0.17	0.390	0.240	1.11
C	1.200	0.46	0.45	0.990	0.640	2.22
D	0.590	0.23	0.23	0.320	0.320	1.81

Fuente: *Elaboración propia. Microsoft Excel®*

<b>TABLA 36. DEFLEXIONES MÁXIMAS POR LARGO PLAZO PARA EL EDIFICIO TIPO DUAL</b>						
<b>Losa</b>	<b><math>\Delta</math> (cm)</b>					
	<b>M. Coeficientes</b>	<b>MC 25x90</b>	<b>MC 25x70</b>	<b>BL 25x90</b>	<b>BL 25x70</b>	<b>ACI-318</b>
A	0.091	0.55	0.61	0.660	0.680	1.11
B	0.289	0.64	0.40	0.390	0.470	1.11
C	2.184	0.50	1.10	1.410	0.780	2.22
D	1.074	0.31	0.30	0.420	0.400	1.81

Fuente: *Elaboración propia. Microsoft Excel®*

# Apéndice 2

En este apartado, se presentan los momentos envolventes de los edificios según el método de cálculo y las características de las vigas de nervadura y del medio soportante. Los momentos

están en unidades de tonelada-metro por metro de ancho.

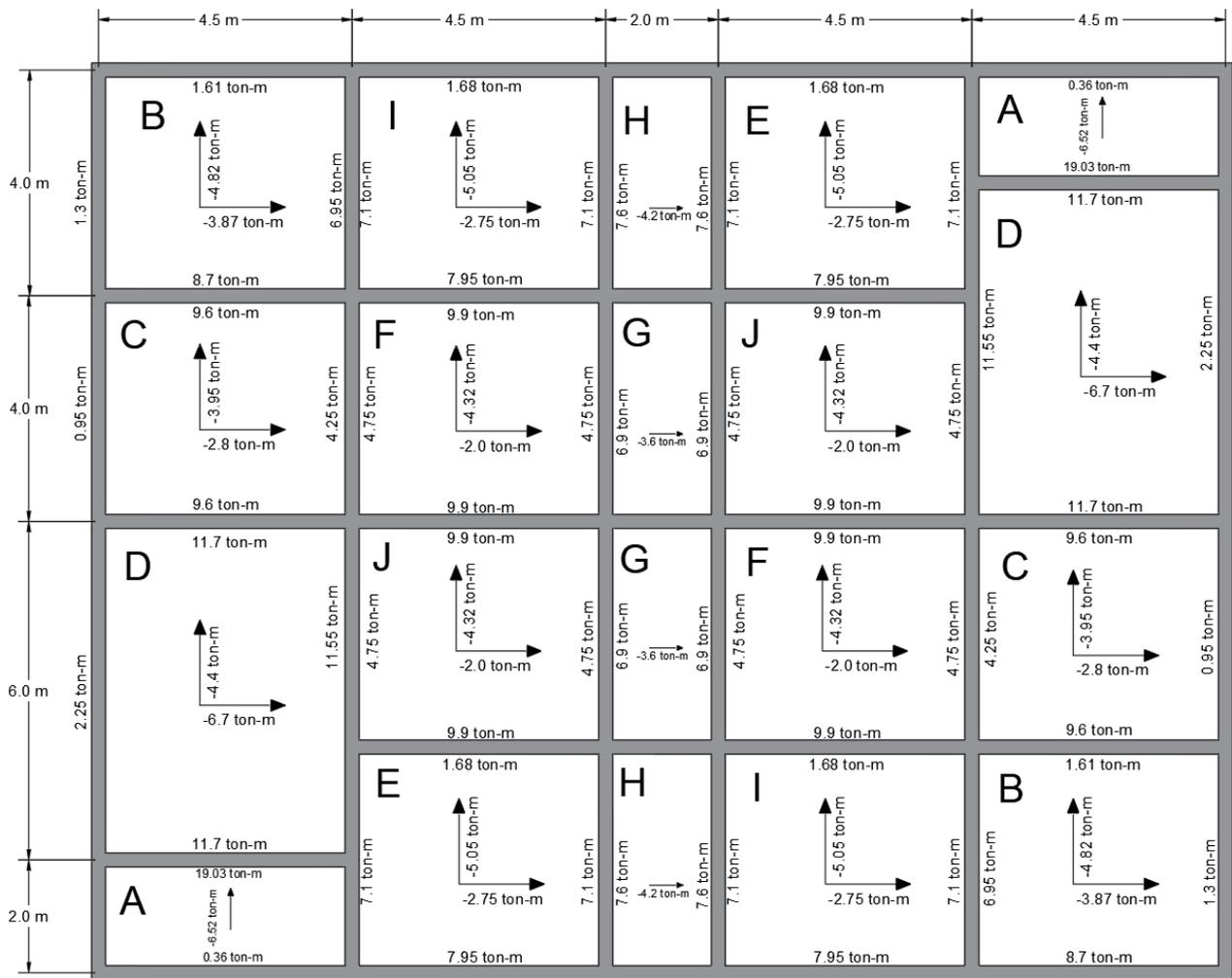


Figura 63. Momentos máximos de diseño por el método de coeficientes para el edificio tipo muro. AutoCAD®

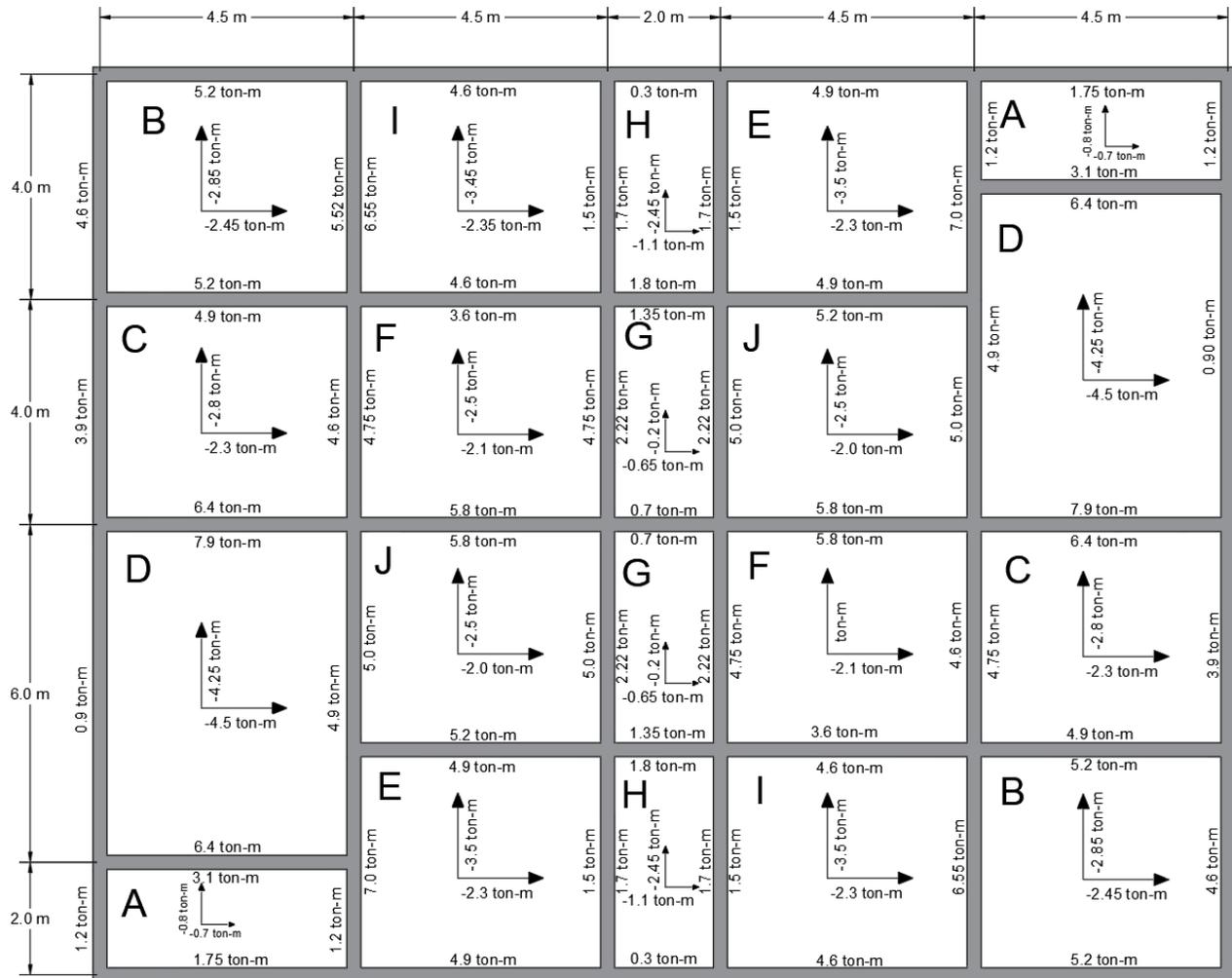


Figura 64. Momentos máximos de diseño obtenidos del SAFE para el edificio tipo muro con vigas de 25x90 cm sobre suelo medianamente compacto (MC). AutoCAD®

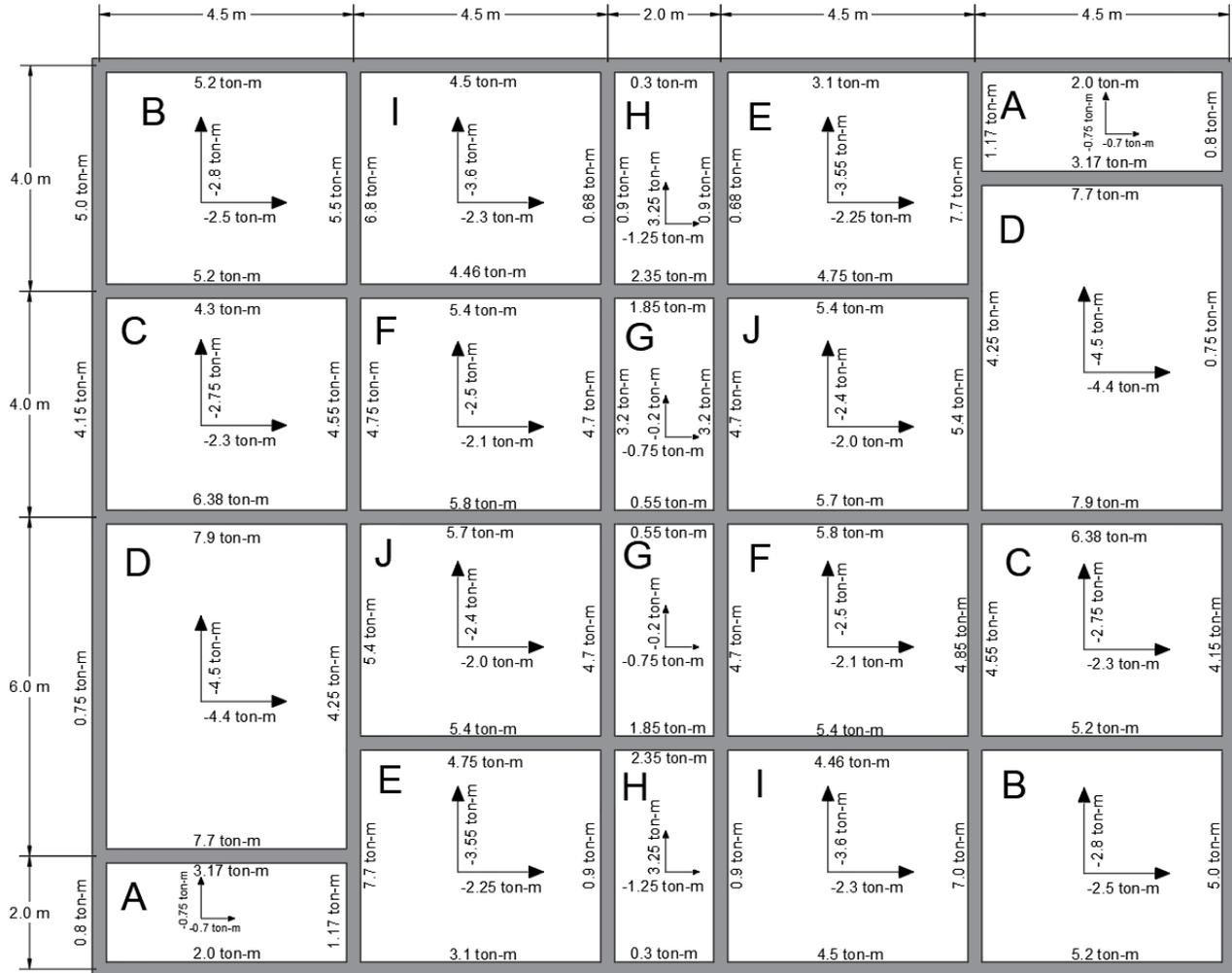


Figura 65. Momentos máximos de diseño obtenidos del SAFE para el edificio tipo muro con vigas de 25x70 cm sobre suelo medianamente compacto (MC). AutoCAD®

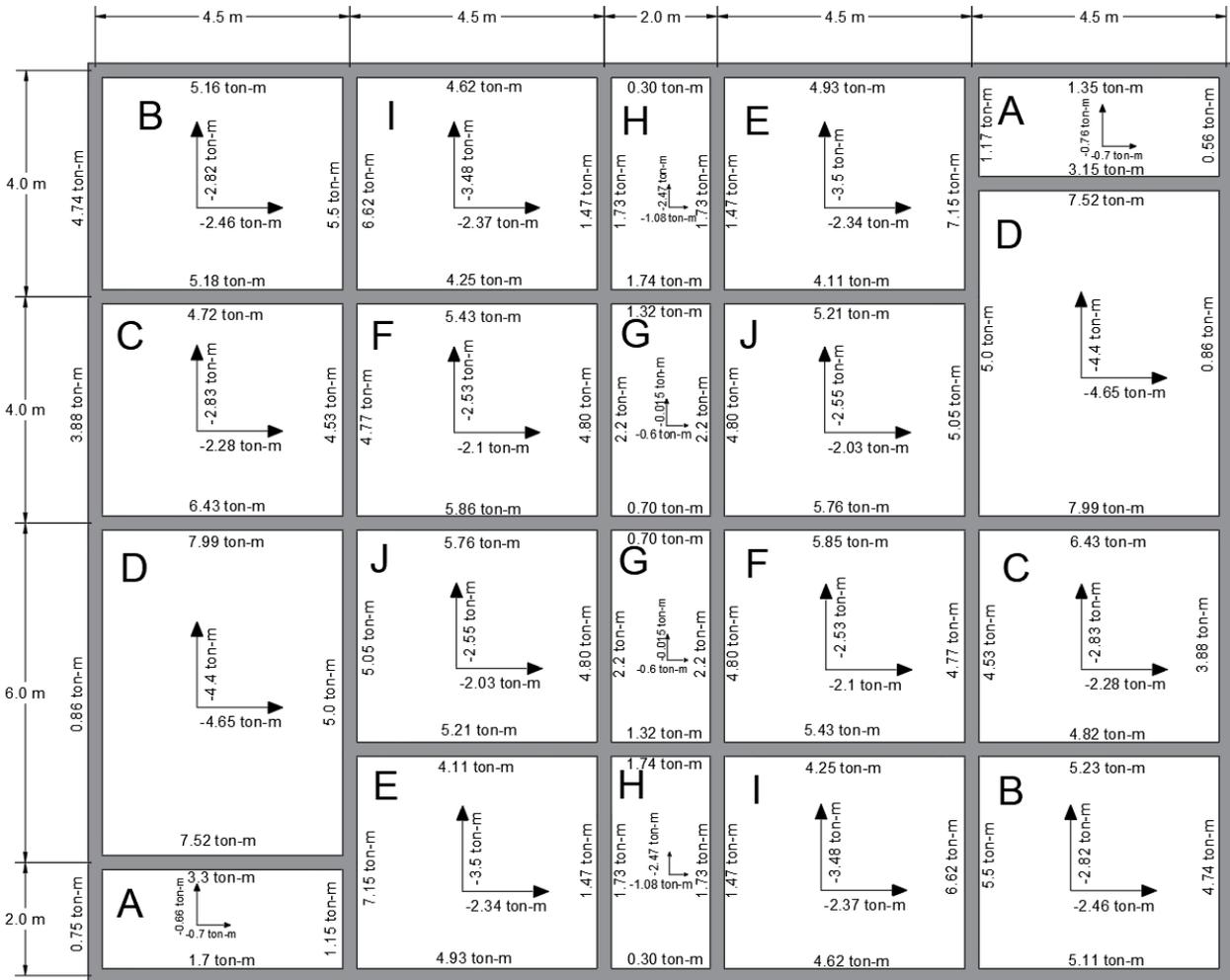


Figura 66. Momentos máximos de diseño obtenidos del SAFE para el edificio tipo muro con vigas de 25x90 cm sobre suelo blando (BL). AutoCAD®

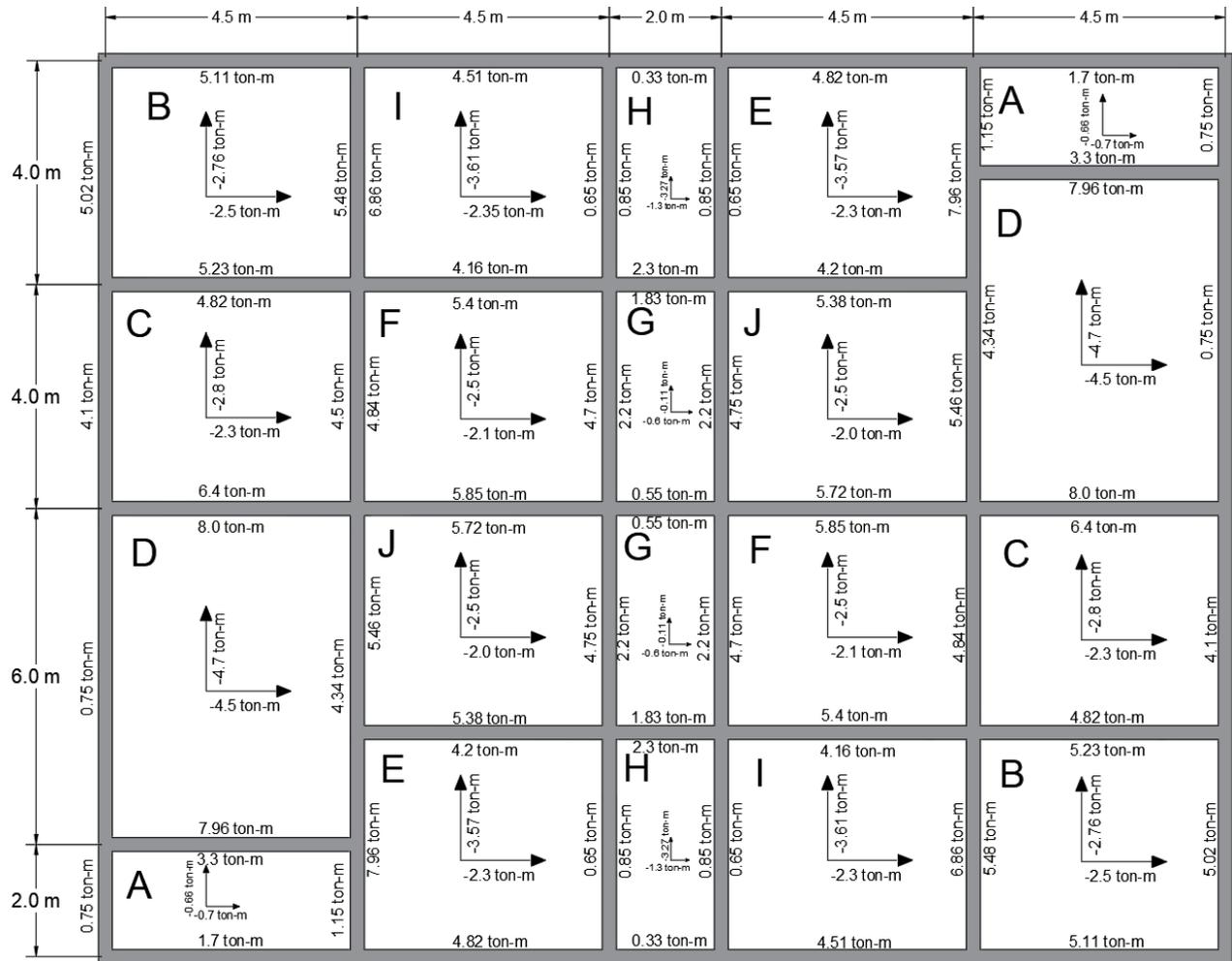


Figura 67. Momentos máximos de diseño obtenidos del SAFE para el edificio tipo muro con vigas de 25x70 cm sobre suelo blando (BL). AutoCAD ®

