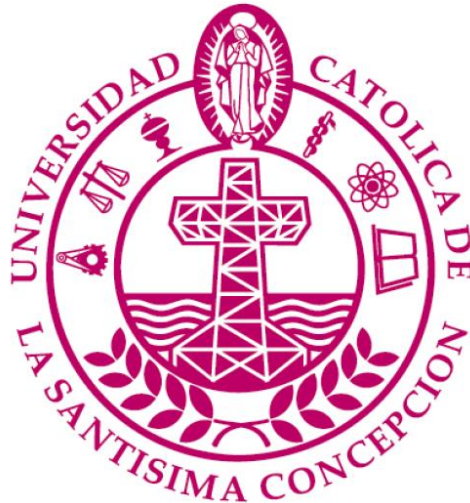


UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil



**ANÁLISIS Y DISTRIBUCIÓN DE CARGAS
EN LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO**

DAVID ISAAC SALAZAR OCARES

INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

Profesor Guía

Claudio Oyarzo V.

Profesor Informante

Edwin Behrens R.

Concepción, Octubre 2016

*A todas las personas que dedicaron tiempo, esfuerzo
y mucho amor en lo que puedo ser hoy en día.*

*En especial a mis padres, hermana, abuelos
y sobre todo a Dios.*

Agradecimientos

Primeramente agradecer a mis padres (Pedro y Elisea) por todo el esfuerzo que han hecho durante toda mi vida, por brindarme una excelente educación, por hacer de mi la persona que puedo ser hoy y por sobre todo depositar en mi un tesoro que es mucho más grande que la educación que puedo obtener hoy. Gracias por los esfuerzos, por sacar muchas veces de donde no había, haciendo un esfuerzo mucho más grande del que como hijo pude ver y que hoy puedo darme cuenta. Los amo mucho e infinitas gracias.

Como olvidarme de mi hermana Valeska, por toda su ayuda en los momentos que más lo necesite. Gracias hermana por apoyarme, alentarme y también por jugar conmigo (tu sabes a lo que me refiero). Eres la mejor hermana y gracias por todo.

Una mención especial a ciertas personas que siempre han estado en silencio para muchos, pero que en mi vida han cumplido un rol fundamental. A mis abuelos: Reinaldo, Guillermina y Ruth. Gracias por el tiempo que me cuidaron cuando era pequeño, por siempre enseñarme, guiarme, aconsejarme y sobre todo a ser una persona con valores y convicciones claras. Los amo mucho, más de lo que ustedes piensan.

Por último, más que a todas las personas que he nombrado antes, quiero expresar mi agradecimiento al amor de mi vida, al que antes de la fundación del mundo me escogió para ser su hijo y al que gracias a Él puedo ser lo que soy. A ti Jesús te doy las gracias. Eres lo más importante de mi vida y sin ti, absolutamente nada pudo haber sido posible. Gracias por ayudarme en los momentos difíciles y porque me amas aún con mis errores. Eres lo mejor.

Resumen

Muchas veces, el analizar ciertas estructuras se hace complicado de realizar. En su mayoría, es muy complejo saber cuánta carga recibirá y/o soportará cada parte de la estructura y así poder dar confiabilidad y seguridad al usuario.

Si se desea realizar un análisis de las cargas, a simple vista puede ser algo sencillo, pero en la realidad, cuando se analizan estructuras reales y de diversa geometría, las cargas pueden adoptar formas geométricas muy complejas, que si se deseara realizar un estudio manual de éstas, sería algo muy complejo. Es por eso que esta parte del análisis, se hace indispensable el uso de programas computacionales especializados para obtener resultados acordes con lo que ocurre en la realidad. Pero la pregunta es: ¿Es necesario recurrir a estas herramientas en estructuras pequeñas?

Es en este punto donde toma importancia este escrito, ya que se muestra un método que consiste en aplicar factores/escala que llamamos valores “ α ”, que nos permitan transformar cualquier tipo de carga, independiente de la forma que adopte, en una carga uniformemente distribuida, con la ventaja que el error numérico no varíen en extremo de su valor exacto, dejando en claro, que esta metodología solo aplica para edificios de altura reducida (no más de cuatro pisos) o un campo de losas pequeños como los que se presentan en casas.