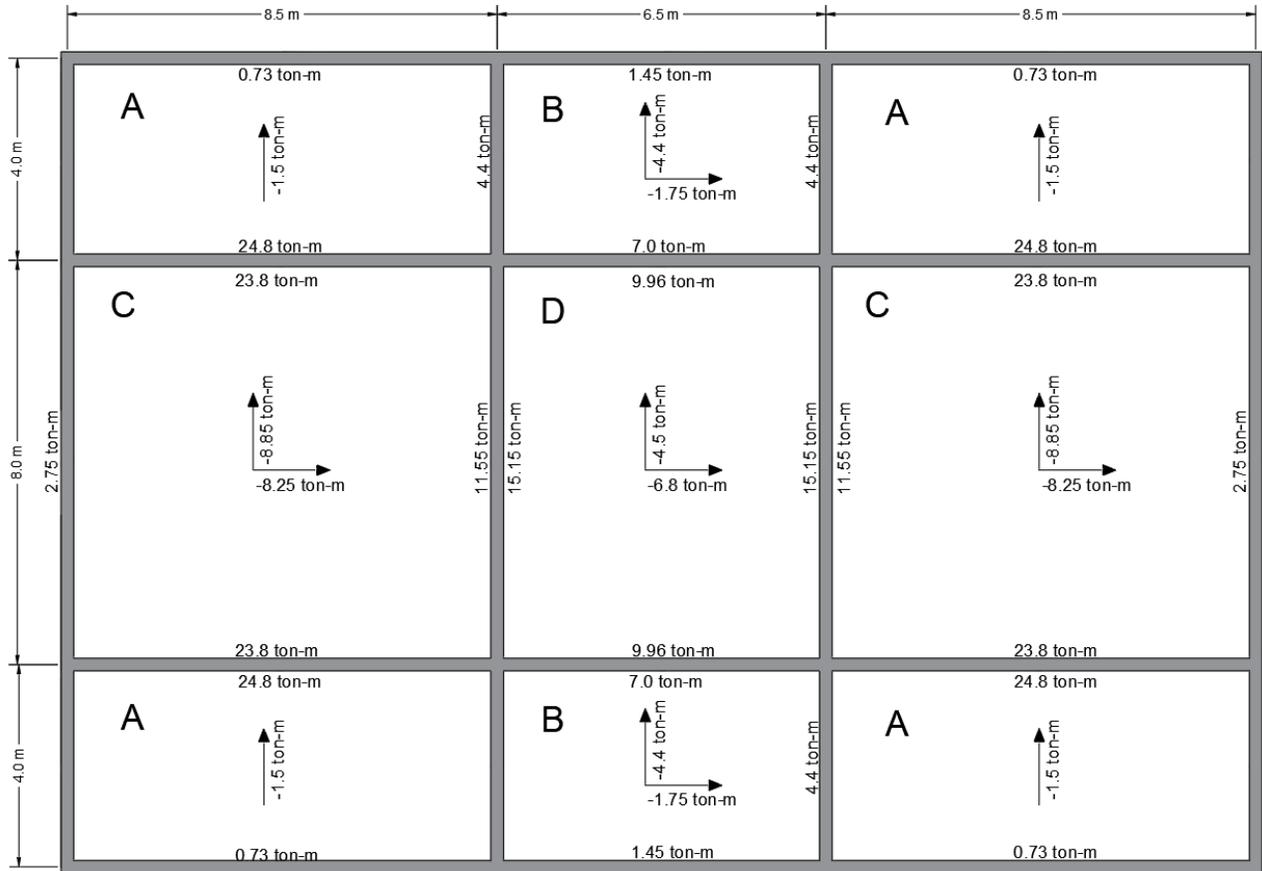
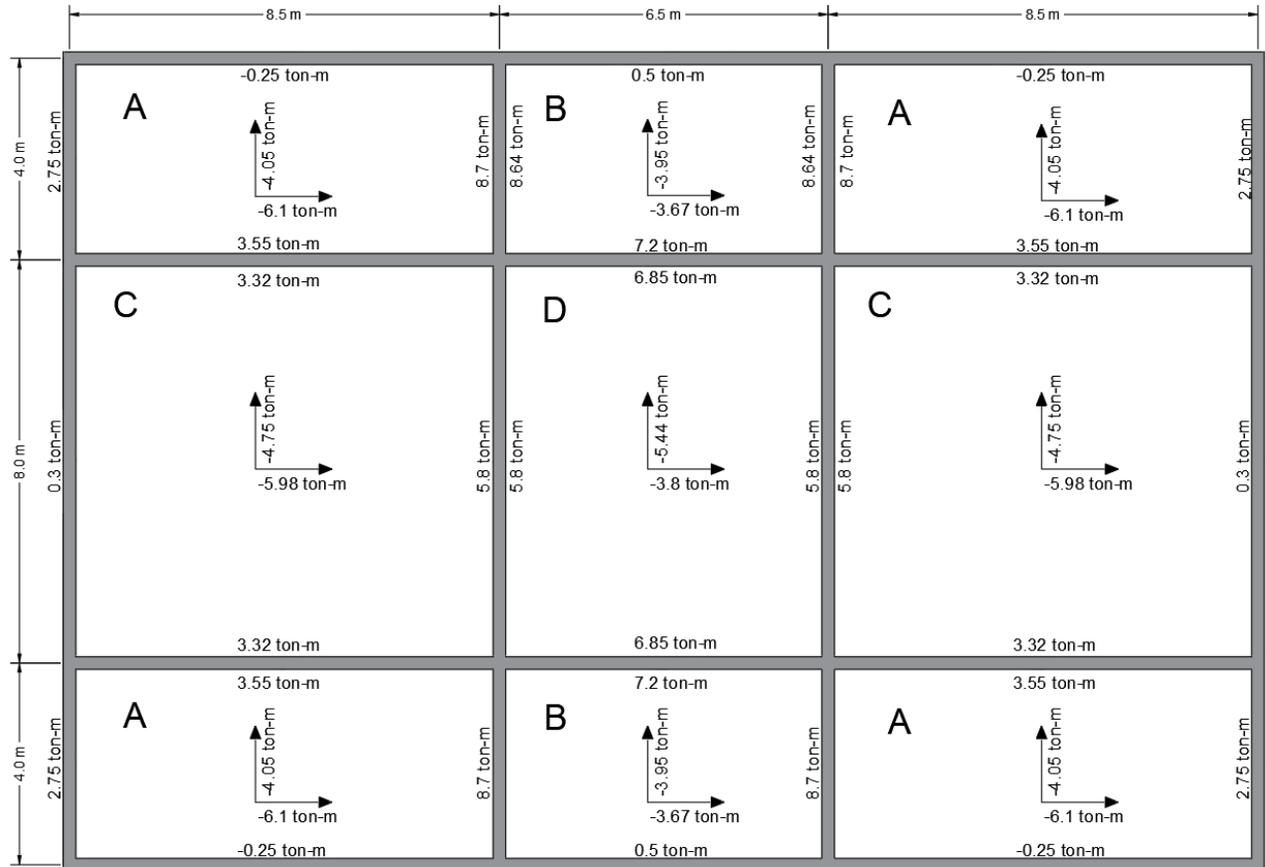
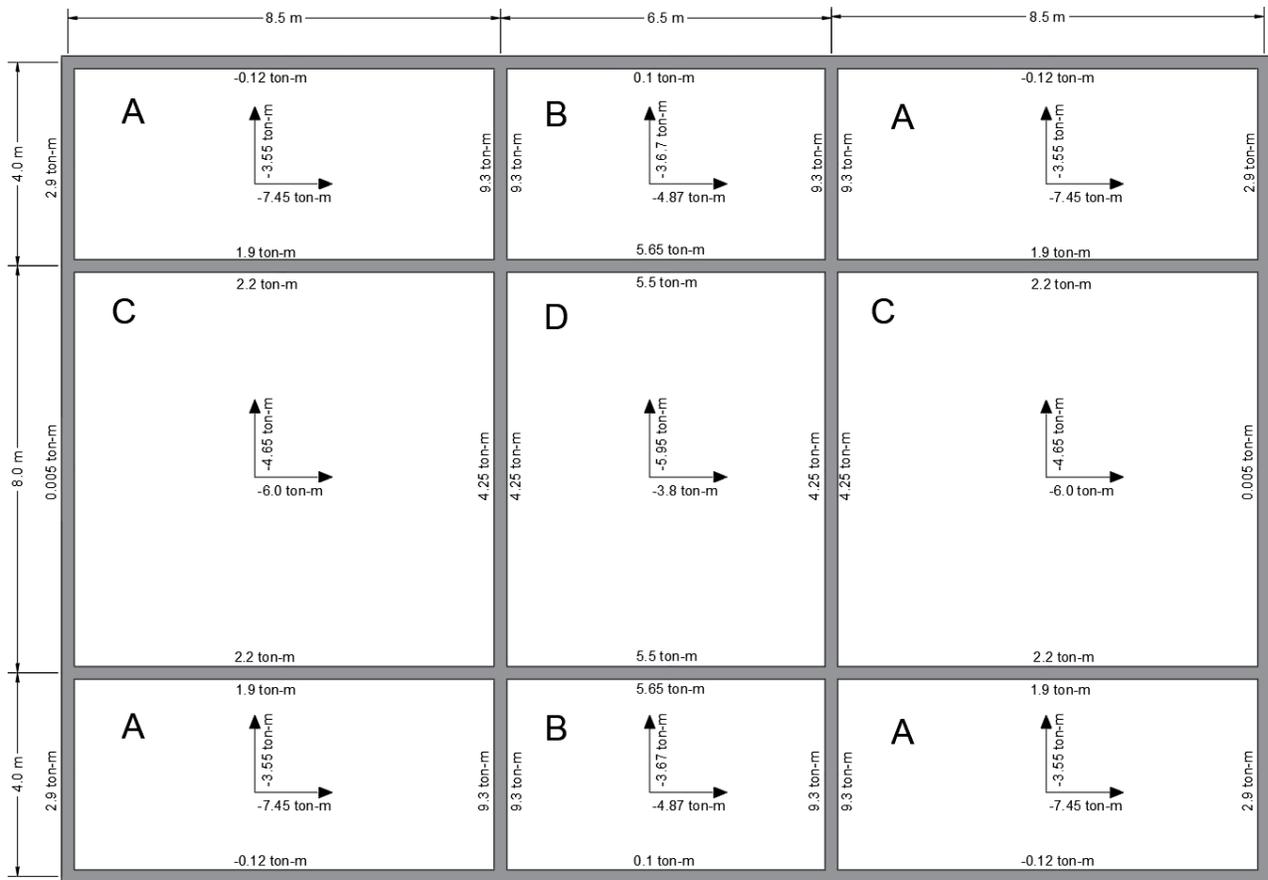


Figura 68. Momentos máximos de diseño por el método de coeficientes para el edificio tipo marco. AutoCAD®



**Figura 69.** Momentos máximos de diseño obtenidos del SAFE para el edificio tipo marco con vigas de 25x90 cm sobre suelo medianamente compacto (MC). AutoCAD®



**Figura 70.** Momentos máximos de diseño obtenidos del SAFE para el edificio tipo marco con vigas de 25x70 cm sobre suelo medianamente compacto (MC). AutoCAD ®

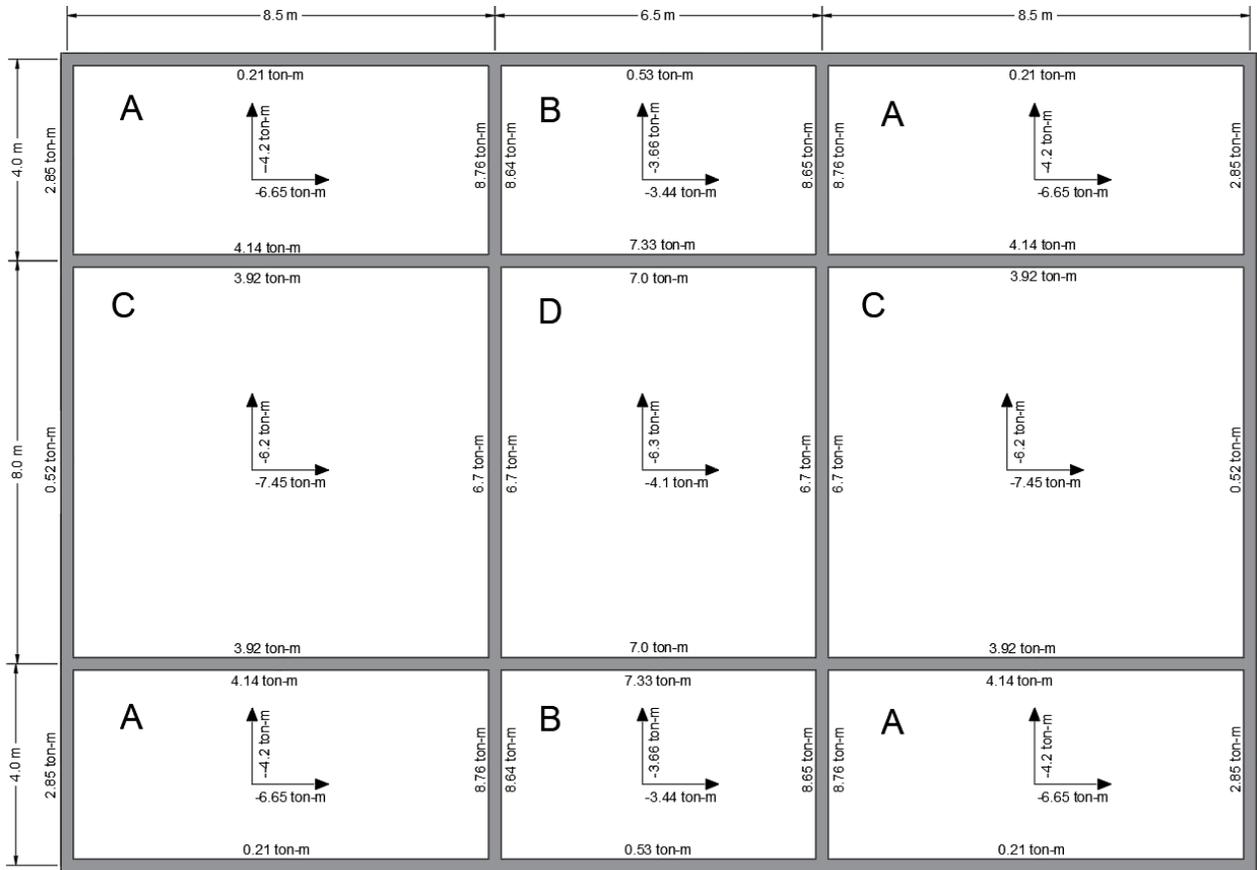
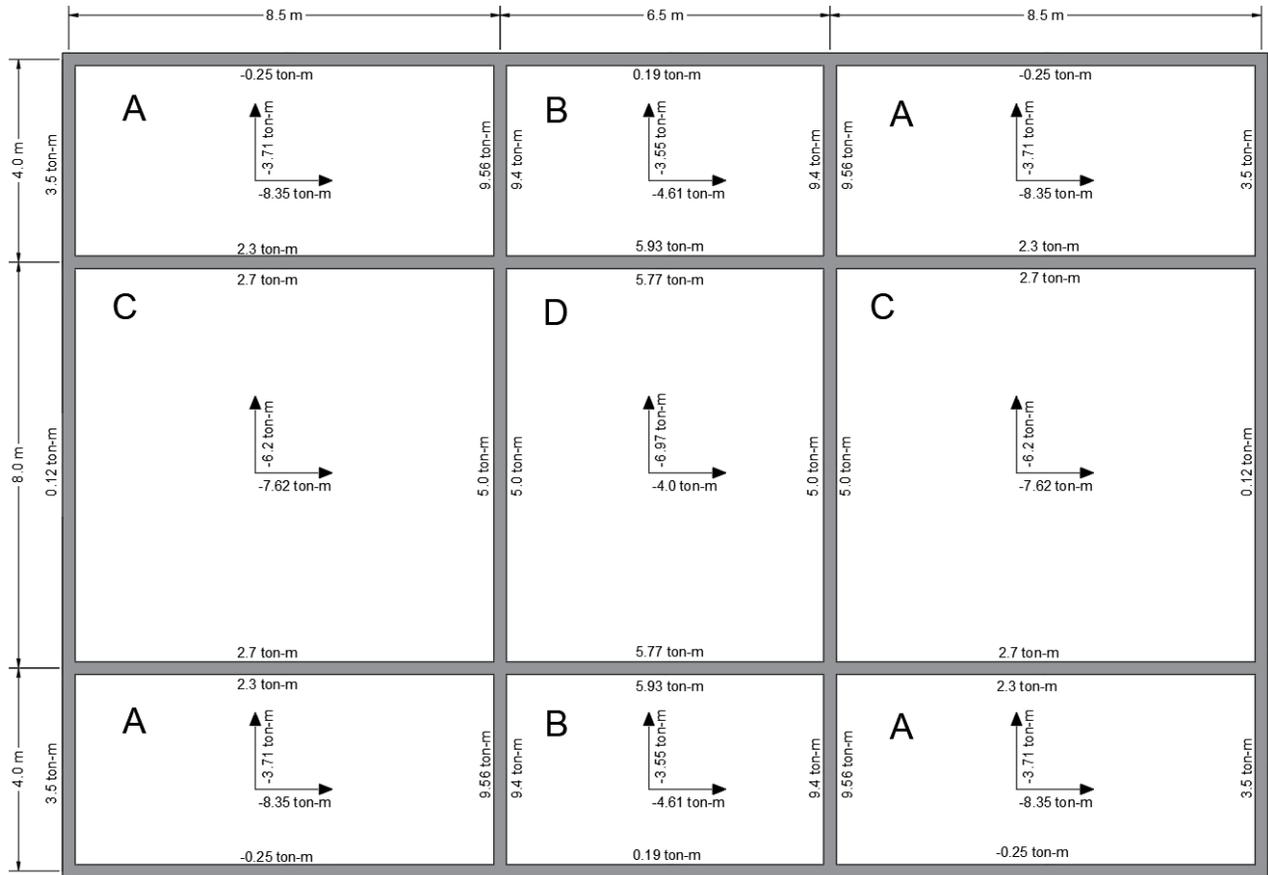


Figura 71. Momentos máximos de diseño obtenidos del SAFE para el edificio tipo marco con vigas de 25x90 cm sobre suelo blando (BL). AutoCAD ®



**Figura 72.** Momentos máximos de diseño obtenidos del SAFE para el edificio tipo marco con vigas de 25x70 cm sobre suelo blando (BL). AutoCAD®

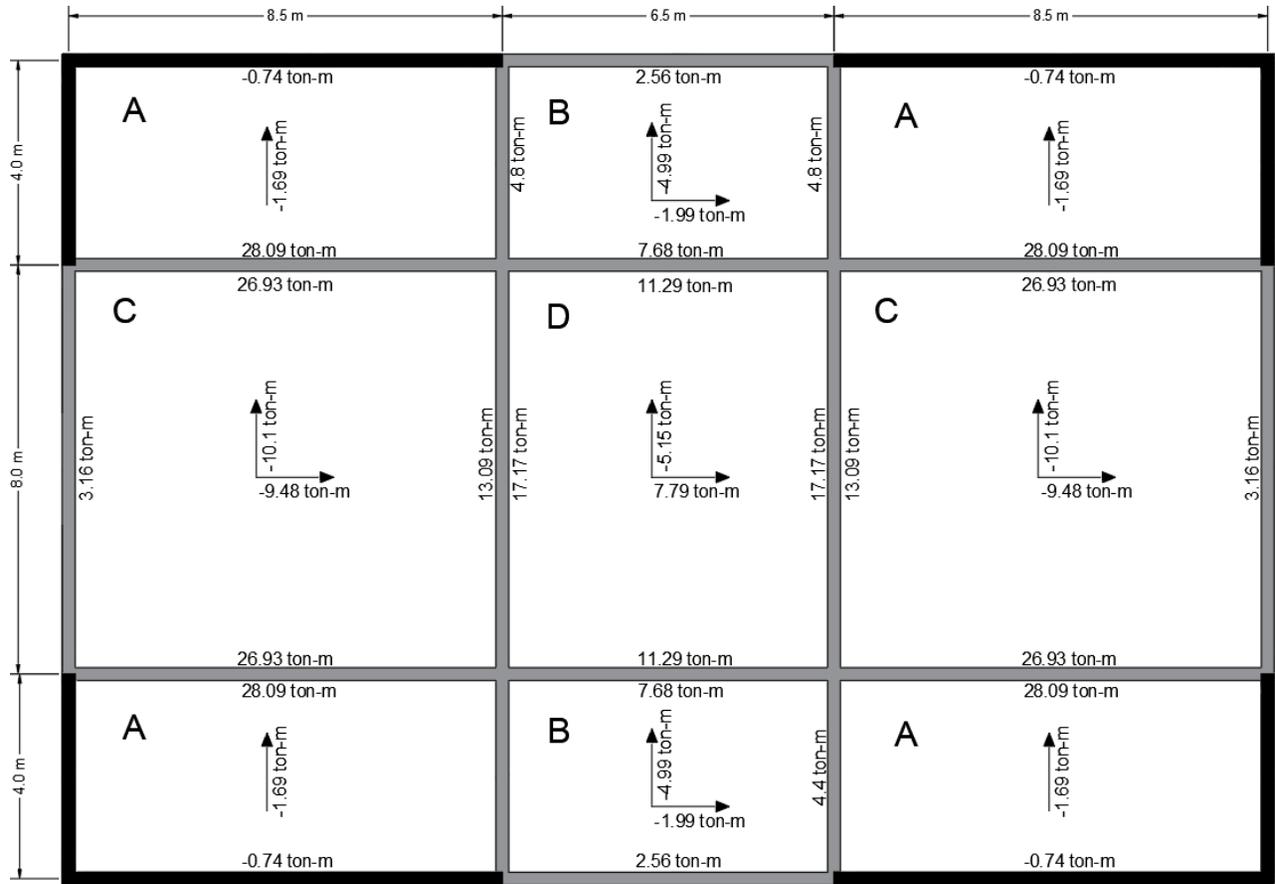
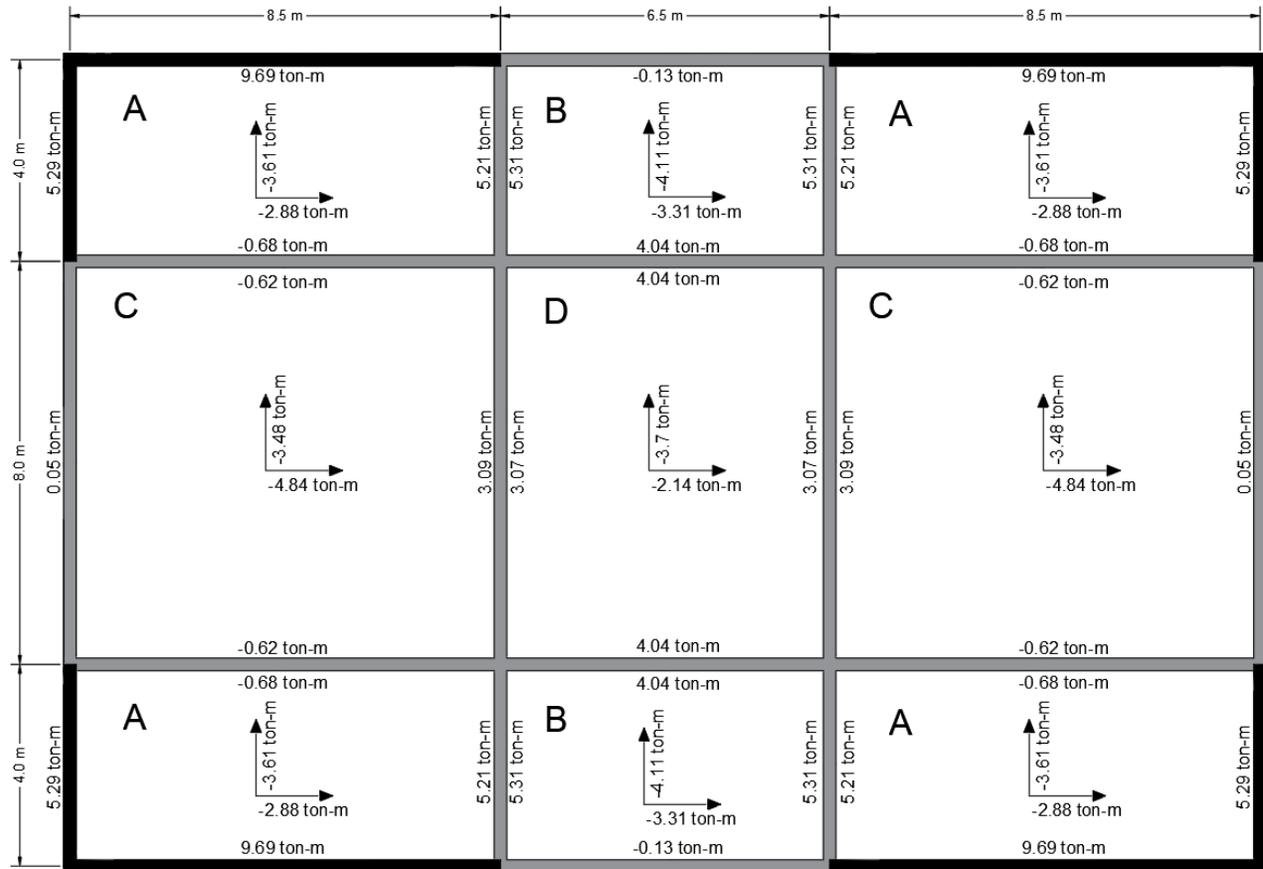
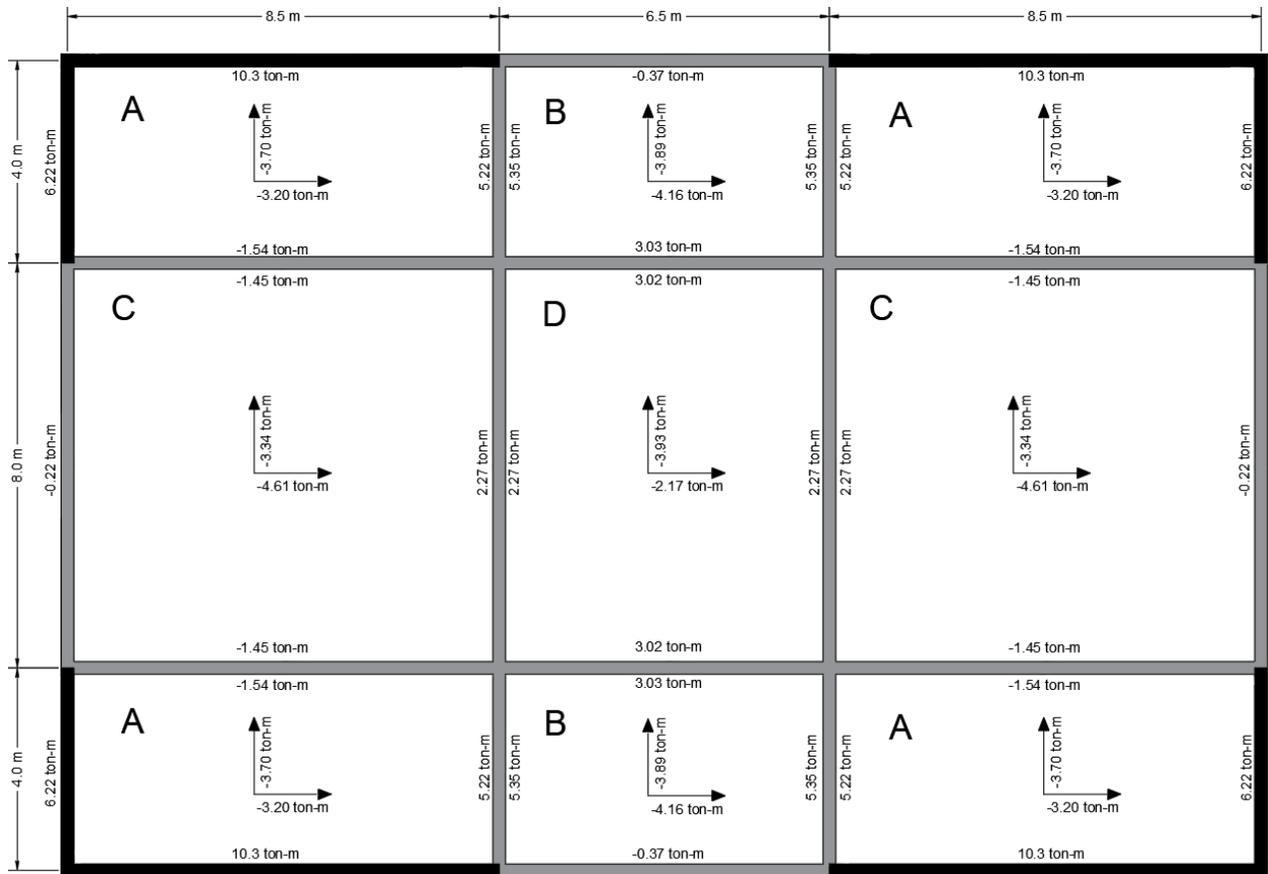