En este documento, se espera mostrar un análisis de cómo se pueden encontrar dichos factores y bajo qué condiciones y/o rangos de valores son válidos los mismos, realizando una comprobación de estos en un campo de losas de un edificio real.

Abstract

Several times, the analysis of certain structures becomes difficult to perform. In most of the cases, it is complex to determine the amount of loads that each part of the structure will receive or stand in order to give reliability and security to the user.

At first sight, to carry out loads' analyses seems to be simple; however, when analyzing real structures with diverse geometry, loads tend to adopt complex geometrical shapes, which would stand in the way of carrying a manual analysis. Therefore, this part of the analysis plays a crucial role on the use of computing programs, specialized to obtain results that are consistent with what happens in reality. In the light of this, our research question is the following: is it necessary to recur to these tools in small structures?

Additionally, the main focus of our study will be the demonstration of a method that would help to answer the study question. The latter consists on applying factors/ scales that will be called " α " values, which will allow to transform any load, independently from the shape that adopts, in a uniformly distributed load. The main benefit of this method is that the variation or difference between the numeric error and the exact value would not be extreme. To clarify, this methodology only applies to buildings with reduced heights (up-to four floors) or small proportions of land as houses' plots.

Through this research, an analysis is expected to be shown, of how said factors could be encountered and under what conditions/ranges of values are considered valid, carrying out a verification of said values and conditions in a real building plot.

Índice de Contenidos

Capítulo 1. Introducción.....	Pág. 1
1.1. General.....	Pág. 1
1.2. Hipótesis.....	Pág. 3
1.3. Objetivo General.....	Pág. 4
1.4. Objetivos Específicos.....	Pág. 4
Capítulo 2. Marco Teórico.....	Pág. 5
2.1. General.....	Pág. 5
2.2. Losas como Elemento Estructural.....	Pág. 5
2.2.1. Definición de Losa.....	Pág. 5
2.2.2. Clasificación de las losas por la dirección de trabajo.....	Pág. 6
2.2.3. Comportamiento de Losas Bidireccionales apoyadas en los bordes.....	Pág. 8
2.3. Área Tributaria en Losas.....	Pág. 10
2.3.1. Área Tributaria en Dos Sentidos.....	Pág. 11
2.4. Distribución y/o asignación de las Cargas.....	Pág. 13
2.4.1. Dimensiones de la losa.....	Pág. 13
2.4.2. Asignación de Carga por Área Tributaria.....	Pág. 14

2.4.3. Asignación de Carga por Área Distribuida	
(Distribución Uniforme).....	Pág. 16
Capítulo 3. Metodología de Trabajo.....	Pág. 18
3.1. General.....	Pág. 18
3.2. Software SAP2000.....	Pág. 18
3.3. Consideraciones Generales de las losas.....	Pág. 20
3.4. Criterio sobre Valores λ	Pág. 22
3.5. Propiedades geométricas y mecánicas de los	
elementos estructurales.....	Pág. 23
3.6. Condiciones de Apoyo.....	Pág. 25
3.7. Cargas Consideradas.....	Pág. 25
3.8. Distribución de las Cargas según método empleado.....	Pág. 26
3.8.1. Cálculo realizado por SAP2000.....	Pág. 26
3.8.2. Cálculo realizado por Áreas Tributarias.....	Pág. 26
3.8.3. Cálculo realizado por Áreas Distribuidas	
(Distribución Uniforme).....	Pág. 27
3.9. Resultados entregados por SAP2000.....	Pág. 28
3.10. Cálculo de Valores “ α ”.....	Pág. 34
3.11. Comparación de los Momentos y Error Porcentual.....	Pág. 38
3.12. Comparación de las distribuciones de Momentos.....	Pág. 39

3.13. Comprobación de resultados en losas de Edificios Reales.....	Pág. 41
Capítulo 4. Análisis de Resultados.....	Pág. 44
4.1. General.....	Pág. 44
4.2. Resumen de Cargas por los diferentes métodos.....	Pág. 44
4.2.1. Resumen de Cargas por Método de Áreas Tributarias.....	Pág. 45
4.4.2. Resumen de Cargas por Método de Áreas Uniformemente Distribuidas.....	Pág. 45
4.3. Momentos Máximos.....	Pág. 46
4.4. Valores “ α ”.....	Pág. 48
4.5. Momentos Obtenidos con Valores “ α ”	Pág. 51
4.6. Error Porcentual de los Momentos Máximos.....	Pág. 53
4.7. Resultados Criterio ISF, para Losas Ideales.....	Pág. 64
4.8. Superposición de Momentos.....	Pág. 65
4.9. Resultados Edificios Reales.....	Pág. 72
4.9.1. Losa Condominio Parque El Volcán.....	Pág. 72
Capítulo 5. Conclusiones.....	Pág. 81
Bibliografía.....	Pág. 83