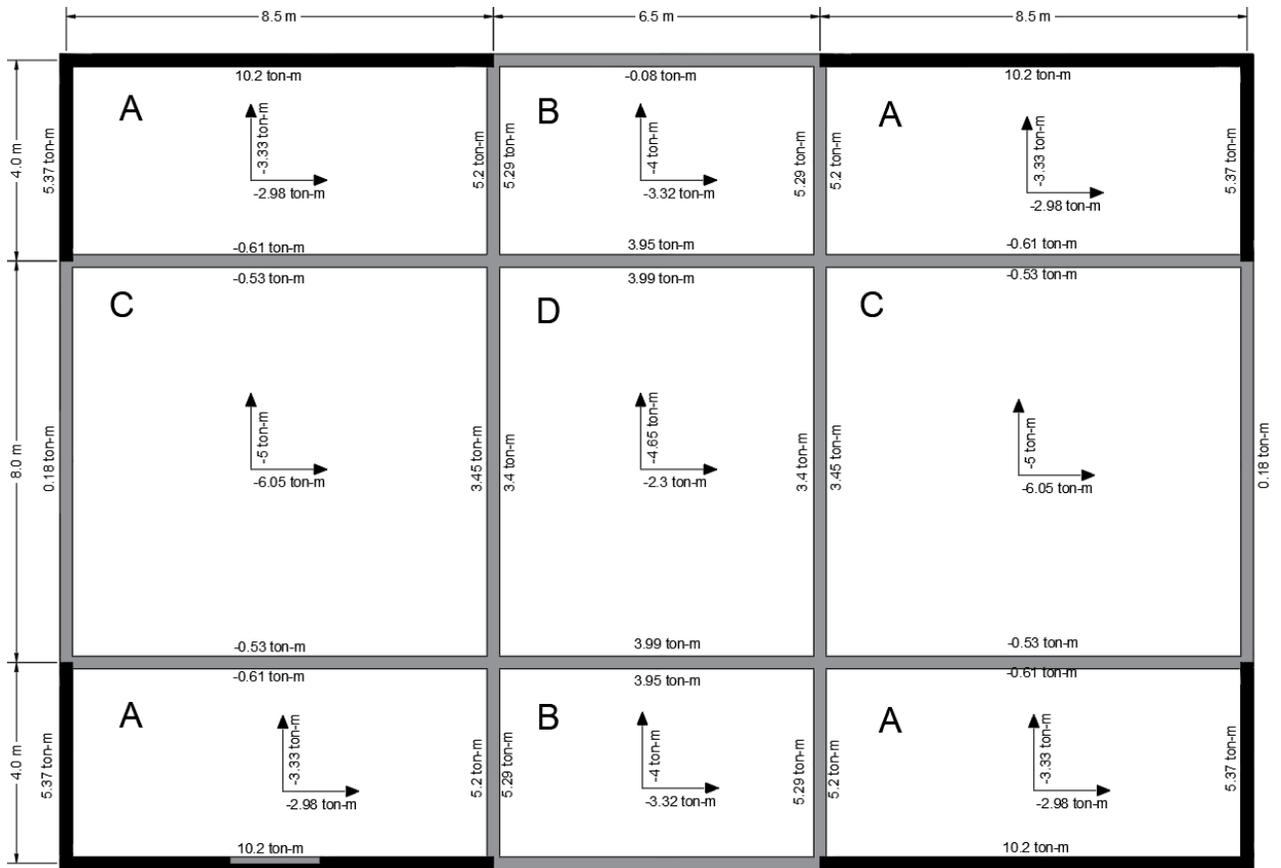
Figura 73. Momentos máximos de diseño por el método de coeficientes para el edificio tipo dual. AutoCAD ®



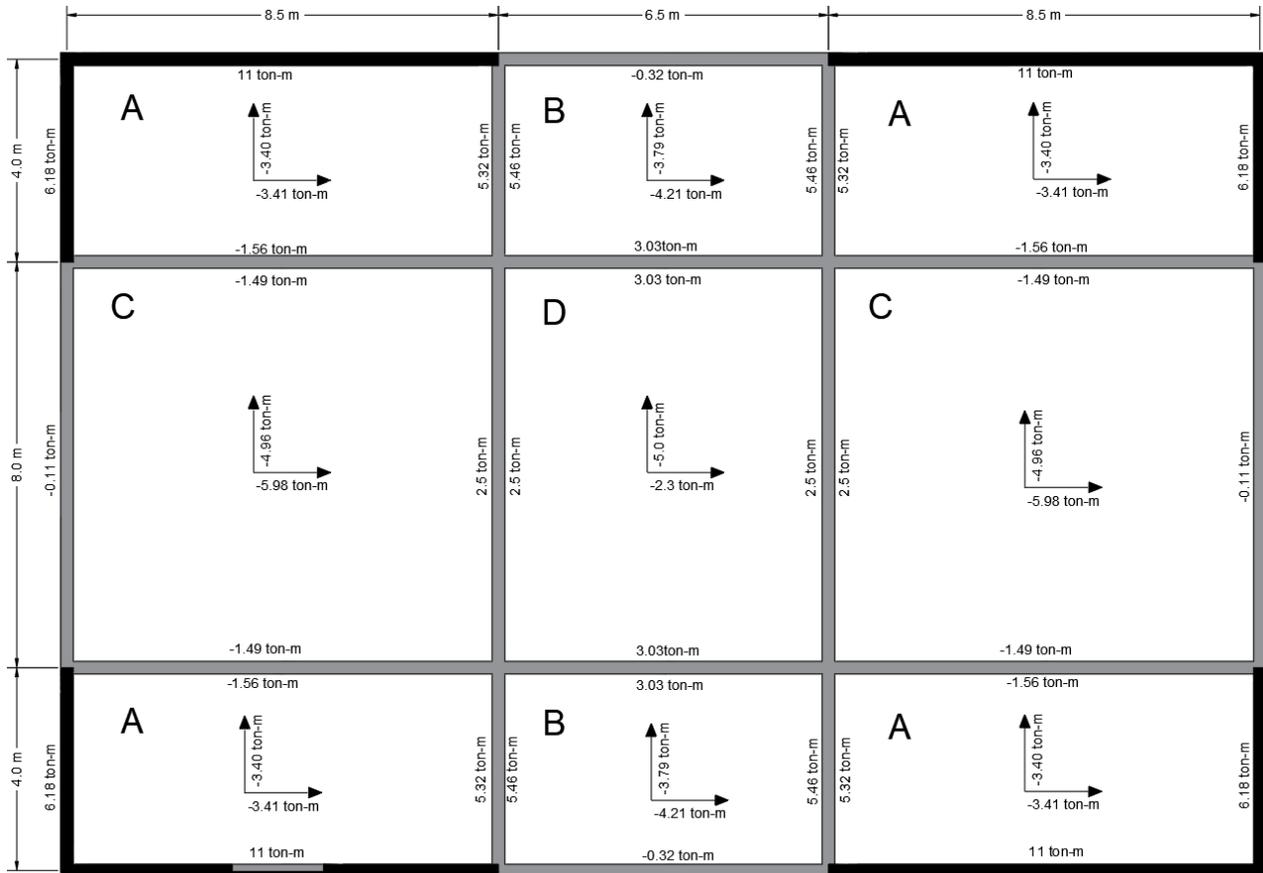
**Figura 74.** Momentos máximos de diseño obtenidos del SAFE para el edificio tipo dual con vigas de 25x90 cm sobre suelo medianamente compacto (MC). AutoCAD®



**Figura 75.** Momentos máximos de diseño obtenidos del SAFE para el edificio tipo dual con vigas de 25x70 cm sobre suelo medianamente compacto (MC). AutoCAD®



**Figura 76.** Momentos máximos de diseño obtenidos del SAFE para el edificio tipo dual con vigas de 25x90 cm sobre suelo blando (BL). AutoCAD®



**Figura 77.** Momentos máximos de diseño obtenidos del SAFE para el edificio tipo dual con vigas de 25x70 cm sobre suelo blando (BL). AutoCAD®

# Apéndice 3

En este apéndice, se incluyen los valores de los momentos obtenidos en el programa SAFE® para cada uno de los edificios con las diferentes variables (suelo y peralte de las vigas de nervadura), así como los momentos generados por el método de coeficientes para las losas en dos direcciones. También, el análisis de viga continua de un metro de ancho para las losas en una dirección.

Por otra parte, se muestran las razones de los momentos obtenidos con el programa SAFE® con respecto a los dos últimos métodos dichos. Todos los cálculos fueron realizados para cada caso de carga. Los encabezados con la letra B indican que son los momentos en los bordes y los que tienen la letra C, en el centro, antepuestos con la dirección de cada uno.

TABLA 37. MOMENTOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES: EDIFICIO TIPO MURO SOBRE SUELO MC													
Losa	Comb.	Viga 25x90 cm				Apoyos rígidos				Relación SAFE/M. Coeficientes			
		Momento (ton-m/m) SAFE				Momento (ton-m/m) M. Coeficientes							
		2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C
B	1	4.85	5.10	-2.50	-2.15	6.96	5.56	-3.82	-3.07	0.70	0.92	0.65	0.70
	2	5.20	5.45	-2.70	-2.30	7.54	6.02	-4.30	-3.45	0.69	0.91	0.63	0.67
	3X	4.10	4.35	-2.10	-1.90	8.11	6.47	-4.50	-3.61	0.51	0.67	0.47	0.53
	3Y	4.20	4.20	-1.95	-1.90	8.69	6.93	-4.82	-3.87	0.48	0.61	0.40	0.49
	4X	3.40	3.60	-1.75	-1.60	7.12	5.68	-3.91	-3.14	0.48	0.63	0.45	0.51
	4Y	3.50	3.60	-1.60	-1.60	7.70	6.15	-4.23	-3.39	0.45	0.59	0.38	0.47
C	1	6.15	4.00	-2.65	-1.95	7.82	3.46	-3.00	-2.09	0.79	1.15	0.88	0.93
	2	6.70	4.40	-2.75	-2.10	9.58	4.25	-3.94	-2.79	0.70	1.04	0.70	0.75
	3X	5.40	3.70	-2.10	-1.80	8.37	3.71	-3.30	-2.31	0.64	1.00	0.64	0.78
	3Y	4.70	2.80	-2.45	-1.55	7.90	3.50	-3.12	-2.18	0.59	0.80	0.79	0.71
	4X	4.60	3.10	-1.78	-1.50	8.00	3.54	-3.07	-2.14	0.58	0.87	0.58	0.70
	4Y	3.90	2.2	-2.10	-1.30	6.79	3.01	-2.61	-1.82	0.57	0.73	0.81	0.72
D	1	7.60	4.50	-4.10	-4.10	8.94	8.84	-3.32	-5.03	0.85	0.51	1.23	0.82
	2	8.00	5.10	-4.40	-4.70	10.96	10.81	-4.27	-6.58	0.73	0.47	1.03	0.71
	3X	6.50	4.30	-3.40	-3.80	9.57	9.45	-3.62	-5.52	0.68	0.45	0.94	0.69
	3Y	6.50	3.45	-3.55	-3.65	11.69	11.55	-4.41	-6.71	0.56	0.30	0.81	0.54
	4X	5.40	3.65	-2.85	-3.15	9.14	9.04	-3.40	-5.14	0.59	0.40	0.84	0.61
	4Y	5.55	2.80	-2.95	-3.05	10.42	10.30	-3.87	-5.86	0.53	0.27	0.76	0.52
E	1	4.75	6.90	-3.10	-2.10	6.37	5.66	-3.83	-2.11	0.75	1.22	0.81	1.00
	2	4.95	7.25	-3.35	-2.25	7.81	6.94	-5.03	-2.73	0.63	1.04	0.67	0.82
	3X	4.00	6.50	-2.50	-1.90	6.20	5.51	-3.83	-2.10	0.65	1.18	0.65	0.91
	3Y	3.95	5.75	-2.60	-1.70	7.95	7.07	-4.89	-2.68	0.50	0.81	0.53	0.64
	4X	3.40	5.70	-2.10	-1.60	5.29	4.71	-3.18	-1.75	0.64	1.21	0.66	0.91

	4Y	3.30	4.90	-2.10	-1.45	7.05	6.26	-4.24	-2.33	0.47	0.78	0.50	0.62
<b>F</b>	1	5.60	4.30	-2.35	-1.90	8.06	3.87	-3.23	-1.45	0.69	1.11	0.73	1.31
	2	5.85	4.80	-2.50	-2.10	9.88	4.75	-4.32	-1.98	0.59	1.01	0.58	1.06
	3X	4.80	3.75	-1.90	-1.70	7.85	3.77	-3.26	-1.47	0.61	0.99	0.58	1.15
	3Y	4.70	3.65	-2.10	-1.50	8.15	3.91	-3.37	-1.53	0.58	0.93	0.62	0.98
	4X	4.00	3.15	-1.55	-1.40	6.70	3.22	-2.68	-1.21	0.60	0.98	0.58	1.16
	4Y	3.95	3.10	-1.75	-1.25	7.00	3.36	-2.80	-1.26	0.56	0.92	0.62	0.99
<b>I</b>	1	4.40	6.15	-3.20	-2.10	6.37	5.66	-3.83	-2.11	0.69	1.09	0.84	1.00
	2	4.60	6.70	-3.40	-2.20	7.81	6.94	-5.03	-2.73	0.59	0.97	0.68	0.81
	3X	3.70	5.50	-2.60	-1.85	6.20	5.51	-3.83	-2.10	0.60	1.00	0.68	0.88
	3Y	3.70	5.30	-2.70	-1.70	7.95	7.07	-4.89	-2.68	0.47	0.75	0.55	0.64
	4X	3.10	4.60	-2.15	-1.55	5.29	4.71	-3.18	-1.75	0.59	0.98	0.68	0.89
	4Y	3.10	4.40	-2.25	-1.45	7.05	6.26	-4.24	-2.33	0.44	0.70	0.53	0.62
<b>J</b>	1	5.40	4.55	-2.40	-1.80	8.06	3.87	-3.23	-1.45	0.67	1.17	0.74	1.24
	2	5.80	5.00	-2.50	-2.00	9.88	4.75	-4.32	-1.98	0.59	1.05	0.58	1.01
	3X	4.70	4.30	-1.85	-1.70	7.85	3.77	-3.26	-1.47	0.60	1.14	0.57	1.15
	3Y	4.60	3.85	-2.10	-1.40	8.15	3.91	-3.37	-1.53	0.56	0.98	0.62	0.92
	4X	3.95	3.65	-1.60	-1.40	6.70	3.22	-2.68	-1.21	0.59	1.13	0.60	1.16
	4Y	3.90	3.30	-1.75	-1.15	7.00	3.36	-2.80	-1.26	0.56	0.98	0.62	0.91

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 38. MOMENTOS PARA LOSAS EN UNA DIRECCIÓN: EDIFICIO TIPO MURO SOBRE SUELO MC										
Losa	Comb.	Viga 25x90 cm SAFE			Método de viga continua SAP2000			Relación SAFE V 25x90 cm/M. viga continua.		
		Momentos (ton-m)/m			Momentos (ton-m)/m					
		Apoyo discontinuo (A) / continuo (G y H)	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo (A) / continuo (G y H)	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo (A) / continuo (G y H)	Apoyo continuo	Vano
<b>A</b>	1	1.60	3.00	-0.63	0.31	16.30	-5.60	5.16	0.18	0.11
	2	1.70	3.10	-0.70	0.33	17.60	-6.03	5.15	0.18	0.12
	3X	1.65	2.15	-0.55	0.36	19.03	-6.52	4.58	0.11	0.08
	3Y	1.55	2.8	-0.60	0.16	17.66	-5.35	9.69	0.16	0.11
	4X	1.53	1.77	-0.47	0.32	16.75	-5.73	4.78	0.11	0.08
	4Y	1.45	1.90	-0.50	0.12	15.40	-1.60	12.08	0.12	0.31
<b>G</b>	1	2.05	2.05	-0.60	6.90	6.90	-3.35	0.30	0.30	0.18
	2	2.22	2.22	-0.63	6.55	6.55	-3.60	0.34	0.34	0.18
	3X	2.15	1.20	-0.50	5.35	4.67	-2.75	0.40	0.26	0.18
	3Y	2.10	1.44	-0.50	6.15	6.15	-3.40	0.34	0.23	0.15
	4X	0.88	1.87	-0.41	4.50	3.82	-2.30	0.20	0.49	0.18
	4Y	1.80	1.80	-0.42	5.30	5.30	-2.90	0.34	0.34	0.14
<b>H</b>	1	1.60	1.60	-1.00	6.90	6.90	-3.35	0.23	0.23	0.30
	2	1.73	1.73	-1.05	6.55	6.55	-3.60	0.26	0.26	0.29
	3X	1.20	1.40	-0.80	5.35	4.67	-2.75	0.22	0.30	0.29
	3Y	1.57	1.57	-0.82	7.60	7.60	-4.20	0.21	0.21	0.20
	4X	0.82	1.20	-0.67	4.50	3.82	-2.30	0.18	0.31	0.29
	4Y	1.35	1.35	-0.70	6.65	6.65	-3.65	0.20	0.20	0.19

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 39. MOMENTOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES: EDIFICIO TIPO MURO SOBRE SUELO BL													
Losa	Comb.	Viga 25x90 cm				Apoyos rígidos				Relación SAFE/M. Coeficientes			
		Momento (ton-m/m) M. SAFE				Momento (ton-m/m) M. Coef.							
		2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C
B	1	4.80	5.10	-2.50	-2.15	6.96	5.56	-3.82	-3.07	0.69	0.92	0.65	0.70
	2	5.10	5.50	-2.70	-2.30	7.54	6.02	-4.30	-3.45	0.68	0.91	0.63	0.67
	3X	3.85	4.45	-2.20	-2.00	8.11	6.47	-4.50	-3.61	0.47	0.69	0.49	0.55
	3Y	3.82	4.30	-2.10	-2.00	8.69	6.93	-4.82	-3.87	0.44	0.62	0.44	0.52
	4X	3.20	3.70	-1.82	-1.67	7.12	5.68	-3.91	-3.14	0.45	0.65	0.47	0.53
	4Y	3.20	3.64	-1.75	-1.72	7.70	6.15	-4.23	-3.39	0.42	0.59	0.41	0.51
C	1	6.15	4.00	-2.60	-1.95	7.82	3.46	-3.00	-2.09	0.79	1.15	0.87	0.93
	2	6.65	4.45	-2.70	-2.10	9.58	4.25	-3.94	-2.79	0.69	1.05	0.69	0.75
	3X	5.66	3.80	-2.13	-1.85	8.37	3.71	-3.30	-2.31	0.68	1.02	0.65	0.80
	3Y	4.75	3.15	-2.30	-1.66	7.90	3.50	-3.12	-2.18	0.60	0.90	0.74	0.76
	4X	4.70	3.20	-0.80	-1.57	8.00	3.54	-3.07	-2.14	0.59	0.90	0.26	0.73
	4Y	4.00	2.55	-1.96	-1.38	6.79	3.01	-2.61	-1.82	0.59	0.85	0.75	0.76
D	1	7.40	4.65	-3.80	-4.23	8.94	8.84	-3.32	-5.03	0.83	0.53	1.14	0.84
	2	7.85	5.00	-4.00	-4.55	10.96	10.81	-4.27	-6.58	0.72	0.46	0.94	0.69
	3X	6.60	4.27	-3.20	-3.78	9.57	9.45	-3.62	-5.52	0.69	0.45	0.88	0.69
	3Y	6.13	3.53	-3.30	-3.65	11.69	11.55	-4.41	-6.71	0.52	0.31	0.75	0.54
	4X	5.50	3.62	-2.70	-3.20	9.14	9.04	-3.40	-5.14	0.60	0.40	0.79	0.62
	4Y	5.06	2.88	-2.80	-3.06	10.42	10.30	-3.87	-5.86	0.49	0.28	0.72	0.52
E	1	3.15	7.10	-3.10	-2.14	6.37	5.66	-3.83	-2.11	0.49	1.25	0.81	1.02
	2	3.80	7.05	-3.30	-2.20	7.81	6.94	-5.03	-2.73	0.49	1.02	0.66	0.81
	3X	2.45	6.20	-2.55	-1.85	6.20	5.51	-3.83	-2.10	0.40	1.12	0.67	0.88
	3Y	3.93	1.28	-2.75	-1.66	7.95	7.07	-4.89	-2.68	0.49	0.18	0.56	0.62
	4X	1.85	5.40	-2.11	-1.57	5.29	4.71	-3.18	-1.75	0.35	1.15	0.66	0.90
	4Y	3.35	4.42	-2.31	-1.40	7.05	6.26	-4.24	-2.33	0.48	0.71	0.55	0.60
F	1	5.00	4.40	-2.30	-1.92	8.06	3.87	-3.23	-1.45	0.62	1.14	0.71	1.32
	2	5.70	4.75	-2.45	-2.05	9.88	4.75	-4.32	-1.98	0.58	1.00	0.57	1.04
	3X	4.85	3.75	-1.90	-1.68	7.85	3.77	-3.26	-1.47	0.62	0.99	0.58	1.14
	3Y	4.80	3.70	-2.05	-1.50	8.15	3.91	-3.37	-1.53	0.59	0.95	0.61	0.98
	4X	3.95	3.15	-1.57	-1.42	6.70	3.22	-2.68	-1.21	0.59	0.98	0.59	1.18
	4Y	4.07	3.42	-1.73	-1.35	7.00	3.36	-2.80	-1.26	0.58	1.02	0.62	1.07
I	1	3.70	6.30	-3.15	-2.10	6.37	5.66	-3.83	-2.11	0.58	1.11	0.82	1.00
	2	4.20	6.60	-3.36	-2.20	7.81	6.94	-5.03	-2.73	0.54	0.95	0.67	0.81
	3X	2.83	4.73	-2.60	-1.56	6.20	5.51	-3.83	-2.10	0.46	0.86	0.68	0.74
	3Y	3.95	5.15	-2.80	-1.70	7.95	7.07	-4.89	-2.68	0.50	0.73	0.57	0.64
	4X	2.25	4.55	-2.18	-1.55	5.29	4.71	-3.18	-1.75	0.43	0.97	0.68	0.89
	4Y	3.37	4.35	-2.36	-1.45	7.05	6.26	-4.24	-2.33	0.48	0.69	0.56	0.62
J	1	5.35	4.65	-2.30	-1.85	8.06	3.87	-3.23	-1.45	0.66	1.20	0.71	1.28
	2	5.73	5.00	-2.42	-1.95	9.88	4.75	-4.32	-1.98	0.58	1.05	0.56	0.99
	3X	4.61	4.20	-1.88	-1.66	7.85	3.77	-3.26	-1.47	0.59	1.11	0.58	1.13
	3Y	4.65	5.30	-2.00	-1.40	8.15	3.91	-3.37	-1.53	0.57	1.35	0.59	0.92
	4X	3.86	3.52	-1.55	-1.40	6.70	3.22	-2.68	-1.21	0.58	1.09	0.58	1.16
	4Y	3.93	3.30	-1.69	-1.14	7.00	3.36	-2.80	-1.26	0.56	0.98	0.60	0.91

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ©

TABLA 40. MOMENTOS PARA LOSAS EN UNA DIRECCIÓN: EDIFICIO TIPO MURO SOBRE SUELO BL										
Losas	Comb.	Viga 25x90 cm SAFE			Método de viga continua SAP2000			Relación SAFE V 25x90 cm/M. viga continua		
		Momentos (ton-m) / m			Momentos (ton-m) / m			Apoyo discontinuo (A) / continuo (G y H)	Apoyo continuo	Vano
		Apoyo discontinuo (A) / continuo (G y H)	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo (A) / continuo (G y H)	Apoyo continuo	Vano			
A	1	1.50	3.02	-0.60	0.31	16.30	-5.60	4.84	0.19	0.11
	2	1.60	3.15	-0.63	0.33	17.60	-6.03	4.85	0.18	0.10
	3X	1.65	2.15	-0.50	0.36	19.03	-6.52	4.58	0.11	0.08
	3Y	1.55	2.4	-0.50	0.16	17.66	-5.35	9.69	0.14	0.09
	4X	1.50	1.75	-0.44	0.32	16.75	-5.73	4.69	0.10	0.08
	4Y	1.30	2.02	-0.44	0.12	15.40	-1.60	10.83	0.13	0.28
G	1	2.00	2.00	-0.60	6.90	6.90	-3.35	0.29	0.29	0.18
	2	2.22	2.22	-0.63	6.55	6.55	-3.60	0.34	0.34	0.18
	3X	1.45	1.90	-0.47	5.35	4.67	-2.75	0.27	0.41	0.17
	3Y	2.02	2.02	-0.51	6.15	6.15	-3.40	0.33	0.33	0.15
	4X	1.15	1.60	-0.40	4.50	3.82	-2.30	0.26	0.42	0.17
	4Y	1.73	1.73	-0.43	5.30	5.30	-2.90	0.33	0.33	0.15
H	1	1.60	1.60	-1.00	6.90	6.90	-3.35	0.23	0.23	0.30
	2	1.74	1.74	-1.10	6.55	6.55	-3.60	0.27	0.27	0.31
	3X	1.25	1.36	-0.83	5.35	4.67	-2.75	0.23	0.29	0.30
	3Y	1.50	1.50	-0.85	7.60	7.60	-4.20	0.20	0.20	0.20
	4X	1.00	1.15	-0.70	4.50	3.82	-2.30	0.22	0.30	0.30
	4Y	1.26	1.26	-0.72	6.65	6.65	-3.65	0.19	0.19	0.20

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 41. MOMENTOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES: EDIFICIO TIPO MARCO SOBRE SUELO MC													
Losas	Comb.	Viga 25x90 cm				Apoyos rígidos				Relación SAFE/M. Coeficientes			
		Momento (ton-m/m) SAFE				Momento (ton-m/m) M. Coef.				2B	1B	2C	1C
		2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C				
B	1	6.00	7.92	-3.40	-3.40	6.23	3.89	-3.74	-1.51	0.96	2.03	0.91	2.25
	2	6.80	8.60	-3.45	-3.70	6.78	4.24	-4.37	-1.75	1.00	2.03	0.79	2.12
	3X	5.30	6.90	-2.75	-2.80	5.14	3.21	-3.18	-1.28	1.03	2.15	0.86	2.19
	3Y	4.10	6.95	-3.50	-3.20	7.02	4.39	-4.31	-1.74	0.58	1.58	0.81	1.84
	4X	4.30	5.60	-2.25	-2.30	4.25	2.65	-2.55	-1.03	1.01	2.11	0.88	2.23
	4Y	3.10	5.80	-3.10	-2.70	5.49	3.43	-3.29	-1.33	0.56	1.69	0.94	2.02
C	1	2.97	5.20	-4.40	-5.00	21.83	10.61	-8.12	-6.25	0.14	0.49	0.54	0.80
	2	3.30	5.80	-4.75	-5.45	23.76	11.55	-9.49	-7.48	0.14	0.50	0.50	0.73
	3X	2.75	4.50	-3.90	-4.50	20.44	9.94	-7.81	-6.06	0.13	0.45	0.50	0.74
	3Y	3.30	4.30	-3.60	-4.15	20.85	10.13	-7.96	-6.18	0.16	0.42	0.45	0.67
	4X	2.30	3.70	-3.30	-3.80	17.31	8.41	-6.44	-4.95	0.13	0.44	0.51	0.77
	4Y	2.85	3.55	-2.97	-3.40	15.79	7.68	-5.88	-4.52	0.18	0.46	0.51	0.75
D	1	5.95	5.20	-4.90	-3.40	9.15	13.92	-3.70	-5.57	0.65	0.37	1.32	0.61
	2	6.80	5.80	-5.45	-3.82	9.96	15.15	-4.50	-6.80	0.68	0.38	1.21	0.56
	3X	5.30	4.50	-4.10	-2.85	7.56	11.49	-3.20	-4.83	0.70	0.39	1.28	0.59
	3Y	6.20	4.33	-4.00	-2.85	8.74	13.30	-3.68	-5.55	0.71	0.33	1.09	0.51
	4X	4.30	3.70	-3.30	-2.30	6.24	9.49	-2.52	-3.80	0.69	0.39	1.31	0.61
	4Y	5.30	3.55	-3.30	-2.30	6.62	10.07	-2.68	-4.03	0.80	0.35	1.23	0.57

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 42. MOMENTOS PARA LOSAS EN UNA DIRECCIÓN: EDIFICIO TIPO MARCO SOBRE SUELO MC										
Losa	Comb.	Viga 25x90 cm			Método de viga continua SAP2000			Relación SAFE V 25x90 cm/M. viga continua.		
		Momentos (ton-m)/m			Momentos (ton-m)/m			Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano
		Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano			
A	1	0.10	3.20	-3.60	0.56	22.80	-1.40	0.18	0.14	2.57
	2	0.10	3.55	-3.73	0.61	24.80	-1.50	0.16	0.14	2.49
	3X	0.07	2.75	-3.25	0.54	21.40	-1.3	0.13	0.13	2.50
	3Y	-0.03	1.85	-3.85	0.73	22.50	-0.03	-0.03	0.08	128.33
	4X	0.06	2.3	-2.78	0.45	18.10	-1.1	0.13	0.13	2.53
	4Y	-0.04	1.35	-3.40	0.6	17.10	-0.36	-0.07	0.08	9.44

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 43. MOMENTOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES: EDIFICIO TIPO MARCO SOBRE SUELO BL													
Losa	Comb.	Viga 25x90 cm				Apoyos rígidos				Relación SAFE/M. Coef.			
		Momento (ton-m/m) SAFE				Momento (ton-m/m) M. Coef.				Relación SAFE/M. Coef.			
		2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C
B	1	6.20	7.90	-3.00	-3.20	6.23	3.89	-3.74	-1.51	1.00	2.03	0.80	2.11
	2	7.00	8.63	-3.15	-3.40	6.78	4.24	-4.37	-1.75	1.03	2.04	0.72	1.95
	3X	5.40	6.97	-2.45	-2.60	5.14	3.21	-3.18	-1.28	1.05	2.17	0.77	2.03
	3Y	4.05	7.00	-3.30	-3.00	7.02	4.39	-4.31	-1.74	0.58	1.59	0.77	1.73
	4X	4.40	5.80	-2.05	-2.20	4.25	2.65	-2.55	-1.03	1.04	2.18	0.80	2.13
	4Y	3.00	5.85	-2.90	-2.60	5.49	3.43	-3.29	-1.33	0.55	1.70	0.88	1.95
C	1	3.50	6.00	-5.85	-6.55	21.83	10.61	-8.12	-6.25	0.16	0.57	0.72	1.05
	2	3.88	6.70	-6.30	-7.10	23.76	11.55	-9.49	-7.48	0.16	0.58	0.66	0.95
	3X	3.00	5.20	-5.20	-5.85	20.44	9.94	-7.81	-6.06	0.15	0.52	0.67	0.96
	3Y	3.90	5.00	-4.80	-5.35	20.85	10.13	-7.96	-6.18	0.19	0.49	0.60	0.87
	4X	2.66	4.30	-4.40	-4.90	17.31	8.41	-6.44	-4.95	0.15	0.51	0.68	0.99
	4Y	3.40	4.10	-4.00	-4.44	15.79	7.68	-5.88	-4.52	0.22	0.53	0.68	0.98
D	1	6.20	6.00	-5.70	-3.67	9.15	13.92	-3.70	-5.57	0.68	0.43	1.54	0.66
	2	7.00	6.70	-6.30	-4.05	9.96	15.15	-4.50	-6.80	0.70	0.44	1.40	0.60
	3X	5.40	5.20	-4.70	-3.05	7.56	11.49	-3.20	-4.83	0.71	0.45	1.47	0.63
	3Y	6.45	5.00	-4.70	-3.05	8.74	13.30	-3.68	-5.55	0.74	0.38	1.28	0.55
	4X	4.40	4.30	-3.86	-2.50	6.24	9.49	-2.52	-3.80	0.71	0.45	1.53	0.66
	4Y	5.50	4.10	-3.86	-2.50	6.62	10.07	-2.68	-4.03	0.83	0.41	1.44	0.62

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 44. MOMENTOS PARA LOSAS EN UNA DIRECCIÓN: EDIFICIO TIPO MARCO SOBRE SUELO BL										
Los a	Comb	Viga 25x90 cm			Método de viga continua SAP2000			Relación SAFE V 25x90 cm/M. viga continua		
		Momentos (ton-m)/m			Momentos (ton-m)/m			Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano
		Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano			
A	1	0.20	3.50	-3.70	0.56	22.80	-1.40	0.36	0.15	2.64
	2	0.20	4.15	-3.85	0.61	24.80	-1.50	0.33	0.17	2.57
	3X	0.18	3.23	-3.30	0.54	21.40	-1.3	0.33	0.15	2.54
	3Y	0.10	2.1	-4.00	0.73	22.50	-0.03	0.14	0.09	133.3
	4X	0.15	2.67	-2.85	0.45	18.10	-1.1	0.33	0.15	2.59
	4Y	0.08	1.53	-3.50	0.6	17.10	-0.36	0.13	0.09	9.72

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 45. MOMENTOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES: EDIFICIO TIPO DUAL SOBRE SUELO MC													
Los a	Comb	Viga 25x90 cm				Apoyos rígidos				Relación SAFE/M. Coef.			
		Momento (ton-m/m) SAFE				Momento (ton-m/m) M. Coef.				2B	1B	2C	1C
		2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C				
B	1	2.13	3.75	-3.20	-2.59	6.87	4.29	-4.12	-1.67	0.31	0.87	0.78	1.55
	2	4.04	5.31	-3.64	-3.30	7.68	4.80	-4.99	-1.99	0.53	1.11	0.73	1.66
	3X	2.29	3.75	-2.67	-2.30	5.77	3.60	-3.58	-1.44	0.40	1.04	0.75	1.60
	3Y	1.96	3.56	-3.10	-2.46	7.14	4.46	-4.40	-1.77	0.27	0.80	0.70	1.39
	4X	1.45	2.86	-2.18	-1.78	4.71	2.95	-2.83	-1.15	0.31	0.97	0.77	1.55
	4Y	1.11	2.64	-2.60	-1.94	6.08	3.80	-3.65	-1.48	0.18	0.69	0.71	1.31
C	1	-0.37	1.82	-2.69	-3.09	24.06	11.69	-8.95	-6.88	-0.02	0.16	0.30	0.45
	2	-0.26	0.03	-3.48	-4.02	26.93	13.09	-10.01	-9.48	-0.01	0.00	0.35	0.42
	3X	-0.22	1.85	-2.45	-2.88	22.86	11.11	-8.50	-7.09	-0.01	0.17	0.29	0.41
	3Y	-0.60	1.84	-2.39	-2.75	21.24	10.33	-7.90	-6.63	-0.03	0.18	0.30	0.41
	4X	-0.26	1.24	-1.90	-2.24	19.17	9.32	-7.13	-5.48	-0.01	0.13	0.27	0.41
	4Y	-0.63	1.24	-1.83	-2.10	17.55	8.53	-6.53	-5.02	-0.04	0.15	0.28	0.42
D	1	2.13	1.80	-2.46	-1.29	10.09	15.34	-4.08	-6.14	0.21	0.12	0.60	0.21
	2	4.05	3.07	-3.70	-2.14	11.29	17.17	-5.15	-7.79	0.36	0.18	0.72	0.27
	3X	2.30	1.82	-2.34	-1.30	8.47	12.88	-3.61	-5.44	0.27	0.14	0.65	0.24
	3Y	2.64	1.83	-2.34	-1.30	8.91	13.55	-3.79	-5.71	0.30	0.14	0.62	0.23
	4X	1.45	1.23	-1.67	-0.88	6.92	10.53	-2.80	-4.21	0.21	0.12	0.60	0.21
	4Y	1.79	1.23	-1.67	-0.88	7.36	11.19	-2.98	-4.48	0.24	0.11	0.56	0.20

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 46. MOMENTOS PARA LOSAS EN UNA DIRECCIÓN: EDIFICIO TIPO DUAL SOBRE SUELO MC										
Los a	Comb.	Viga 25x90 cm			Método de viga continua SAP2000			Relación SAFE V 25x90 cm/M. viga continua		
		Momentos (ton-m) / m			Momentos (ton-m) / m			Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano
		Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano			
A	1	7.96	-0.38	-2.81	-0.62	25.09	-1.51	-12.84	-0.02	1.86
	2	9.68	-0.28	-3.27	-0.69	28.09	-1.69	-14.03	-0.01	1.93
	3X	7.05	-0.32	-2.37	-0.59	23.85	-1.44	-11.95	-0.01	1.65
	3Y	7.09	-0.67	-2.75	-0.74	22.88	-0.02	-9.58	-0.03	137.50
	4X	5.59	-0.32	-1.91	-0.50	20.15	-1.2	-11.18	-0.02	1.59
	4Y	5.63	-0.68	-2.28	-0.65	19.18	-0.22	-8.66	-0.04	10.36

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 47. MOMENTOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES: EDIFICIO TIPO DUAL SOBRE SUELO BL													
Losa	Comb.	Viga 25x90 cm				Apoyos rígidos				Relación SAFE/M. Coef.			
		Momento (ton-m/m) SAFE				Momento (ton-m/m) M. Coef.							
		2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C
B	1	1.90	3.75	-3.23	-2.67	6.87	4.29	-4.12	-1.67	0.28	0.87	0.78	1.60
	2	3.95	5.29	-3.58	-3.31	7.68	4.80	-4.99	-1.99	0.51	1.10	0.72	1.66
	3X	2.15	3.75	-2.67	-2.35	5.77	3.60	-3.58	-1.44	0.37	1.04	0.75	1.63
	3Y	1.77	3.55	-3.09	-2.49	7.14	4.46	-4.40	-1.77	0.25	0.80	0.70	1.40
	4X	1.29	2.84	-2.19	-1.83	4.71	2.95	-2.83	-1.15	0.27	0.96	0.77	1.60
	4Y	0.91	2.63	-2.60	-1.97	6.08	3.80	-3.65	-1.48	0.15	0.69	0.71	1.33
C	1	-0.20	1.96	-3.96	-4.24	24.06	11.69	-8.95	-6.88	-0.01	0.17	0.44	0.62
	2	0.14	3.44	-5.00	-5.49	26.93	13.09	-10.01	-9.48	0.01	0.26	0.50	0.58
	3X	-0.05	2.05	-3.40	-3.60	22.86	11.11	-8.50	-7.09	0.00	0.18	0.40	0.51
	3Y	-0.45	2.02	-3.49	-3.76	21.24	10.33	-7.90	-6.63	-0.02	0.20	0.44	0.57
	4X	-0.13	1.36	-2.61	-2.72	19.17	9.32	-7.13	-5.48	-0.01	0.15	0.37	0.50
	4Y	-0.53	1.33	-2.69	-2.88	17.55	8.53	-6.53	-5.02	-0.03	0.16	0.41	0.57
D	1	1.93	1.93	-3.28	-1.48	10.09	15.34	-4.08	-6.14	0.19	0.13	0.80	0.24
	2	3.98	3.40	-4.65	-2.30	11.29	17.17	-5.15	-7.79	0.35	0.20	0.90	0.30
	3X	2.18	2.02	-3.04	-1.44	8.47	12.88	-3.61	-5.44	0.26	0.16	0.84	0.26
	3Y	2.56	1.99	-3.04	-1.43	8.91	13.55	-3.79	-5.71	0.29	0.15	0.80	0.25
	4X	1.31	1.34	-2.23	-1.00	6.92	10.53	-2.80	-4.21	0.19	0.13	0.80	0.24
	4Y	1.69	1.31	-2.23	-1.00	7.36	11.19	-2.98	-4.48	0.23	0.12	0.75	0.22

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 48. MOMENTOS PARA LOSAS EN UNA DIRECCIÓN: EDIFICIO TIPO DUAL SOBRE SUELO BL										
Losa	Comb.	Viga 25x90 cm			Método de viga continua SAP2000			Relación SAFE V 25x90 cm/M. viga continua		
		Momentos (ton-m) / m			Momentos (ton-m) / m					
		Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano
A	1	8.23	-0.32	-2.52	0.62	-25.09	-1.51	13.27	0.01	1.67
	2	10.20	-0.43	-2.88	0.69	-28.09	-1.69	14.78	0.02	1.70
	3X	6.94	-0.44	-2.10	0.59	-23.85	-1.44	11.76	0.02	1.46
	3Y	7.37	-0.83	-2.46	0.74	-22.88	-0.02	9.96	0.04	123.00
	4X	5.38	-0.43	-1.71	0.50	-20.15	-1.2	10.76	0.02	1.43
	4Y	5.80	-0.82	-2.05	0.65	-19.18	-0.22	8.92	0.04	9.32

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 49. MOMENTOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES: EDIFICIO TIPO MURO SOBRE SUELO MC													
Losas	Comb.	Viga 25x70 cm				Apoyos rígidos				Relación SAFE/M. Coef.			
		Momento en el centro (ton-m/m) SAFE				Momento en el centro (ton-m/m) M. Coef.							
		2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C
B	1	4.85	5.10	-2.50	-2.10	6.96	5.56	-3.82	-3.07	0.70	0.92	0.65	0.69
	2	5.30	5.45	-2.60	-2.30	7.54	6.02	-4.30	-3.45	0.70	0.91	0.61	0.67
	3X	4.10	4.60	-2.00	-1.90	8.11	6.47	-4.50	-3.61	0.51	0.71	0.44	0.53
	3Y	4.15	4.65	-1.85	-1.91	8.69	6.93	-4.82	-3.87	0.48	0.67	0.38	0.49
	4X	3.45	3.90	-1.70	-1.61	7.12	5.68	-3.91	-3.14	0.48	0.69	0.43	0.51
	4Y	3.50	4.00	-1.50	-1.60	7.70	6.15	-4.23	-3.39	0.45	0.65	0.35	0.47
C	1	6.10	3.80	-2.50	-1.85	7.82	3.46	-3.00	-2.09	0.78	1.10	0.83	0.88
	2	6.70	4.30	-2.75	-2.00	9.58	4.25	-3.94	-2.79	0.70	1.01	0.70	0.72
	3X	5.50	3.65	-2.10	-1.75	8.37	3.71	-3.30	-2.31	0.66	0.98	0.64	0.76
	3Y	4.70	2.50	-2.50	-1.45	7.90	3.50	-3.12	-2.18	0.59	0.71	0.80	0.66
	4X	4.60	3.00	-1.75	-1.50	8.00	3.54	-3.07	-2.14	0.58	0.85	0.57	0.70
	4Y	3.80	1.9	-2.20	-1.20	6.79	3.01	-2.61	-1.82	0.56	0.63	0.84	0.66
D	1	7.25	4.10	-3.60	-4.25	8.94	8.84	-3.32	-5.03	0.81	0.46	1.08	0.85
	2	8.30	4.45	-4.40	-4.60	10.96	10.81	-4.27	-6.58	0.76	0.41	1.03	0.70
	3X	6.50	3.80	-3.40	-3.67	9.57	9.45	-3.62	-5.52	0.68	0.40	0.94	0.67
	3Y	7.00	2.85	-3.70	-3.55	11.69	11.55	-4.41	-6.71	0.60	0.25	0.84	0.53
	4X	5.40	3.20	-2.85	-3.10	9.14	9.04	-3.40	-5.14	0.59	0.35	0.84	0.60
	4Y	5.95	2.25	-3.20	-2.95	10.42	10.30	-3.87	-5.86	0.57	0.22	0.83	0.50
E	1	4.60	8.20	-3.05	-2.15	6.37	5.66	-3.83	-2.11	0.72	1.45	0.80	1.02
	2	4.90	8.10	-3.40	-2.15	7.81	6.94	-5.03	-2.73	0.63	1.17	0.68	0.79
	3X	4.00	7.35	-2.50	-1.85	6.20	5.51	-3.83	-2.10	0.65	1.33	0.65	0.88
	3Y	3.90	6.60	-2.60	-1.65	7.95	7.07	-4.89	-2.68	0.49	0.93	0.53	0.62
	4X	3.40	6.40	-2.10	-1.60	5.29	4.71	-3.18	-1.75	0.64	1.36	0.66	0.91
	4Y	3.30	5.70	-2.15	-1.40	7.05	6.26	-4.24	-2.33	0.47	0.91	0.51	0.60
F	1	5.60	4.35	-2.30	-1.95	8.06	3.87	-3.23	-1.45	0.69	1.12	0.71	1.34
	2	5.90	4.75	-2.40	-2.05	9.88	4.75	-4.32	-1.98	0.60	1.00	0.56	1.04
	3X	4.85	3.85	-1.85	-1.74	7.85	3.77	-3.26	-1.47	0.62	1.02	0.57	1.18
	3Y	4.70	3.75	-2.10	-1.50	8.15	3.91	-3.37	-1.53	0.58	0.96	0.62	0.98
	4X	4.00	3.20	-1.50	-1.50	6.70	3.22	-2.68	-1.21	0.60	0.99	0.56	1.24
	4Y	3.95	3.10	-1.80	-1.25	7.00	3.36	-2.80	-1.26	0.56	0.92	0.64	0.99
I	1	4.40	6.60	-3.30	-2.15	6.37	5.66	-3.83	-2.11	0.69	1.17	0.86	1.02
	2	4.60	6.95	-3.50	-2.20	7.81	6.94	-5.03	-2.73	0.59	1.00	0.70	0.81
	3X	3.70	5.80	-2.70	-1.88	6.20	5.51	-3.83	-2.10	0.60	1.05	0.70	0.90
	3Y	3.70	5.50	-2.80	-1.70	7.95	7.07	-4.89	-2.68	0.47	0.78	0.57	0.64
	4X	3.10	4.95	-2.20	-1.60	5.29	4.71	-3.18	-1.75	0.59	1.05	0.69	0.91
	4Y	3.10	4.65	-2.30	-1.45	7.05	6.26	-4.24	-2.33	0.44	0.74	0.54	0.62
J	1	5.40	5.15	-2.30	-1.85	8.06	3.87	-3.23	-1.45	0.67	1.33	0.71	1.28
	2	5.90	5.60	-2.40	-1.95	9.88	4.75	-4.32	-1.98	0.60	1.18	0.56	0.99
	3X	4.70	4.70	-1.80	-1.68	7.85	3.77	-3.26	-1.47	0.60	1.25	0.55	1.14
	3Y	4.76	3.90	-2.00	-1.35	8.15	3.91	-3.37	-1.53	0.58	1.00	0.59	0.88
	4X	3.95	4.00	-1.50	-1.45	6.70	3.22	-2.68	-1.21	0.59	1.24	0.56	1.20
	4Y	4.00	3.30	-1.70	-1.10	7.00	3.36	-2.80	-1.26	0.57	0.98	0.61	0.87