Índice de Figuras

Figura 2-1. Losa apoyada sobre vigas.....	Pág. 6
Figura 2-2. Losa Unidireccional.....	Pág. 7
Figura 2-3. Losa Bidireccional.....	Pág. 7
Figura 2-4. Cálculo Área Tributaria en una losa rectangular.....	Pág. 12
Figura 2-5. Cálculo Área Tributaria en una losa cuadrada.....	Pág. 12
Figura 2-6. Distribución de Carga en una losa rectangular.....	Pág. 12
Figura 2-7. Distribución de Carga en una losa cuadrada.....	Pág. 13
Figura 2-8. Nomenclatura dimensiones de una losa.....	Pág. 14
Figura 2-9. Porción de carga “w” asignada a la viga colindante.....	Pág. 14
Figura 2-10. Carga “q _o ” asignada a la viga colindante.....	Pág. 15
Figura 2-11. Carga distribuida uniforme “w” asignada a la viga colindante.....	Pág. 16
Figura 2-12. Carga “q _o ” distribuida uniforme asignada a la viga colindante.....	Pág. 16
Figura 3-1. Interfaz Programa SAP2000.....	Pág. 19
Figura 3-2. Vista en planta de las losas.....	Pág. 20
Figura 3-3. Vista en 3D de la estructura con losas.....	Pág. 23
Figura 3-4. Vista en 3D de la estructura sin losas.....	Pág. 24
Figura 3-5. Condiciones de Apoyo modelos en SAP2000.....	Pág. 25

Figura 3-6. Vista en planta, distribución de cargas, por Áreas Tributarias.....	Pág. 26
Figura 3-7. Vista en 3D, distribución de cargas por Áreas Tributarias.....	Pág. 27
Figura 3-8. Vista en planta, distribución de cargas de manera uniforme.....	Pág. 27
Figura 3-9. Vista en 3D, distribución de cargas de manera uniforme.....	Pág. 28
Figura 3-10. Icono Show Forces/Stresses, SAP2000.....	Pág. 29
Figura 3-11. Frames/Cables/Tendons... en SAP2000.....	Pág. 29
Figura 3-12. Cuadro para ver el tipo de diagramas que deseamos visualizar.....	Pág. 30
Figura 3-13. Diagramas de Momento de la estructura.....	Pág. 31
Figura 3-14. Resultados Diagramas de Momento de una Viga.....	Pág. 32
Figura 3-15. Ejes según SAP2000.....	Pág. 33
Figura 3-16. Puntos seleccionados del diagrama de momento, para criterio ISF.....	Pág. 39
Figura 3-17. Vista en planta, Losa Proyecto Condominio Parque El Volcán.....	Pág. 42

Índice de Tablas

Tabla 3-1. Longitud de los modelos estudiados.....	Pág. 21
Tabla 3-2. Rango de Valores según Criterio λ	Pág. 22
Tabla 3-3. Propiedades geométricas elementos estructurales.....	Pág. 24
Tabla 3-4. Propiedades del Hormigón.....	Pág. 25
Tabla 3-5. Distribución de Cargas, con Valores Alfa, $2,5 < \lambda \leq 4$ (Parte 1)	Pág. 36
Tabla 3-6. Distribución de Cargas, con Valores Alfa, $2,5 < \lambda \leq 4$ (Parte 2).....	Pág. 37
Tabla 3-7. Propiedades Geométricas y Mecánicas Losa Parque el Volcán.....	Pág. 43
Tabla 4-1. Resumen de Cargas por AT ($2,5 < \lambda \leq 4$).....	Pág. 45
Tabla 4-2. Resumen de Cargas por AD ($2,5 < \lambda \leq 4$).....	Pág. 46
Tabla 4-3. Resumen de Momentos Máximos, $2,5 < \lambda \leq 4$, Eje N°.....	Pág. 47
Tabla 4-4. Resumen de Momentos Máximos, $2,5 < \lambda \leq 4$, Eje Letra.....	Pág. 48
Tabla 4-5. Valores “ α ”, Ejes Cortos.....	Pág. 49
Tabla 4-6. Valores “ α ”, Ejes Largos.....	Pág. 49
Tabla 4-7. Momentos obtenidos por AD con valores “ α ”, $2,5 < \lambda \leq 4$, Eje N°.....	Pág. 52
Tabla 4-8. Momentos obtenidos por AD con valores “ α ”, $2,5 < \lambda \leq 4$, Eje Letra.....	Pág. 52
Tabla 4-9. Error Porcentual Momentos Máximos, $2,5 < \lambda \leq 4$, Eje N°.....	Pág. 54
Tabla 4-10. Error Porcentual Momentos Máximos, $2,5 < \lambda \leq 4$, Eje Letra.....	Pág. 55