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 50. MOMENTOS PARA LOSAS EN UNA DIRECCIÓN: EDIFICIO TIPO MURO SOBRE SUELO MC										
Losas	Comb	Viga 25x70 cm SAFE			Método de viga continua SAP2000			Relación SAFE V 25x90 cm / M. viga continua.		
		Momentos (ton-m)			Momentos (ton-m)			Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano
		Apoyo discontinuo (A) / continuo (G y H)	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo (A) / continuo (G y H)	Apoyo continuo	Vano			
A	1	1.67	3.00	-0.57	0.31	16.30	-5.60	5.39	0.18	0.10
	2	1.75	3.13	-0.64	0.33	17.60	-6.03	5.30	0.18	0.11
	3X	1.85	2.1	-0.50	0.36	19.03	-6.52	5.14	0.11	0.08
	3Y	1.8	2.25	-0.53	0.16	17.66	-5.35	11.25	0.13	0.10
	4X	1.65	1.71	-0.44	0.32	16.75	-5.73	5.16	0.10	0.08
	4Y	1.55	1.85	-0.45	0.12	15.40	-1.60	12.92	0.12	0.28
G	1	2.03	2.03	-0.57	6.90	6.90	-3.35	0.29	0.29	0.17
	2	2.20	2.20	-0.60	6.55	6.55	-3.60	0.34	0.34	0.17
	3X	1.00	2.30	-0.48	5.35	4.67	-2.75	0.19	0.49	0.17
	3Y	2.15	2.15	-0.50	6.15	6.15	-3.40	0.35	0.35	0.15
	4X	0.70	2.00	-0.40	4.50	3.82	-2.30	0.16	0.52	0.17
	4Y	1.87	1.87	-0.41	5.30	5.30	-2.90	0.35	0.35	0.14
H	1	0.85	0.85	-1.15	6.90	6.90	-3.35	0.12	0.12	0.34
	2	0.87	0.87	-1.21	6.55	6.55	-3.60	0.13	0.13	0.34
	3X	0.52	0.77	-0.93	5.35	4.67	-2.75	0.10	0.16	0.34
	3Y	0.82	0.82	-1.00	7.60	7.60	-4.20	0.11	0.11	0.24
	4X	0.40	0.65	-0.78	4.50	3.82	-2.30	0.09	0.17	0.34
	4Y	0.70	0.70	-0.83	6.65	6.65	-3.65	0.11	0.11	0.23

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 51. MOMENTOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES: EDIFICIO TIPO MURO SOBRE SUELO BL													
Losas	Comb.	Viga 25x70 cm				Apoyos rígidos				Relación SAFE/M. Coeficientes.			
		Momento en el centro (ton-m/m) SAFE				Momento en el centro (ton-m/m) M. Coef.							
		2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C
B	1	4.90	5.13	-2.45	-2.12	6.96	5.56	-3.82	-3.07	0.70	0.92	0.64	0.69
	2	5.16	5.45	-2.65	-2.30	7.54	6.02	-4.30	-3.45	0.68	0.91	0.62	0.67
	3X	3.83	4.40	-2.12	-1.97	8.11	6.47	-4.50	-3.61	0.47	0.68	0.47	0.55
	3Y	4.24	4.30	-1.97	-2.02	8.69	6.93	-4.82	-3.87	0.49	0.62	0.41	0.52
	4X	3.20	3.75	-1.78	-1.68	7.12	5.68	-3.91	-3.14	0.45	0.66	0.46	0.54
	4Y	3.12	3.60	-1.69	-1.73	7.70	6.15	-4.23	-3.39	0.41	0.59	0.40	0.51
C	1	6.05	3.90	-2.60	-1.87	7.82	3.46	-3.00	-2.09	0.77	1.13	0.87	0.89
	2	6.66	4.35	-2.67	-2.05	9.58	4.25	-3.94	-2.79	0.69	1.02	0.68	0.73
	3X	5.67	3.81	-2.11	-1.82	8.37	3.71	-3.30	-2.31	0.68	1.03	0.64	0.79
	3Y	5.08	3.00	-1.81	-1.60	7.90	3.50	-3.12	-2.18	0.64	0.86	0.58	0.73
	4X	4.79	3.20	-1.76	-1.55	8.00	3.54	-3.07	-2.14	0.60	0.90	0.57	0.72
	4Y	3.93	2.38	-1.98	-1.33	6.79	3.01	-2.61	-1.82	0.58	0.79	0.76	0.73
D	1	7.60	4.00	-4.00	-4.10	8.94	8.84	-3.32	-5.03	0.85	0.45	1.20	0.82
	2	7.96	4.35	-4.48	-4.43	10.96	10.81	-4.27	-6.58	0.73	0.40	1.05	0.67
	3X	6.60	3.75	-3.32	-3.68	9.57	9.45	-3.62	-5.52	0.69	0.40	0.92	0.67

	3Y	6.37	2.97	-3.42	-3.56	11.69	11.55	-4.41	-6.71	0.54	0.26	0.78	0.53
	4X	5.55	3.20	-2.80	-3.10	9.14	9.04	-3.40	-5.14	0.61	0.35	0.82	0.60
	4Y	5.38	2.40	-2.90	-2.98	10.42	10.30	-3.87	-5.86	0.52	0.23	0.75	0.51
<b>E</b>	1	2.92	7.80	-3.10	-2.10	6.37	5.66	-3.83	-2.11	0.46	1.38	0.81	1.00
	2	3.72	7.85	-3.37	-2.10	7.81	6.94	-5.03	-2.73	0.48	1.13	0.67	0.77
	3X	2.20	6.95	-2.56	-1.70	6.20	5.51	-3.83	-2.10	0.35	1.26	0.67	0.81
	3Y	4.16	5.85	-2.80	-1.49	7.95	7.07	-4.89	-2.68	0.52	0.83	0.57	0.56
	4X	1.64	6.04	-2.13	-1.45	5.29	4.71	-3.18	-1.75	0.31	1.28	0.67	0.83
	4Y	3.60	4.95	-2.36	-1.30	7.05	6.26	-4.24	-2.33	0.51	0.79	0.56	0.56
<b>F</b>	1	5.30	4.30	-2.26	-1.90	8.06	3.87	-3.23	-1.45	0.66	1.11	0.70	1.31
	2	5.82	4.65	-2.40	-2.02	9.88	4.75	-4.32	-1.98	0.59	0.98	0.56	1.02
	3X	4.84	3.87	-1.85	-1.71	7.85	3.77	-3.26	-1.47	0.62	1.03	0.57	1.16
	3Y	4.67	3.71	-1.66	-1.42	8.15	3.91	-3.37	-1.53	0.57	0.95	0.49	0.93
	4X	4.06	3.25	-1.55	-1.45	6.70	3.22	-2.68	-1.21	0.61	1.01	0.58	1.20
	4Y	4.20	3.10	-1.72	-1.21	7.00	3.36	-2.80	-1.26	0.60	0.92	0.61	0.96
<b>I</b>	1	3.35	6.50	-3.25	-2.10	6.37	5.66	-3.83	-2.11	0.53	1.15	0.85	1.00
	2	3.95	6.76	-3.50	-2.20	7.81	6.94	-5.03	-2.73	0.51	0.97	0.70	0.81
	3X	2.45	5.70	-2.70	-1.80	6.20	5.51	-3.83	-2.10	0.40	1.03	0.70	0.86
	3Y	3.90	5.42	-2.90	-1.55	7.95	7.07	-4.89	-2.68	0.49	0.77	0.59	0.58
	4X	1.90	4.85	-2.24	-1.57	5.29	4.71	-3.18	-1.75	0.36	1.03	0.70	0.90
	4Y	3.30	4.56	-2.45	-1.39	7.05	6.26	-4.24	-2.33	0.47	0.73	0.58	0.60
<b>J</b>	1	5.20	4.95	-2.22	-1.80	8.06	3.87	-3.23	-1.45	0.64	1.28	0.69	1.24
	2	5.70	5.45	-2.35	-1.90	9.88	4.75	-4.32	-1.98	0.58	1.15	0.54	0.96
	3X	4.63	4.61	-1.80	-1.63	7.85	3.77	-3.26	-1.47	0.59	1.22	0.55	1.11
	3Y	4.88	3.88	-1.95	-1.30	8.15	3.91	-3.37	-1.53	0.60	0.99	0.58	0.85
	4X	4.06	3.90	-1.50	-1.40	6.70	3.22	-2.68	-1.21	0.61	1.21	0.56	1.16
	4Y	4.20	3.27	-1.65	-1.06	7.00	3.36	-2.80	-1.26	0.60	0.97	0.59	0.84

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 52. MOMENTOS PARA LOSAS EN UNA DIRECCIÓN: EDIFICIO TIPO MURO SOBRE SUELO BL										
Losas	Comb	Viga 25x70 cm			Método de viga continua SAP2000			Relación SAFE V 25x70 cm / M. viga continua		
		Momentos (ton-m) / m			Momentos (ton-m) / m					
		Apoyo discontinuo (A) / continuo (G y H)	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo (A) / continuo (G y H)	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo (A) / continuo (G y H)	Apoyo continuo	Vano
<b>A</b>	1	1.60	3.10	-0.53	0.31	16.30	-5.60	5.16	0.19	0.09
	2	1.70	3.23	-0.60	0.33	17.60	-6.03	5.15	0.18	0.10
	3X	1.8	2.10	-0.45	0.36	19.03	-6.52	5.00	0.11	0.07
	3Y	1.65	2.40	-0.46	0.16	17.66	-5.35	10.31	0.14	0.09
	4X	1.6	1.69	-0.4	0.32	16.75	-5.73	5.00	0.10	0.07
	4Y	1.45	1.98	-0.4	0.12	15.40	-1.60	12.08	0.13	0.25
<b>G</b>	1	2.00	2.00	-0.60	6.90	6.90	-3.35	0.29	0.29	0.18
	2	2.20	2.20	-0.60	6.55	6.55	-3.60	0.34	0.34	0.17
	3X	1.36	1.94	-0.47	5.35	4.67	-2.75	0.25	0.42	0.17
	3Y	2.07	2.07	-0.50	6.15	6.15	-3.40	0.34	0.34	0.15

	4X	1.10	1.65	-0.40	4.50	3.82	-2.30	0.24	0.43	0.17
	4Y	1.80	1.80	-0.44	5.30	5.30	-2.90	0.34	0.34	0.15
<b>H</b>	1	0.80	0.80	-1.20	6.90	6.90	-3.35	0.12	0.12	0.36
	2	0.87	0.87	-1.25	6.55	6.55	-3.60	0.13	0.13	0.35
	3X	0.60	0.68	-1.00	5.35	4.67	-2.75	0.11	0.15	0.36
	3Y	0.77	0.77	-1.00	7.60	7.60	-4.20	0.10	0.10	0.24
	4X	0.50	0.56	-0.80	4.50	3.82	-2.30	0.11	0.15	0.35
	4Y	0.65	0.65	-0.85	6.65	6.65	-3.65	0.10	0.10	0.23

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 53. MOMENTOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES: EDIFICIO TIPO MARCO SOBRE SUELO MC													
Losas	Comb	Viga 25x70 cm				Apoyos rígidos				Relación SAFE/M. Coef.			
		Momento en el centro (ton-m/m) SAFE				Momento en el centro (ton-m/m) M. Coef.							
		2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C
<b>B</b>	1	4.90	8.53	-3.00	-4.50	6.23	3.89	-3.74	-1.51	0.79	2.19	0.80	2.97
	2	5.65	9.30	-3.10	-4.85	6.78	4.24	-4.37	-1.75	0.83	2.19	0.71	2.77
	3X	4.15	7.40	-2.40	-3.65	5.14	3.21	-3.18	-1.28	0.81	2.30	0.75	2.85
	3Y	2.90	7.50	-3.30	-4.15	7.02	4.39	-4.31	-1.74	0.41	1.71	0.77	2.39
	4X	3.20	6.20	-2.04	-3.05	4.25	2.65	-2.55	-1.03	0.75	2.34	0.80	2.95
	4Y	1.95	6.30	-2.90	-3.50	5.49	3.43	-3.29	-1.33	0.36	1.84	0.88	2.62
<b>C</b>	1	1.65	3.80	-4.25	-5.10	21.83	10.61	-8.12	-6.25	0.08	0.36	0.52	0.82
	2	1.90	4.20	-4.60	-5.55	23.76	11.55	-9.49	-7.48	0.08	0.36	0.48	0.74
	3X	1.40	3.30	-3.75	-4.55	20.44	9.94	-7.81	-6.06	0.07	0.33	0.48	0.75
	3Y	2.25	3.15	-3.50	-4.20	20.85	10.13	-7.96	-6.18	0.11	0.31	0.44	0.68
	4X	1.05	2.75	-3.15	-3.80	17.31	8.41	-6.44	-4.95	0.06	0.33	0.49	0.77
	4Y	1.90	2.6	-2.85	-3.45	15.79	7.68	-5.88	-4.52	0.12	0.34	0.48	0.76
<b>D</b>	1	4.90	3.80	-5.35	-3.40	9.15	13.92	-3.70	-5.57	0.54	0.27	1.45	0.61
	2	5.65	4.25	-5.95	-3.80	9.96	15.15	-4.50	-6.80	0.57	0.28	1.32	0.56
	3X	4.15	3.30	-4.45	-2.80	7.56	11.49	-3.20	-4.83	0.55	0.29	1.39	0.58
	3Y	5.10	3.15	-4.40	-2.85	8.74	13.30	-3.68	-5.55	0.58	0.24	1.19	0.51
	4X	3.20	2.75	-3.60	-2.30	6.24	9.49	-2.52	-3.80	0.51	0.29	1.43	0.61
	4Y	4.50	2.60	-3.60	-2.30	6.62	10.07	-2.68	-4.03	0.68	0.26	1.34	0.57

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 54. MOMENTOS PARA LOSAS EN UNA DIRECCIÓN: EDIFICIO TIPO MARCO SOBRE SUELO MC										
Losas	Comb	Viga 25x70 cm			Método de viga continua SAP2000			Relación SAFE V 25x70 cm/M. viga continua		
		Momentos (ton-m)			Momentos (ton-m)			Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano
		Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano			
A	1	-0.22	1.70	-3.10	0.56	22.80	-1.40	-0.39	0.07	2.21
	2	-0.23	1.91	-3.15	0.61	24.80	-1.50	-0.38	0.08	2.10
	3X	-0.21	1.41	-2.75	0.54	21.40	-1.3	-0.39	0.07	2.12
	3Y	-0.36	0.55	-3.40	0.73	22.50	-0.03	-0.49	0.02	113.33
	4X	-0.19	1.15	-2.40	0.45	18.10	-1.1	-0.42	0.06	2.18
	4Y	-0.33	0.3	-3.00	0.6	17.10	-0.36	-0.55	0.02	8.33

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 55. MOMENTOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES: EDIFICIO TIPO MARCO SOBRE SUELO BL													
Losas	Comb	Viga 25x70 cm				Apoyos rígidos				Relación SAFE/M. Coef.			
		Momento en el centro (ton-m/m) SAFE				Momento en el centro (ton-m/m) M. Coef.							
		2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C
B	1	5.13	8.70	-2.70	-4.25	6.23	3.89	-3.74	-1.51	0.82	2.23	0.72	2.81
	2	5.75	9.50	-2.80	-4.60	6.78	4.24	-4.37	-1.75	0.85	2.24	0.64	2.63
	3X	4.20	7.33	-2.20	-3.50	5.14	3.21	-3.18	-1.28	0.82	2.28	0.69	2.73
	3Y	2.82	7.70	-3.10	-3.96	7.02	4.39	-4.31	-1.74	0.40	1.75	0.72	2.28
	4X	3.40	6.11	-1.85	-2.90	4.25	2.65	-2.55	-1.03	0.80	2.30	0.73	2.81
	4Y	1.86	6.35	-2.75	-3.35	5.49	3.43	-3.29	-1.33	0.34	1.85	0.83	2.51
C	1	2.00	4.50	-5.75	-6.75	21.83	10.61	-8.12	-6.25	0.09	0.42	0.71	1.08
	2	3.00	5.00	-6.20	-7.30	23.76	11.55	-9.49	-7.48	0.13	0.43	0.65	0.98
	3X	1.60	3.90	-5.10	-6.00	20.44	9.94	-7.81	-6.06	0.08	0.39	0.65	0.99
	3Y	2.80	3.73	-4.70	-5.50	20.85	10.13	-7.96	-6.18	0.13	0.37	0.59	0.89
	4X	1.30	3.20	-4.30	-5.05	17.31	8.41	-6.44	-4.95	0.08	0.38	0.67	1.02
	4Y	2.40	3.05	-3.90	-4.60	15.79	7.68	-5.88	-4.52	0.15	0.40	0.66	1.02
D	1	5.13	4.50	-6.30	-3.62	9.15	13.92	-3.70	-5.57	0.56	0.32	1.70	0.65
	2	5.75	5.00	-7.00	-4.00	9.96	15.15	-4.50	-6.80	0.58	0.33	1.56	0.59
	3X	4.20	3.90	-5.20	-3.00	7.56	11.49	-3.20	-4.83	0.56	0.34	1.62	0.62
	3Y	5.70	3.75	-5.20	-3.00	8.74	13.30	-3.68	-5.55	0.65	0.28	1.41	0.54
	4X	3.40	3.20	-4.30	-2.50	6.24	9.49	-2.52	-3.80	0.54	0.34	1.70	0.66
	4Y	4.90	3.05	-4.30	-2.45	6.62	10.07	-2.68	-4.03	0.74	0.30	1.61	0.61

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 56. MOMENTOS PARA LOSAS EN UNA DIRECCIÓN: EDIFICIO TIPO MARCO SOBRE SUELO BL										
Losa	Comb	Viga 25x70 cm			Método de viga continua SAP2000			Relación SAFE V 25x70 cm/M. viga continua.		
		Momentos (ton-m)			Momentos (ton-m)					
		Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano
A	1	-0.12	2.00	-3.23	0.56	22.80	-1.40	-0.21	0.09	2.31
	2	-0.13	2.30	-3.30	0.61	24.80	-1.50	-0.21	0.09	2.20
	3X	-0.11	1.70	-2.9	0.54	21.40	-1.3	-0.20	0.08	2.23
	3Y	-0.23	0.40	-3.6	0.73	22.50	-0.03	-0.32	0.02	120.0
	4X	-0.1	1.25	-2.5	0.45	18.10	-1.1	-0.22	0.07	2.27
	4Y	-0.2	0.24	-3.2	0.6	17.10	-0.36	-0.33	0.01	8.89

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 57. MOMENTOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES: EDIFICIO TIPO DUAL SOBRE SUELO MC													
Losa	Comb	Viga 25x70 cm				Apoyos rígidos				Relación SAFE/M. Coef.			
		Momento en el centro (ton-m/m) SAFE				Momento en el centro (ton-m/m) M. Coef.							
		2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C
B	1	1.39	3.67	-3.01	-3.17	6.87	4.29	-4.12	-1.67	0.20	0.86	0.73	1.90
	2	3.02	5.35	-3.37	-4.16	7.68	4.80	-4.99	-1.99	0.39	1.11	0.67	2.09
	3X	1.62	3.75	-2.52	-1.31	5.77	3.60	-3.58	-1.44	0.28	1.04	0.70	0.91
	3Y	1.28	3.50	-2.92	-3.01	7.14	4.46	-4.40	-1.77	0.18	0.78	0.66	1.70
	4X	0.96	2.81	-2.06	-2.15	4.71	2.95	-2.83	-1.15	0.20	0.95	0.73	1.88
	4Y	0.61	2.56	-2.45	-2.34	6.08	3.80	-3.65	-1.48	0.10	0.67	0.67	1.58
C	1	-1.43	1.38	-2.54	-3.05	24.06	11.69	-8.95	-6.88	-0.06	0.12	0.28	0.44
	2	-1.50	2.26	-3.34	-3.95	26.93	13.09	-10.01	-9.48	-0.06	0.17	0.33	0.42
	3X	-1.18	1.37	-2.34	-2.83	22.86	11.11	-8.50	-7.09	-0.05	0.12	0.28	0.40
	3Y	-1.45	1.37	-2.27	-2.70	21.24	10.33	-7.90	-6.63	-0.07	0.13	0.29	0.41
	4X	-0.93	0.94	-1.79	-2.65	19.17	9.32	-7.13	-5.48	-0.05	0.10	0.25	0.48
	4Y	-1.28	0.93	-1.73	-2.06	17.55	8.53	-6.53	-5.02	-0.07	0.11	0.26	0.41
D	1	1.41	1.38	-2.53	-1.32	10.09	15.34	-4.08	-6.14	0.14	0.09	0.62	0.22
	2	3.03	2.26	-3.93	-2.16	11.29	17.17	-5.15	-7.79	0.27	0.13	0.76	0.28
	3X	1.63	1.37	-2.50	-1.31	8.47	12.88	-3.61	-5.44	0.19	0.11	0.69	0.24
	3Y	1.98	1.37	-2.45	-1.31	8.91	13.55	-3.79	-5.71	0.22	0.10	0.65	0.23
	4X	0.96	0.93	-1.72	-0.89	6.92	10.53	-2.80	-4.21	0.14	0.09	0.61	0.21
	4Y	1.31	0.93	-1.72	-0.89	7.36	11.19	-2.98	-4.48	0.18	0.08	0.58	0.20

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 58. MOMENTOS PARA LOSAS EN UNA DIRECCIÓN: EDIFICIO TIPO DUAL SOBRE SUELO MC										
Losas	Comb	Viga 25x70 cm			Método de viga continua SAP2000			Relación SAFE V 25x70 cm/M. viga continua.		
		Momentos (ton-m)			Momentos (ton-m)			Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano
		Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano			
A	1	8.43	-1.45	-2.80	-0.62	25.09	-1.51	-13.60	-0.06	1.85
	2	10.29	-1.50	-3.26	-0.69	28.09	-1.69	-14.91	-0.05	1.93
	3X	7.45	-1.18	-2.45	-0.59	23.85	-1.44	-12.63	-0.05	1.70
	3Y	7.46	-1.51	-2.75	-0.74	22.88	-0.02	-10.08	-0.07	137.50
	4X	5.89	-0.99	-1.89	-0.50	20.15	-1.2	-11.78	-0.05	1.58
	4Y	5.90	-1.32	-2.28	-0.65	19.18	-0.22	-9.08	-0.07	10.36

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

TABLA 59. MOMENTOS PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES: EDIFICIO TIPO DUAL SOBRE SUELO BL													
Losas	Comb	Viga 25x70 cm				Apoyos rígidos				Relación SAFE/M. Coef.			
		Momento en el centro (ton-m/m) SAFE				Momento en el centro (ton-m/m) M. Coef.							
		2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C	2B	1B	2C	1C
B	1	1.21	3.77	-3.10	-3.29	6.87	4.29	-4.12	-1.67	0.18	0.88	0.75	1.97
	2	3.03	5.46	-3.31	-4.21	7.68	4.80	-4.99	-1.99	0.39	1.14	0.66	2.11
	3X	1.54	3.83	-2.51	-2.90	5.77	3.60	-3.58	-1.44	0.27	1.06	0.70	2.01
	3Y	1.12	3.57	-2.92	-3.08	7.14	4.46	-4.40	-1.77	0.16	0.80	0.66	1.74
	4X	0.82	2.86	-2.07	-2.23	4.71	2.95	-2.83	-1.15	0.17	0.97	0.73	1.95
	4Y	2.10	4.08	-2.62	-3.22	6.08	3.80	-3.65	-1.48	0.35	1.07	0.72	2.18
C	1	-1.43	1.44	-3.86	-4.24	24.06	11.69	-8.95	-6.88	-0.06	0.12	0.43	0.62
	2	-1.43	2.52	-4.95	-5.51	26.93	13.09	-10.01	-9.48	-0.05	0.19	0.49	0.58
	3X	-1.14	1.45	-3.48	-3.91	22.86	11.11	-8.50	-7.09	-0.05	0.13	0.41	0.55
	3Y	-1.53	1.48	-3.65	-3.77	21.24	10.33	-7.90	-6.63	-0.07	0.14	0.46	0.57
	4X	-0.98	0.94	-2.69	-3.02	19.17	9.32	-7.13	-5.48	-0.05	0.10	0.38	0.55
	4Y	-1.13	1.83	-3.78	-4.21	17.55	8.53	-6.53	-5.02	-0.06	0.21	0.58	0.84
D	1	1.23	1.44	-3.42	-1.47	10.09	15.34	-4.08	-6.14	0.12	0.09	0.84	0.24
	2	3.04	2.52	-5.00	-2.31	11.29	17.17	-5.15	-7.79	0.27	0.15	0.97	0.30
	3X	1.55	1.51	-3.22	-1.43	8.47	12.88	-3.61	-5.44	0.18	0.12	0.89	0.26
	3Y	1.96	1.48	-3.21	-1.43	8.91	13.55	-3.79	-5.71	0.22	0.11	0.85	0.25
	4X	0.84	1.01	-2.32	-0.99	6.92	10.53	-2.80	-4.21	0.12	0.10	0.83	0.24
	4Y	2.12	1.83	-3.74	-1.70	7.36	11.19	-2.98	-4.48	0.29	0.16	1.26	0.38

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel®

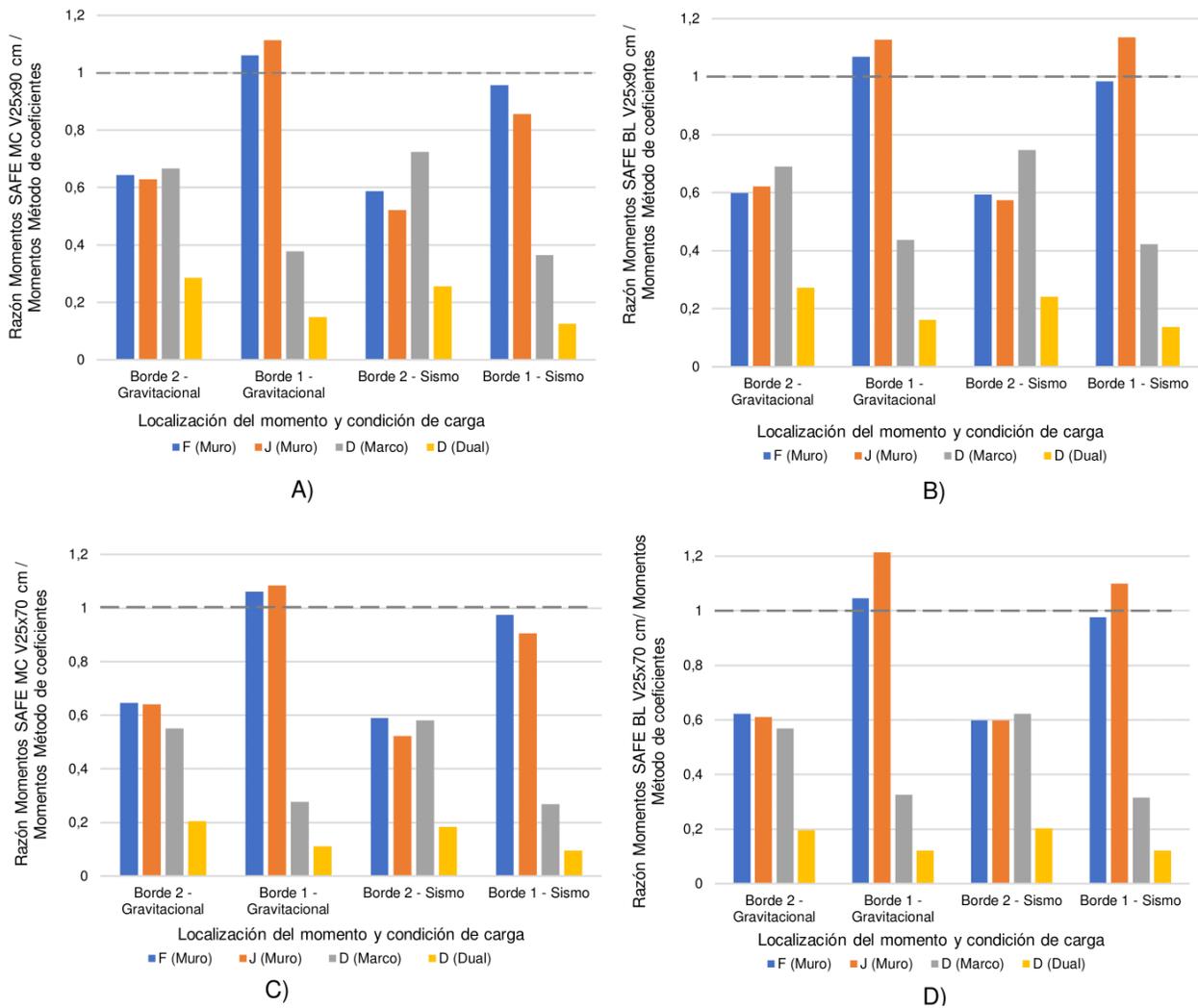
TABLA 60. MOMENTOS PARA LOSAS EN UNA DIRECCIÓN: EDIFICIO TIPO DUAL SOBRE SUELO BL										
Losa	Comb	Viga 25x70 cm			Método de viga continua SAP2000			Relación SAFE V 25x70 cm/M. viga continua		
		Momentos (ton-m)			Momentos (ton-m)			Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano
		Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano	Apoyo discontinuo	Apoyo continuo	Vano			
A	1	9.35	-1.53	-2.50	0.62	-25.09	-1.51	15.08	0.06	1.66
	2	11.37	-1.54	-2.87	0.69	-28.09	-1.69	16.48	0.05	1.70
	3X	8.25	-1.24	-2.09	0.59	-23.85	-1.44	13.98	0.05	1.45
	3Y	8.28	-1.61	-2.49	0.74	-22.88	-0.02	11.19	0.07	124.50
	4X	6.53	-1.05	-1.70	0.50	-20.15	-1.2	13.06	0.05	1.42
	4Y	8.77	-1.24	-2.24	0.65	-19.18	-0.22	13.49	0.06	10.18

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel ®

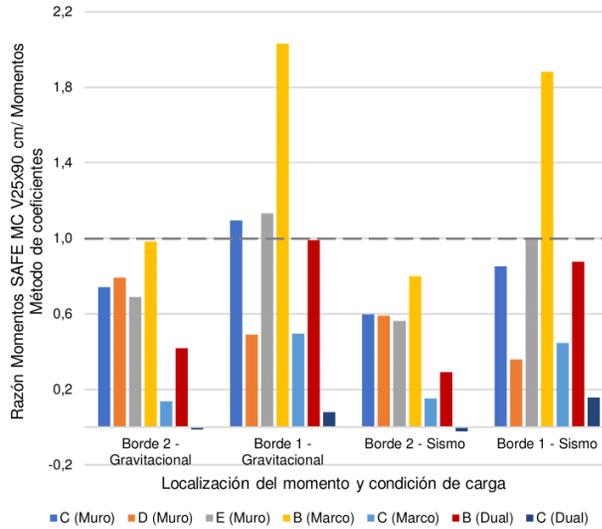
# Apéndice 4

En este apéndice, se proporcionan comparaciones gráficas adicionales entre las

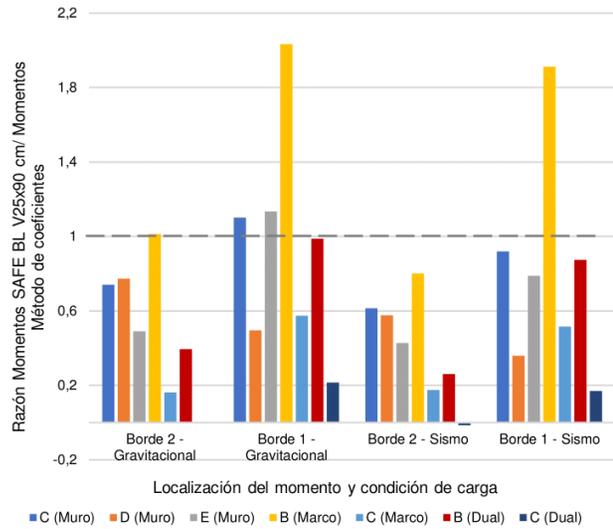
razones de los momentos calculados con el programa SAFE sobre el método de coeficientes.



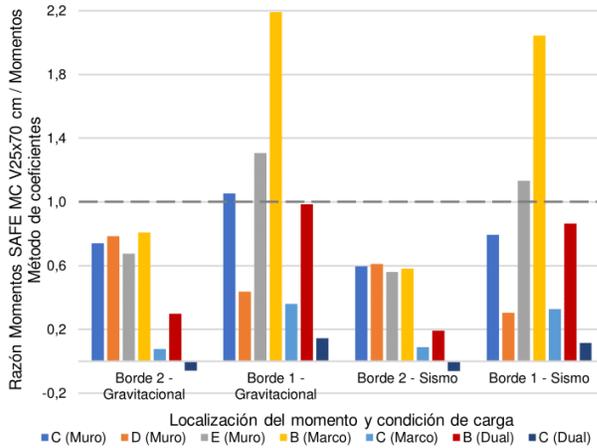
**Figura 78.** Razón de los momentos en los bordes continuos por cargas gravitacionales y sísmicas obtenidos con SAFE para las losas en dos direcciones con cuatro lados continuos sobre los momentos del método de coeficientes en: A) Suelo medianamente compacto (MC) y vigas de 25x90 cm. B) Suelo blando (BL) y vigas de 25x90 cm. C) Suelo medianamente compacto (MC) y vigas de 25x70 cm. D) Suelo blando (BL) y vigas de 25x70 cm. Microsoft Excel®



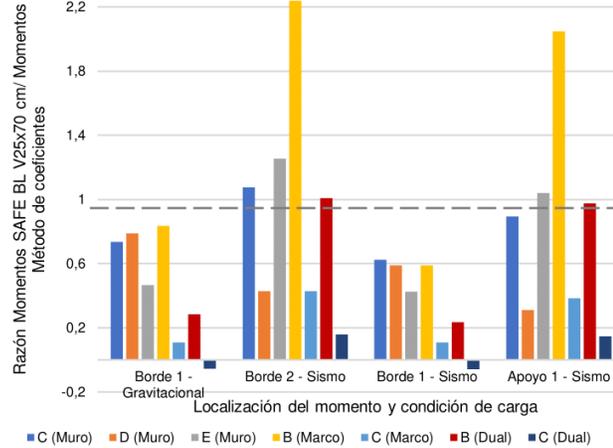
A)



B)

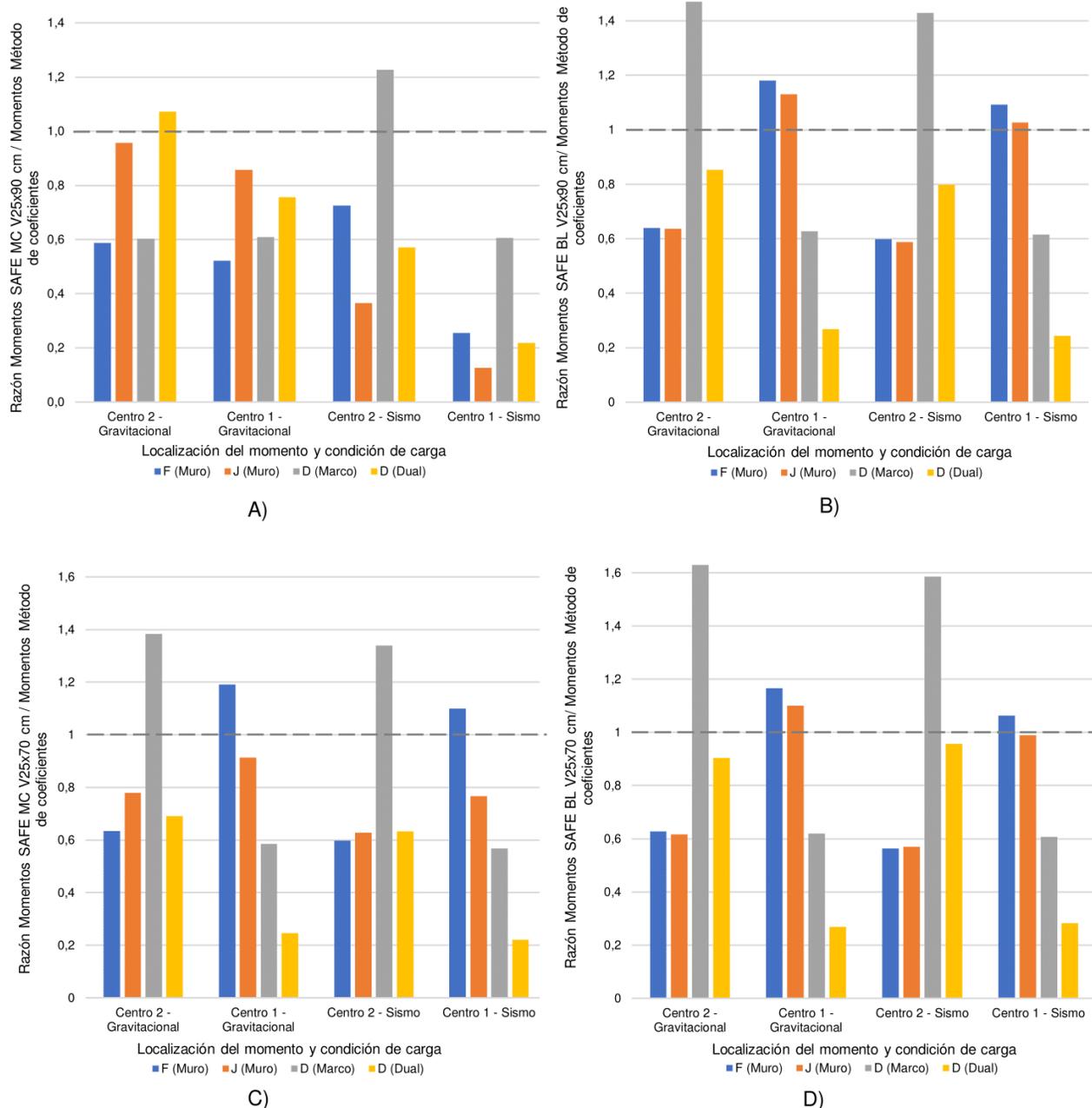


C)

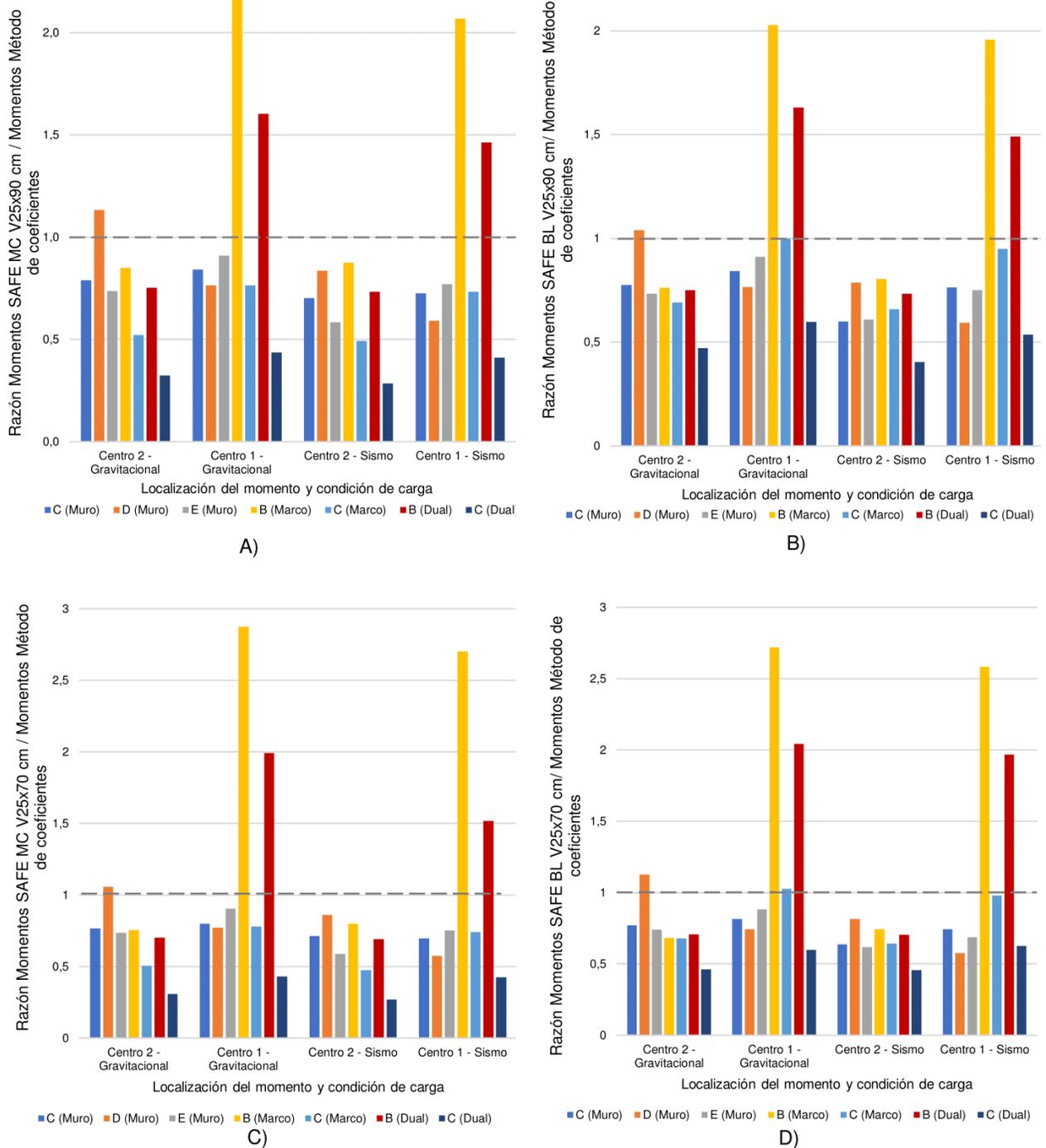


D)

**Figura 79.** Razón de los momentos en los bordes continuos por cargas gravitacionales y sísmicas obtenidos con SAFE para las losas en dos direcciones con tres lados continuos sobre los momentos del método de coeficientes en: A) Suelo medianamente compacto (MC) y vigas de 25x90 cm. B) Suelo blando (BL) y vigas de 25x90 cm. C) Suelo medianamente compacto (MC) y vigas de 25x70 cm. D) Suelo blando (BL) y vigas de 25x70 cm. Microsoft Excel®



**Figura 80.** Razón de los momentos en los centros por cargas gravitacionales y sísmicas obtenidos con SAFE para las losas en dos direcciones con cuatro lados continuos sobre los momentos del método de coeficientes en: A) Suelo medianamente compacto (MC) y vigas de 25x90 cm. B) Suelo blando (BL) y vigas de 25x90 cm. C) Suelo medianamente compacto (MC) y vigas de 25x70 cm. D) Suelo blando (BL) y vigas de 25x70 cm. Microsoft Excel®