Tabla 4-11. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.....	Pág. 56
Tabla 4-12. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.....	Pág. 57
Tabla 4-13. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.....	Pág. 58
Tabla 4-14. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.....	Pág. 59
Tabla 4-15. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.....	Pág. 60
Tabla 4-16. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.....	Pág. 61
Tabla 4-17. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.....	Pág. 62
Tabla 4-18. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.....	Pág. 63
Tabla 4-19. Criterio ISF, $2,5 < \lambda \leq 4$	Pág. 64
Tabla 4-20. $M_{SAP} - M_{ALFA}$, $\lambda=1$, Superposición de Momentos.....	Pág. 65
Tabla 4-21. $M_{SAP} - M_{ALFA}$, $1 < \lambda \leq 1,33$, Superposición de Momentos.....	Pág. 66
Tabla 4-22. $M_{SAP} - M_{ALFA}$, $1,33 < \lambda \leq 1,5$, Superposición de Momentos.....	Pág. 67
Tabla 4-23. $M_{SAP} - M_{ALFA}$, $1,5 < \lambda \leq 2$, Superposición de Momentos.....	Pág. 68
Tabla 4-24. $M_{SAP} - M_{ALFA}$, $2 < \lambda \leq 2,5$, Superposición de Momentos.....	Pág. 69
Tabla 4-25. $M_{SAP} - M_{ALFA}$, $2,5 < \lambda \leq 4$, Superposición de Momentos.....	Pág. 70
Tabla 4-26. $M_{SAP} - M_{ALFA}$, $\lambda >4$, Superposición de Momentos.....	Pág. 71
Tabla 4-27. Criterio λ y Valores “ α ”, para vigas Losa El Volcán (Parte 1).....	Pág. 72
Tabla 4-28. Criterio λ y Valores “ α ”, para vigas Losa El Volcán (Parte 2).....	Pág. 73
Tabla 4-29. Error Porcentual de vigas Losa Parque El Volcán.....	Pág. 74
Tabla 4-30. Criterio ISF, para Losa Parque El Volcán.....	Pág. 80

Índice de Gráficos

Gráfico 4-1. Valores “ α ” vs λ , Ejes Cortos.....	Pág. 50
Gráfico 4-2. Valores “ α ” vs λ , Ejes Largos.....	Pág. 50
Gráfico 4-3. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.....	Pág. 56
Gráfico 4-4. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.....	Pág. 57
Gráfico 4-5. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.....	Pág. 58
Gráfico 4-6. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.....	Pág. 59
Gráfico 4-7. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.....	Pág. 60
Gráfico 4-8. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.....	Pág. 61
Gráfico 4-9. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.....	Pág. 62
Gráfico 4-10. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.....	Pág. 63
Gráfico 4-11. Superposición de Momentos, $\lambda=1$	Pág. 65
Gráfico 4-12. Superposición de Momentos, $1 < \lambda \leq 1,33$	Pág. 66
Gráfico 4-13. Superposición de Momentos, $1,33 < \lambda \leq 1,5$	Pág. 67
Gráfico 4-14. Superposición de Momentos, $1,5 < \lambda \leq 2$	Pág. 68
Gráfico 4-15. Superposición de Momentos, $2 < \lambda \leq 2,5$	Pág. 69
Gráfico 4-16. Superposición de Momentos, $2,5 < \lambda \leq 4$	Pág. 70
Gráfico 4-17. Superposición de Momentos, $\lambda > 4$	Pág. 71