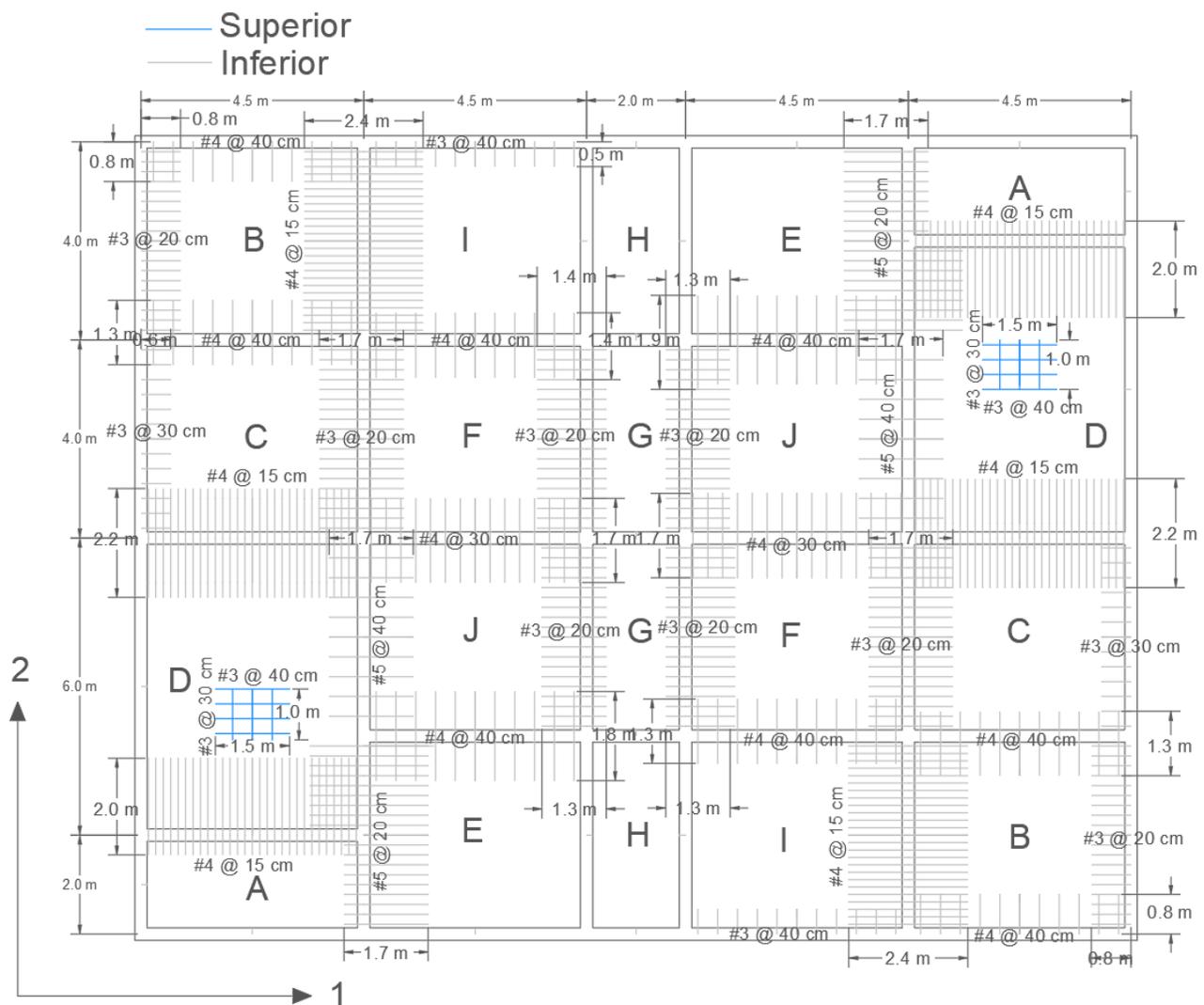


**Figura 81.** Razón de los momentos en los centros por cargas gravitacionales y sísmicas obtenidos con SAFE para las losas en dos direcciones con tres lados continuos sobre los momentos del método de coeficientes en: A) Suelo medianamente compacto (MC) y vigas de 25x90 cm. B) Suelo blando (BL) y vigas de 25x90 cm. C) Suelo medianamente compacto (MC) y vigas de 25x70 cm. D) Suelo blando (BL) y vigas de 25x70 cm. Microsoft Excel®

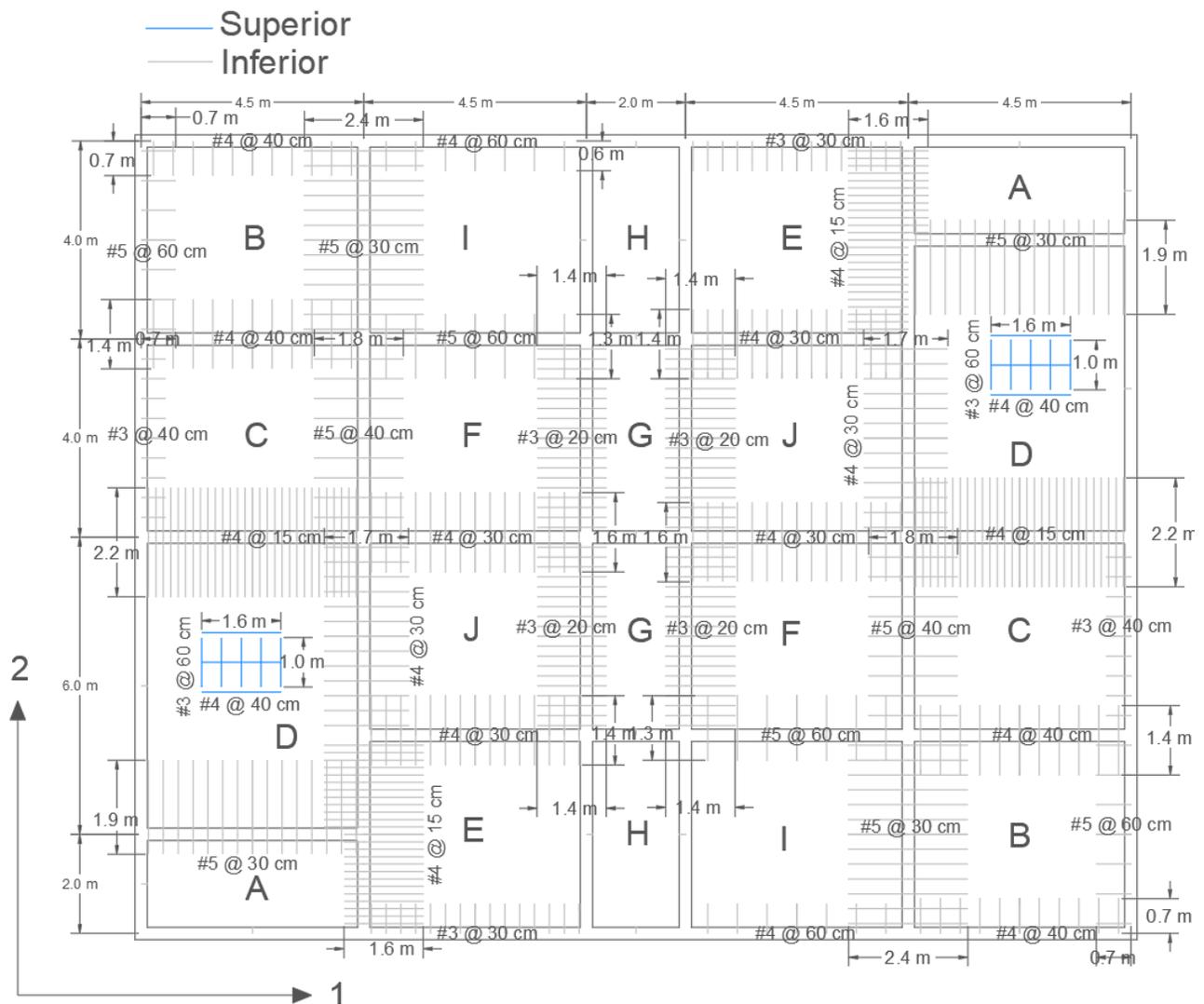
# Apéndice 5

Este apéndice muestra los diseños finales para cada tipo de edificio y las diferentes variables propuestas. El acero de refuerzo mostrado se representa con los bastones adicionales superiores (azul) e inferiores (gris), así como las

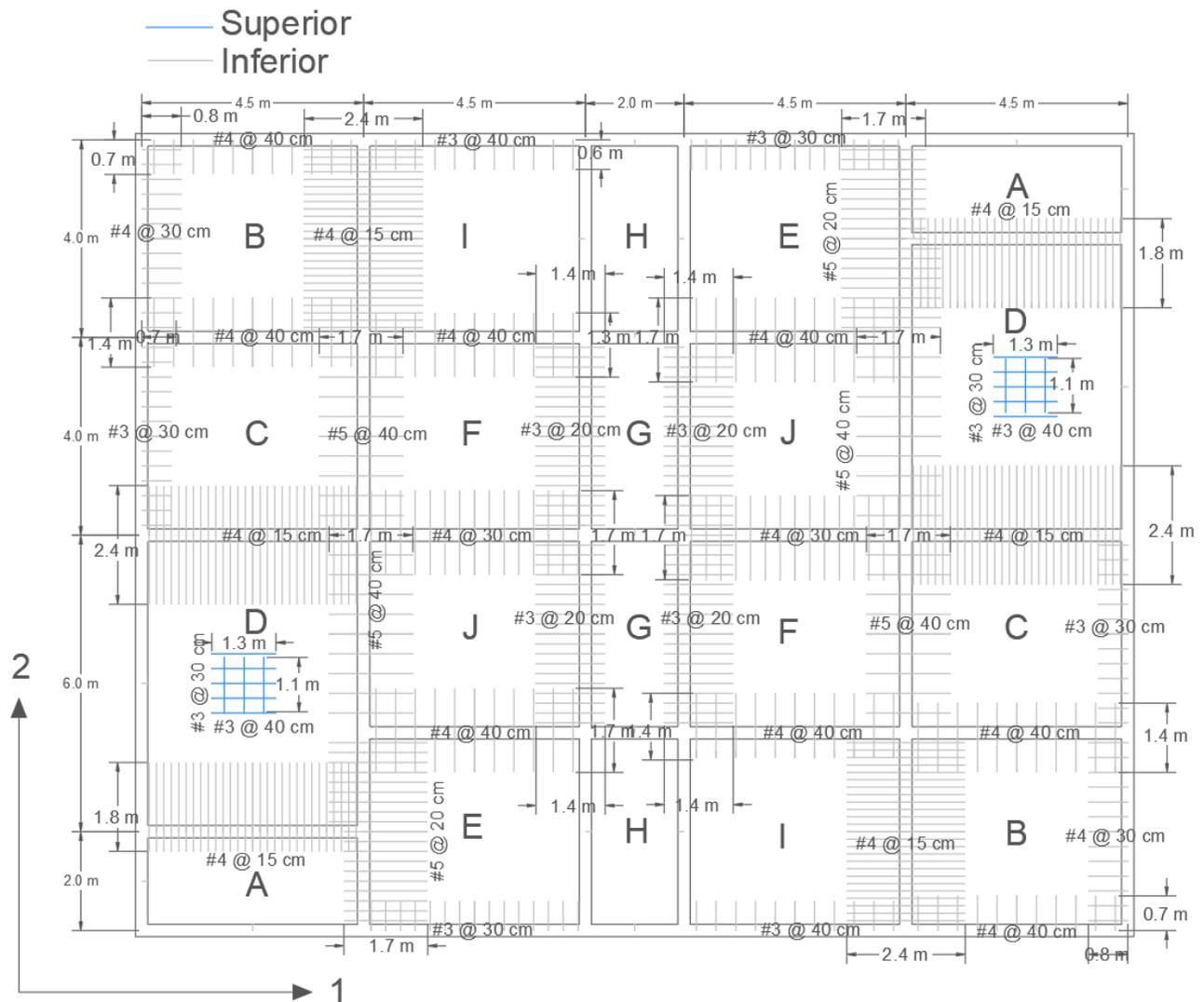
longitudes de cada uno. Todos los modelos cuentan con una malla de barras #4 a cada 20 cm en ambas direcciones, tanto superior como inferior.



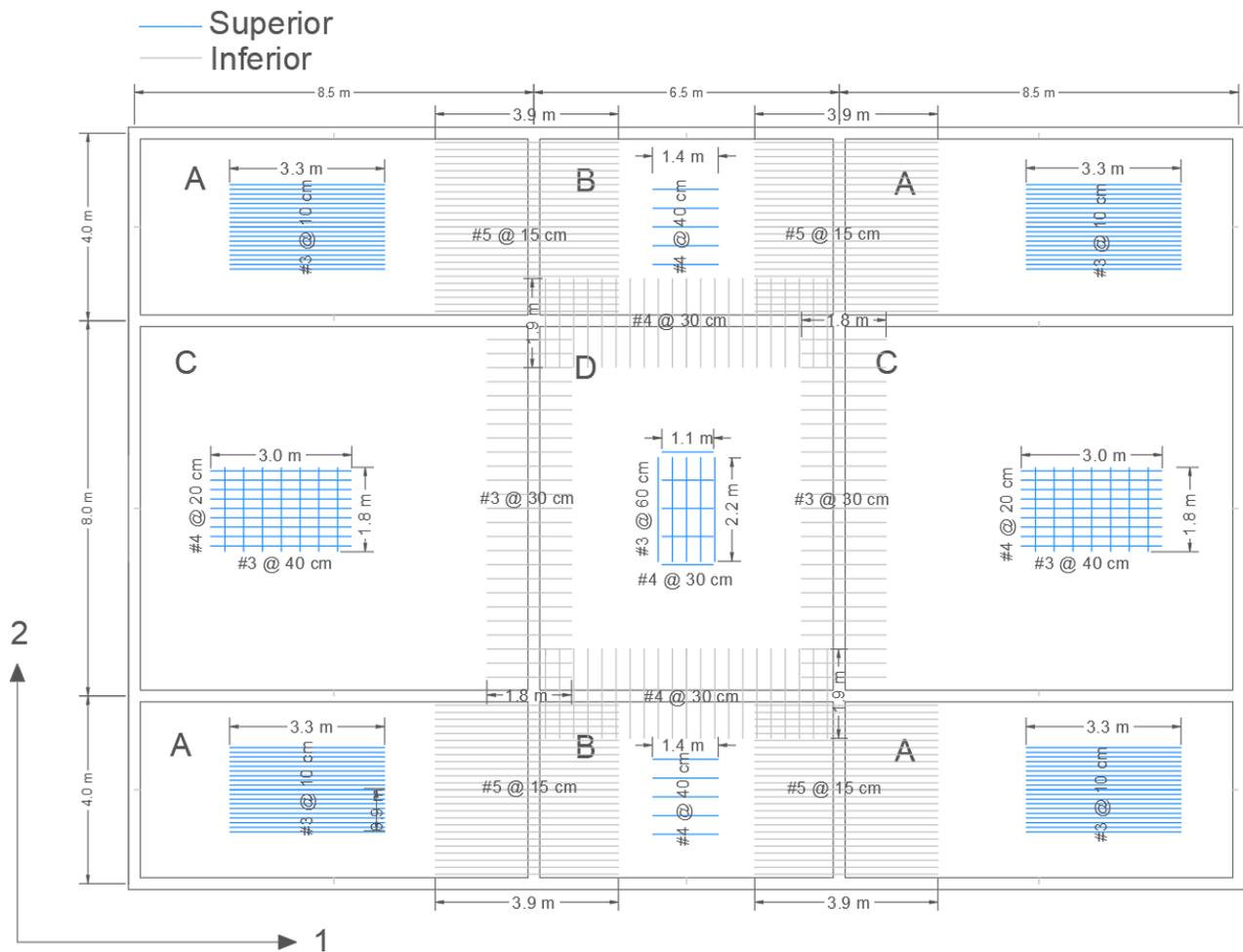
**Figura 82.** Distribución de acero adicional a la malla de refuerzo de barras #4 a cada 20 cm en ambas direcciones, superior e inferior, para el edificio tipo muro con vigas de 25x70 cm sobre suelo medianamente compacto (MC). AutoCAD®



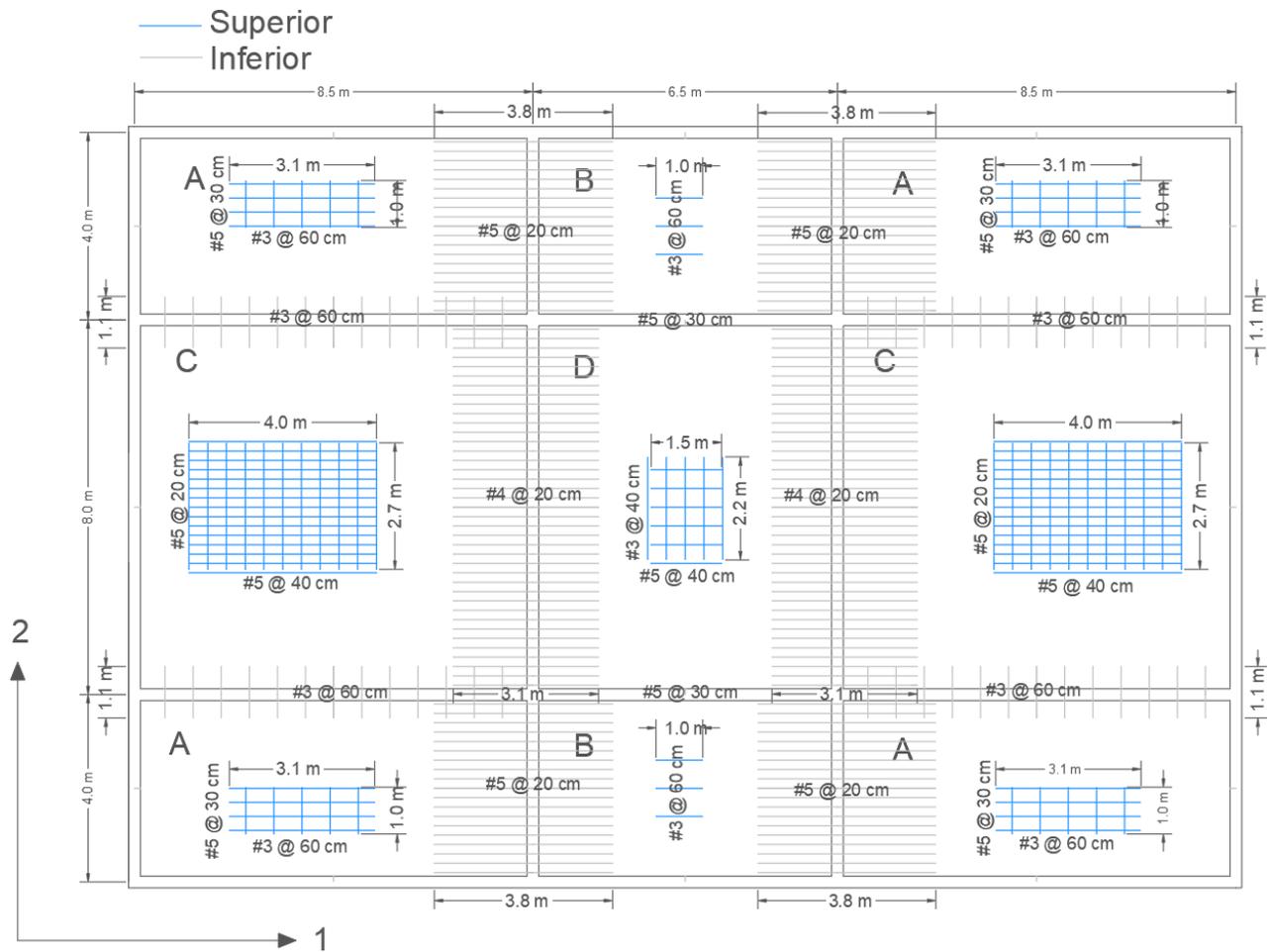
**Figura 83.** Distribución de acero adicional a la malla de refuerzo de barras #4 a cada 20 cm en ambas direcciones, superior e inferior, para el edificio tipo muro con vigas de 25x90 cm sobre suelo blando (BL). AutoCAD ®



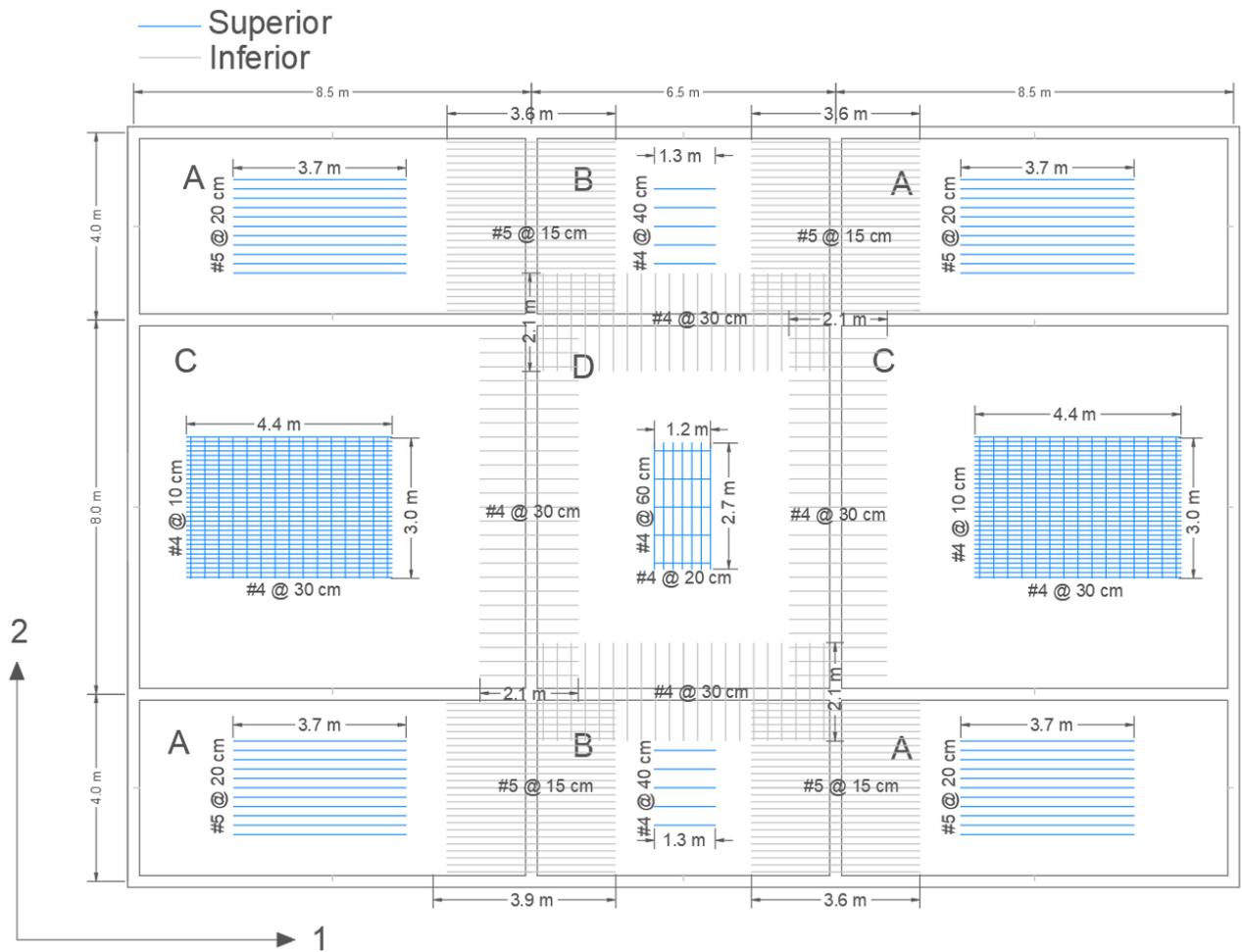
**Figura 84.** Distribución de acero adicional a la malla de refuerzo de barras #4 a cada 20 cm en ambas direcciones, superior e inferior, para el edificio tipo muro con vigas de 25x70 cm sobre suelo blando (BL). AutoCAD ®



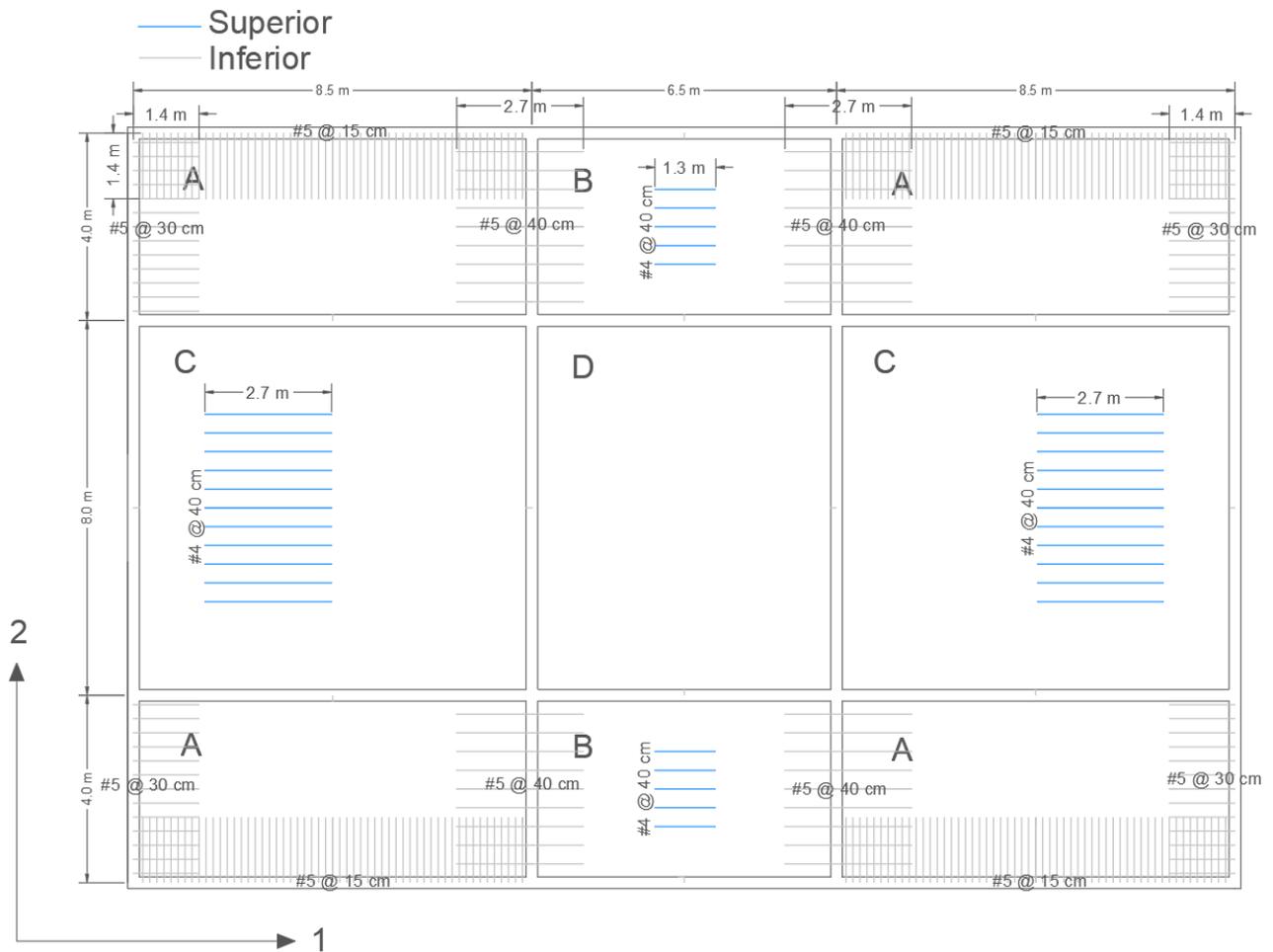
**Figura 85.** Distribución de acero adicional a la malla de refuerzo de barras #4 a cada 20 cm en ambas direcciones, superior e inferior, para el edificio tipo marco con vigas de 25x70 cm sobre suelo medianamente compacto (MC). AutoCAD®



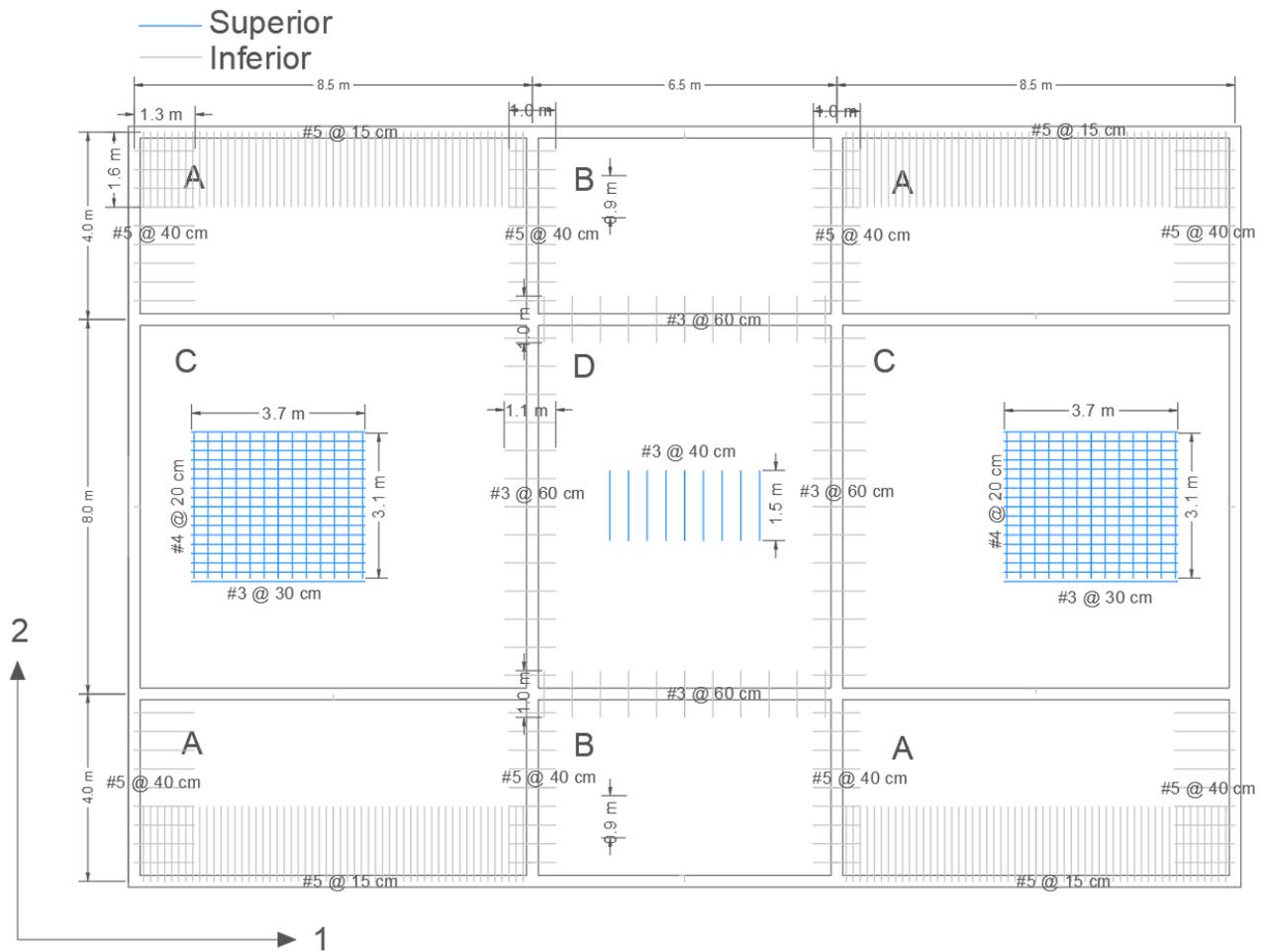
**Figura 86.** Distribución de acero adicional a la malla de refuerzo de barras #4 a cada 20 cm en ambas direcciones, superior e inferior, para el edificio tipo marco con vigas de 25x90 cm sobre suelo blando (BL). AutoCAD ®



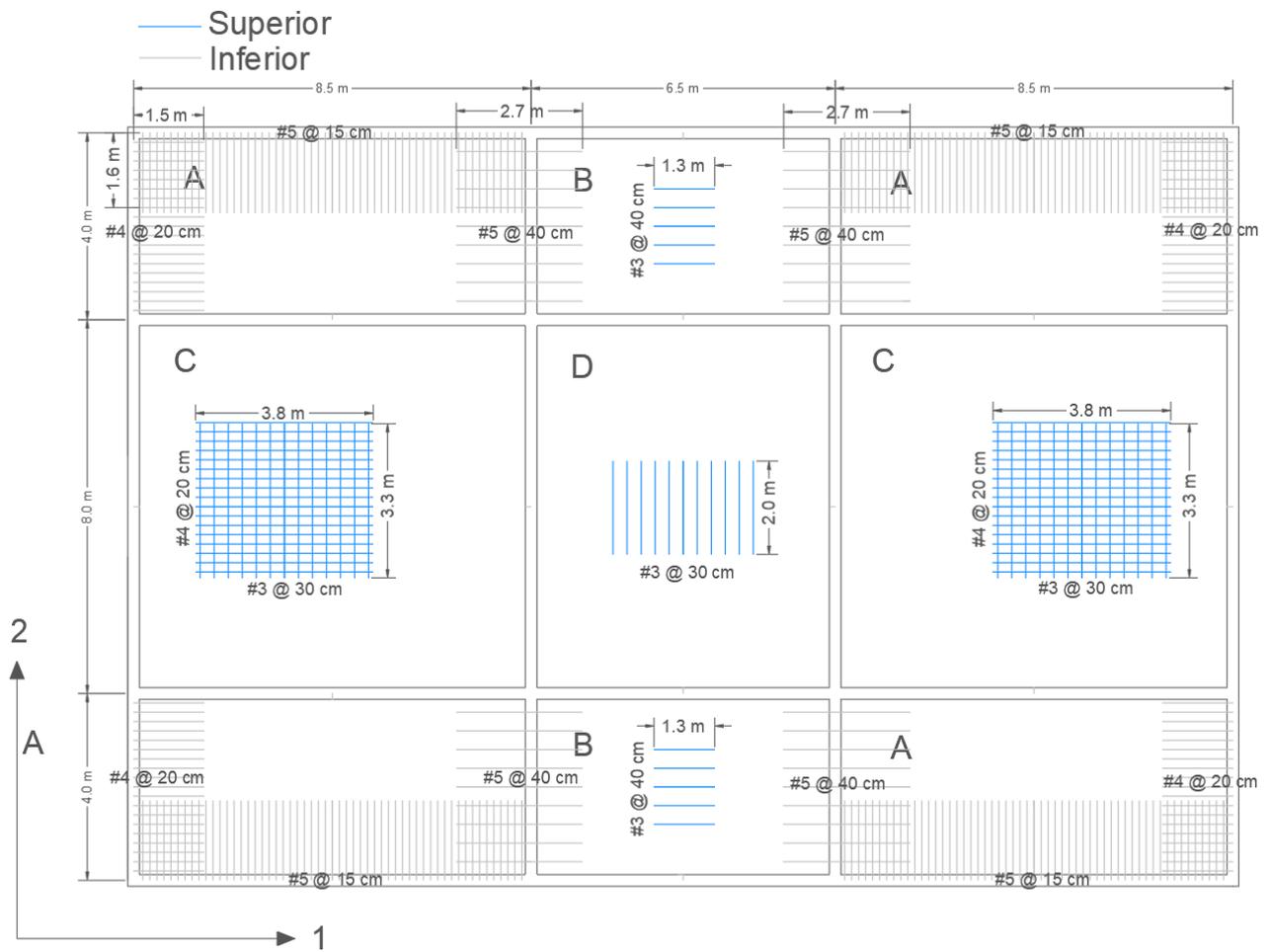
**Figura 87.** Distribución de acero adicional a la malla de refuerzo de barras #4 a cada 20 cm en ambas direcciones, superior e inferior, para el edificio tipo marco con vigas de 25x70 cm sobre suelo blando (BL). AutoCAD ®



**Figura 88.** Distribución de acero adicional a la malla de refuerzo de barras #4 a cada 20 cm en ambas direcciones, superior e inferior, para el edificio tipo dual con vigas de 25x70 cm sobre suelo medianamente compacto (MC). AutoCAD®



**Figura 89.** Distribución de acero adicional a la malla de refuerzo de barras #4 a cada 20 cm en ambas direcciones, superior e inferior, para el edificio tipo dual con vigas de 25x90 cm sobre suelo blando (BL). AutoCAD®



**Figura 90.** Distribución de acero adicional a la malla de refuerzo de barras #4 a cada 20 cm en ambas direcciones, superior e inferior, para el edificio tipo dual con vigas de 25x70 cm sobre suelo blando (BL). AutoCAD®

# ***Anexos***

# Anexo A

En esta sección, se encuentra el cuadro con los coeficientes para el cálculo de los momentos de losas en una dirección y para vigas continuas del

ACI-318 (2014), según las características de sus apoyos y el número de vanos.

<b>CUADRO 1. MOMENTOS APROXIMADOS PARA VIGAS CONTINUAS NO PREESFORZADAS Y LOSAS EN UNA DIRECCIÓN</b>			
<b>Momento</b>	<b>Localización</b>	<b>Condición</b>	<b>Mu</b>
Positivo	Vanos extremos	Extremo discontinuo monolítico con el apoyo.	$w_u \ell_n^2 / 14$
		El extremo discontinuo no está restringido	$w_u \ell_n^2 / 11$
	Vanos interiores	Todos	$w_u \ell_n^2 / 16$
Negativo	Cara interior de los apoyos exteriores	Miembros construidos monolíticamente con viga dintel de apoyo.	$w_u \ell_n^2 / 24$
		Miembros construidos monolíticamente con columna como apoyo.	$w_u \ell_n^2 / 16$
	Cara exterior del primer apoyo interior.	Dos vanos	$w_u \ell_n^2 / 9$
		Más de dos vanos	$w_u \ell_n^2 / 10$
	Las demás caras de apoyos.	Todas	$w_u \ell_n^2 / 11$
	Cara de todos los apoyos que cumplan (a) o (b)	(a) Losas con luces que no excedan de 3 m.	$w_u \ell_n^2 / 12$
(b) Vigas en las cuales la relación entre la suma de las rigideces de las columnas y la rigidez de la viga exceda de 8 en cada extremo del vano.			

Fuente: Requisitos de reglamento para el concreto estructural ACI-318 (2014)

# Anexo B

A continuación, se presentan las tablas del método de coeficientes del ACI-318 (1963) para el análisis y diseño de losas en dos direcciones.



TABLA 61. COEFICIENTES PARA MOMENTOS NEGATIVOS										
$m = A/B$		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9
1	Ca		0.045		0.05	0.075	0.071		0.033	0.061
	Cb		0.045	0.076	0.05			0.071	0.061	0.033
0.95	Ca		0.05		0.055	0.079	0.075		0.038	0.065
	Cb		0.041	0.0472	0.045			0.067	0.056	0.029
0.9	Ca		0.055		0.06	0.08	0.079		0.043	0.068
	Cb		0.037	0.07	0.04			0.062	0.052	0.025
0.85	Ca		0.06		0.066	0.082	0.083		0.049	0.072
	Cb		0.031	0.065	0.034			0.057	0.046	0.021
0.8	Ca		0.065		0.071	0.083	0.086		0.055	0.075
	Cb		0.027	0.061	0.029			0.051	0.041	0.017
0.75	Ca		0.069		0.076	0.085	0.088		0.061	0.078
	Cb		0.022	0.056	0.024			0.044	0.036	0.014
0.7	Ca		0.074		0.081	0.086	0.091		0.068	0.081
	Cb		0.017	0.05	0.019			0.038	0.029	0.011
0.65	Ca		0.077		0.085	0.087	0.093		0.074	0.083
	Cb		0.014	0.043	0.015			0.031	0.024	0.008
0.6	Ca		0.081		0.089	0.088	0.095		0.08	0.085
	Cb		0.01	0.035	0.011			0.024	0.018	0.006
0.55	Ca		0.084		0.092	0.089	0.096		0.085	0.086
	Cb		0.007	0.028	0.008			0.019	0.014	0.005
0.5	Ca		0.086		0.094	0.09	0.097		0.089	0.088
	Cb		0.006	0.022	0.006			0.014	0.01	0.003

Fuente: Requisitos de reglamento para el concreto estructural ACI-318 (1963)

TABLA 62. COEFICIENTES POR CARGA PERMANENTE PARA MOMENTOS POSITIVOS										
m = A/B		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9
1	Ca	0.036	0.018	0.018	0.027	0.027	0.033	0.027	0.02	0.023
	Cb	0.036	0.018	0.027	0.027	0.018	0.027	0.033	0.023	0.02
0.95	Ca	0.04	0.02	0.021	0.03	0.028	0.036	0.031	0.022	0.024
	Cb	0.033	0.016	0.025	0.024	0.015	0.024	0.031	0.021	0.017
0.9	Ca	0.045	0.022	0.025	0.033	0.029	0.039	0.035	0.025	0.026
	Cb	0.029	0.014	0.024	0.022	0.013	0.021	0.028	0.019	0.015
0.85	Ca	0.05	0.024	0.029	0.036	0.031	0.042	0.04	0.029	0.028
	Cb	0.026	0.012	0.022	0.019	0.011	0.017	0.025	0.017	0.013
0.8	Ca	0.056	0.026	0.034	0.039	0.032	0.045	0.045	0.032	0.029
	Cb	0.023	0.011	0.02	0.016	0.009	0.015	0.022	0.015	0.01
0.75	Ca	0.061	0.028	0.04	0.043	0.033	0.048	0.051	0.036	0.031
	Cb	0.019	0.009	0.018	0.013	0.007	0.012	0.02	0.013	0.007
0.7	Ca	0.068	0.03	0.046	0.046	0.035	0.051	0.058	0.04	0.033
	Cb	0.016	0.007	0.016	0.011	0.005	0.009	0.017	0.011	0.006
0.65	Ca	0.074	0.032	0.054	0.05	0.036	0.054	0.065	0.044	0.034
	Cb	0.013	0.006	0.014	0.009	0.004	0.007	0.014	0.009	0.005
0.6	Ca	0.081	0.034	0.062	0.053	0.037	0.056	0.073	0.048	0.036
	Cb	0.01	0.004	0.011	0.007	0.003	0.006	0.012	0.007	0.004
0.55	Ca	0.088	0.035	0.071	0.056	0.038	0.058	0.081	0.052	0.037
	Cb	0.008	0.003	0.009	0.005	0.002	0.004	0.009	0.005	0.003
0.5	Ca	0.095	0.037	0.08	0.059	0.039	0.061	0.089	0.056	0.038
	Cb	0.006	0.002	0.007	0.004	0.001	0.003	0.007	0.004	0.002

Fuente: Requisitos de reglamento para el concreto estructural ACI-318 (1963)

TABLA 63. COEFICIENTES POR CARGA VIVA PARA MOMENTOS POSITIVOS										
m = A/B		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9
1	Ca	0.036	0.027	0.027	0.032	0.032	0.035	0.032	0.028	0.03
	Cb	0.036	0.027	0.032	0.032	0.027	0.032	0.035	0.03	0.028
0.95	Ca	0.04	0.03	0.031	0.035	0.034	0.038	0.036	0.031	0.032
	Cb	0.033	0.025	0.029	0.029	0.024	0.029	0.032	0.027	0.025
0.9	Ca	0.045	0.034	0.035	0.039	0.037	0.042	0.04	0.035	0.036
	Cb	0.029	0.022	0.027	0.026	0.021	0.025	0.029	0.024	0.022
0.85	Ca	0.05	0.037	0.04	0.043	0.041	0.046	0.045	0.04	0.039
	Cb	0.026	0.019	0.024	0.023	0.019	0.022	0.026	0.022	0.02
0.8	Ca	0.056	0.041	0.045	0.048	0.044	0.051	0.051	0.044	0.042
	Cb	0.023	0.017	0.022	0.02	0.016	0.019	0.023	0.019	0.017
0.75	Ca	0.061	0.045	0.051	0.052	0.047	0.055	0.056	0.049	0.046
	Cb	0.019	0.014	0.019	0.016	0.013	0.016	0.02	0.016	0.013
0.7	Ca	0.068	0.049	0.057	0.057	0.051	0.06	0.063	0.054	0.05
	Cb	0.016	0.012	0.016	0.014	0.011	0.013	0.017	0.014	0.011
0.65	Ca	0.074	0.053	0.064	0.062	0.055	0.064	0.07	0.059	0.054
	Cb	0.013	0.01	0.014	0.011	0.009	0.01	0.014	0.011	0.009
0.6	Ca	0.081	0.058	0.071	0.067	0.059	0.068	0.077	0.065	0.059

	Cb	0.01	0.007	0.011	0.009	0.007	0.008	0.011	0.009	0.007
0.55	Ca	0.088	0.062	0.08	0.072	0.063	0.073	0.085	0.07	0.063
	Cb	0.008	0.006	0.009	0.007	0.005	0.006	0.009	0.007	0.006
0.5	Ca	0.095	0.066	0.088	0.077	0.067	0.078	0.092	0.076	0.067
	Cb	0.006	0.004	0.007	0.005	0.004	0.005	0.007	0.005	0.004

Fuente: Requisitos de reglamento para el concreto estructural ACI-318 (1963)

TABLA 64. COEFICIENTES PARA CORTANTES										
m = A/B		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9
1	Ca	0.5	0.5	0.17	0.5	0.83	0.71	0.29	0.33	0.67
	Cb	0.5	0.5	0.83	0.5	0.17	0.29	0.71	0.67	0.33
0.95	Ca	0.55	0.55	0.2	0.55	0.86	0.75	0.33	0.38	0.71
	Cb	0.45	0.45	0.8	0.45	0.14	0.25	0.67	0.62	0.29
0.9	Ca	0.6	0.6	0.23	0.6	0.88	0.79	0.38	0.43	0.75
	Cb	0.4	0.4	0.77	0.4	0.12	0.21	0.62	0.57	0.25
0.85	Ca	0.66	0.66	0.28	0.66	0.9	0.83	0.43	0.49	0.79
	Cb	0.34	0.34	0.72	0.34	0.1	0.17	0.57	0.51	0.21
0.8	Ca	0.71	0.71	0.33	0.71	0.92	0.86	0.49	0.55	0.83
	Cb	0.29	0.29	0.67	0.29	0.08	0.14	0.51	0.45	0.17
0.75	Ca	0.76	0.76	0.39	0.76	0.94	0.88	0.56	0.61	0.86
	Cb	0.24	0.24	0.61	0.24	0.06	0.12	0.44	0.39	0.14
0.7	Ca	0.81	0.81	0.45	0.81	0.95	0.91	0.62	0.68	0.89
	Cb	0.19	0.19	0.55	0.19	0.05	0.09	0.38	0.32	0.11
0.65	Ca	0.85	0.85	0.53	0.85	0.96	0.93	0.69	0.74	0.92
	Cb	0.15	0.15	0.47	0.15	0.04	0.07	0.31	0.26	0.08
0.6	Ca	0.89	0.89	0.61	0.89	0.97	0.95	0.76	0.8	0.94
	Cb	0.11	0.11	0.39	0.11	0.03	0.05	0.24	0.2	0.06
0.55	Ca	0.92	0.92	0.69	0.92	0.98	0.96	0.81	0.85	0.95
	Cb	0.08	0.08	0.31	0.08	0.02	0.04	0.19	0.15	0.05
0.5	Ca	0.94	0.94	0.76	0.94	0.99	0.97	0.86	0.89	0.97
	Cb	0.06	0.06	0.24	0.06	0.01	0.03	0.14	0.11	0.03

Fuente: Requisitos de reglamento para el concreto estructural ACI-318 (1963)