Gráfico 4-18. Error Porcentual Momentos Negativos Losa Parque El Volcán.....	Pág. 75
Gráfico 4-19. Error Porcentual Momentos Positivos Losa Parque El Volcán.....	Pág. 76
Gráfico 4-20. Error Porcentual Momentos Negativos Losa Parque El Volcán.....	Pág. 77
Gráfico 4-21. Error Porcentual Momentos Positivos Losa Parque El Volcán.....	Pág. 78

Capítulo 1

Introducción

1.1.General

En un mundo tan globalizado como en el que hoy se vive, es absurdo no pensar que la ingeniería pueda estar al margen de aquello. Podemos ver grandes estructuras, nuevas maneras de construir y sobre todo nuevas tecnologías que ayudan a que el uso de los materiales, mano de obra y demás, sean aún más eficientes de lo que alguna vez fueron. Pero a pesar de lo nuevo que se desea implementar, las estructuras en ingeniería siempre tendrán el mismo fin: brindar seguridad al usuario, aunque con eso muchas veces se vuelva a los métodos tradicionales de construcción.

Es sabido, que en una obra civil es importante saber el fin para lo cual son construidas, ya que eso brindará cierta certeza de su uso y métodos de construcción. Y es en este punto, donde es primordial saber el tipo de cargas a los cuales estará sometida dicha estructura. De hecho, en Chile existen normas como la NCH 3171-2010: “Diseño estructural – Disposiciones generales y combinaciones de carga”, donde recomiendan realizar cierto tipo de combinaciones a las cargas aplicadas para obtener una mayor seguridad. Pero lo anterior no sirve de nada, si no se sabe distribuir las cargas de una manera correcta, ya que cualquier error en ello, puede costar caro no solo en lo económico, sino más grave aún, en la pérdida de vidas humanas. Con el paso del tiempo, se han desarrollado herramientas computacionales que permiten un cálculo acabado de una

estructura (por ejemplo SAP2000) y que por ende brindan una mayor confiabilidad a los resultados obtenidos.

De acá, la trascendencia de saber cómo las cargas se distribuyen, donde actúan y en qué lugar lo hacen. En las estructuras, mayormente las cargas actúan en las losas de los edificios, entendiéndose por losas a los elementos estructurales planos de los entresijos, que tienen como función el soporte directo de las cargas que actúan sobre ellas y la transmisión de las mismas hacia otros elementos como vigas, columnas y muros. Las cargas actuantes son principalmente perpendiculares al plano principal de la misma, por lo tanto, su comportamiento está dominado por la flexión.

A raíz de lo anterior, también pueden darse diferentes geometrías de losas y en consecuencia, distintas configuraciones de carga. Para saber los distintos tipos de configuraciones, existen métodos de cálculo computacionales como analíticos. Con respecto a este último, es muy utilizado el concepto de Área Tributaria. En la mayoría de los casos, la geometría de las cargas debido al área tributaria es de tipo trapezoidal y/o triangular, pero dependiendo de la geometría de la losa, pueden adoptar diferentes formas geométricas que en algunos casos pueden dificultar el cálculo de la carga.

Se sabe, que para diferentes cargas, se diseña en base a lo que dicen los diagramas de momento. Como son cargas con geometrías conocidas, los diagramas de momento que se obtienen son fáciles de estudiar. Distinto es el caso cuando esa configuración de carga es diferente o adoptan formas poco conocidas, ya que los diagramas de momento pueden ser complejos de analizar.

La idea principal de este proyecto, es que sin importar la distribución que posea esa carga, esta pueda adoptar una distribución de carga uniforme y por lo tanto, que su diagrama de momento sea numéricamente lo más parecido posible al de su configuración real. Para ello, se tendrán que encontrar diferentes factores de conversión, que llamaremos “alfa” (α), que permitan realizar ese cálculo, para distintas conformaciones de carga.

La importancia y el fin de esta investigación, radican en el hecho de poder facilitar el cálculo de estructuras pequeñas (edificios de no más de cuatro pisos, casas, etc.) y así evitar el uso de un programa, sin que esto afecte el resultado del análisis y ponga en riesgo a la seguridad de la estructura.

Para realizar lo anterior, se tendrán que llevar a cabo diferentes pruebas, para diferentes geometrías de losas y a partir de aquello, con las cargas conocidas y correctamente distribuidas a las vigas, se puedan encontrar esos factores que permitan realizar esa conversión. Para eso, utilizaremos SAP2000 para verificar todos los resultados obtenidos.

En los siguientes capítulos, abordaremos con mayor en que consiste el método de las Áreas Tributarias y como realizamos la distribución de cargas uniformes para esta investigación, conociendo si se puede afirmar o refutar la hipótesis planteada.

1.2. Hipótesis

Todas las cargas aplicadas en losas, se transmiten a las vigas. Dependiendo de la geometría de la losa, las cargas pueden adoptar diferentes configuraciones, que pueden ser triangular, trapezoidal u optar cualquier otra forma aplicando el concepto de Área Tributaria. A partir de lo anterior, la hipótesis del proyecto será:

“Toda distribución de carga de las losas, se puede transformar en una carga uniformemente distribuida a través de un factor de conversión, sin afectar significativamente el resultado del análisis.”

1.3. Objetivo General

El Objetivo General de este proyecto es: “Desarrollar una metodología que permita transformar las distribuciones de carga que se transmiten desde las losas a las vigas, en distribuciones de carga uniforme, a través de un factor de conversión (o escala) llamado α ”.

1.4. Objetivos Específicos

- Analizar la manera en que la carga de las losas se transmiten a las vigas en un campo de losas rectangulares, considerando distintas razones de aspecto.
- Determinar un factor de conversión (o escala), que permita transformar las cargas distribuidas en cargas uniformes sobre las vigas.
- Aplicar la metodología propuesta a un campo de losas de un edificio real.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. General

En este apartado, se dará a conocer los conceptos fundamentales que se utilizaron en esta investigación, dando una idea básica del programa SAP2000, explicando el concepto de losa como elemento estructural, cómo trabajan y como distribuyen sus cargas. Posteriormente, explicaremos el concepto de Área Tributaria, ampliamente utilizado en ingeniería. Finalmente, explicaremos cómo se distribuyen las cargas de una losa de manera distribuida en las vigas de las estructuras.

2.2. Losas como elemento estructural

2.2.1. Definición de Losa

Las losas son elementos estructurales horizontales cuyas dimensiones en planta son relativamente grandes en comparación con su altura. Se emplean para proporcionar superficies planas y útiles. Las losas separan horizontalmente el espacio vertical conformando diferentes niveles y constituyen a su vez, el piso de uno de ellos y el techo del otro. La losa es el principal sostén para las personas, elementos y/o maquinarias para que puedan desarrollar de forma segura todas las actividades en las estructuras. Es el elemento que recibe directamente las cargas, por lo que estas actúan sobre las losas en forma perpendicular al plano principal de las mismas, por lo que su comportamiento está

dominado por la flexión. (Avalos, 1998; González y Robles, 1997; Méndez, 1991; Nilson y Winter, 1994).

Estas pueden estar soportadas perimetralmente e interiormente por vigas monolíticas de mayor altura, por vigas de otros materiales independientes o integradas a la losa, o soportadas por muros de hormigón, muros de albañilería o muros de otro material.

Para esta investigación, las losas estarán apoyadas sobre vigas de hormigón armado. En la figura se muestra un ejemplo de lo mencionado.

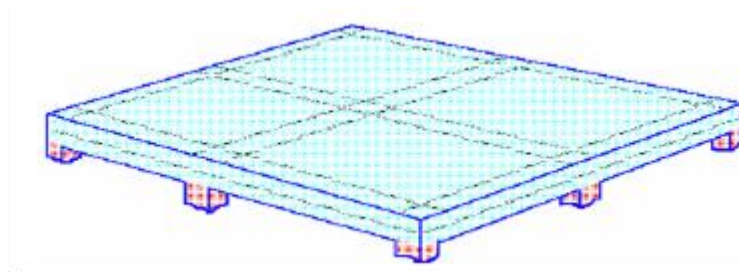


Figura 2-1. Losa apoyada sobre vigas.

2.2.2. Clasificación de las losas por la dirección de trabajo

Las losas se pueden clasificar según su dirección de trabajo en Losas Bidireccionales o Losas Unidireccionales.

Si la geometría de la losa y el tipo de apoyo determinan que la magnitud de los esfuerzos en dos direcciones ortogonales sean comparables se denominan Losas Bidireccionales.

Si los esfuerzos en una dirección son preponderantes sobre los esfuerzos en la dirección ortogonal, se les llaman Losas Unidireccionales.

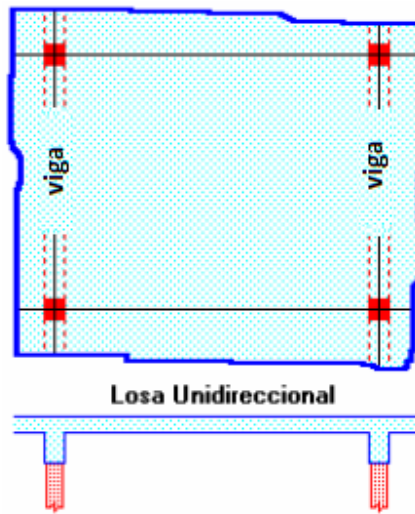


Figura 2-2. Losa Unidireccional.

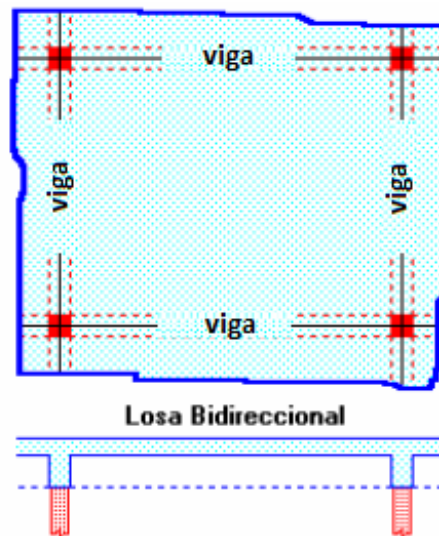


Figura 2-3. Losa Bidireccional.

Como en esta investigación se estudia el comportamiento de las cargas en Losas Bidireccionales, explicaremos el comportamiento de estas.

2.2.3. Comportamiento de Losas Bidireccionales apoyadas en los bordes

La ecuación general que describe el comportamiento de las losas bidireccionales, de espesor constante, es conocida como la Ecuación de Lagrange o Ecuación de Placas, que se presenta a continuación:

$$\Delta w = \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D} \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$D = \frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2)} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Dónde:

w : ordenada de la elástica de deformación de la placa en un punto de coordenadas (x, y)

D : rigidez a la flexión de la placa, análoga al producto $E \cdot I$ en vigas

E : módulo de elasticidad del hormigón

h : espesor de la placa

μ : coeficiente de Poisson del hormigón (su valor se estima entre 0,15 y 0,20)

La ecuación de Lagrange utiliza como fundamento la Ley de Deformación Plana de Kirchhoff que establece que: “Una placa plana delgada, sometida a cargas perpendiculares a su plano principal, se deformara de modo que todos los puntos materiales que pertenecen a una recta normal a la superficie sin deformarse permanecerán dentro de la correspondiente recta normal a la superficie deformada. La versión simplificada para vigas, diría que: “Las secciones transversales planas antes de la deformación, permanecen planas después de la deformación”. (Romo, 2006)

Las solicitaciones unitarias internas que se desarrollan en las placas quedan definidas por las siguientes expresiones:

$$m_x = -D \left[\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right] \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$m_y = -D \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$m_{xy} = -D(1 - \mu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$V_x = -D \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$V_y = -D \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \quad \text{Ec. 2.7}$$

Dónde:

m_x : momento flector alrededor del eje x, por unidad de ancho de losa

m_y : momento flector alrededor del eje y, por unidad de ancho de losa

m_{xy} : momento torsor, por unidad de ancho de losa

v_x : esfuerzo cortante en la dirección x, por unidad de ancho de losa

v_y : esfuerzo cortante en la dirección y, por unidad de ancho de losa

Es importante apreciar que las deformaciones producidas por flexión en una de las direcciones generan esfuerzos flexionantes en la dirección perpendicular debido al efecto de Poisson.

Las solicitaciones de diseño para las losas bidireccionales dependen de las cargas y las condiciones de apoyo. Existen tablas de diseño de las losas para las cargas y las condiciones de apoyo (o carencia de apoyo) más frecuentes (empotramiento o continuidad total; apoyo fijo con posibilidad de rotación; borde libre o voladizo), y en casos de geometrías y cargas excepcionales, se pueden utilizar los métodos de los elementos finitos.

2.3. Área Tributaria en Losas

El Área Tributaria es el área de influencia de carga de un elemento estructural y debería incluir toda porción de la construcción en la cual, si se aplica una carga, se afecta la fuerza interna de la sección que se está considerando. En estructuras continuas como son la mayoría de las que se construyen actualmente, las fuerzas internas en una sección son afectadas por las cargas aplicadas en cualquier punto de la estructura.

Por lo que, se entiende por Área Tributaria de un elemento de una estructura sujeta a carga uniformemente distribuida, aquella área que multiplicada por la carga uniforme, define la carga total que se debe considerar actuando sobre el elemento y que produce efectos iguales a los de la distribución real de las cargas sobre la estructura.

El concepto proviene del análisis de estructuras en las que no hay continuidad en los apoyos, a través de los cuales solo se transmite fuerza cortante; en este caso la reacción en cada apoyo es la suma de las cargas aplicadas desde el apoyo hasta el centro del claro o más, propiamente, hasta el punto donde la fuerza cortante es nula. En estructuras continuas, el concepto de área tributaria no tiene un significado preciso, sin embargo, sigue siendo muy útil y suficientemente aproximado para los análisis usuales que se realizan, considerando, por separado, diferentes porciones de la estructura. El área tributaria debe calcularse, también, para fines de carga total sobre un elemento estructural.

En muchos casos, las cargas determinadas con el criterio de las áreas tributarias no tienen una distribución uniforme sobre el elemento que las recibe. Hay que considerar, sin embargo, que el criterio de Áreas Tributarias no es más que un artificio y que, en realidad, la carga tendrá una distribución mucho más uniforme que la que se deduce del área tributaria, ya que tenderá a ser mayor en las zonas donde las deflexiones de las vigas son menores, o sea cerca de sus extremos y menor en el centro. Por ello, es aceptable, en general, considerar que la carga total aplicada en el área tributaria está repartida, uniformemente, sobre el elemento portante, aunque algunos reglamentos proponen expresiones para el cálculo de cortantes y momentos que consideran que la distribución de la carga no es uniforme.

Existen algunas reglas sencillas para determinar el área tributaria y están basadas en la localización de las líneas en que la fuerza cortante sería nula si solo hubiera transmisión de momentos en una dirección. (Paredes, 1996, p.24)

En losas generalmente existen dos normas básicas para determinar el área tributaria. Estas normas son: En un sentido y en dos sentidos. Como la más utilizada es la norma en dos sentidos, se explicará en qué consiste dicha normativa.

2.3.1. Área Tributaria en Dos Sentidos

El área tributaria de dos elementos portantes se separa por las bisectrices de los ángulos que estos forman (Líneas de 45°). Es decir, que las áreas tributarias en elementos (vigas) que trabajan en dos sentidos tendrán forma trapezoidal en dirección al lado más largo del elemento analizado y forma triangular en el sentido corto de dicho elemento. Cuando las losas son simétricas, las áreas tributarias de las vigas serán triángulos.

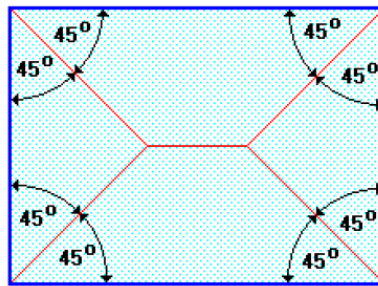


Figura 2-4. Cálculo Área Tributaria en una losa rectangular.

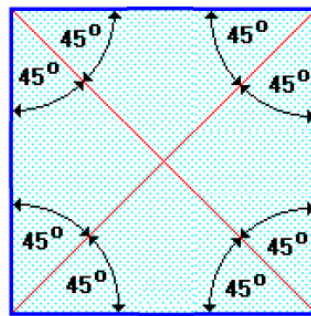


Figura 2-5. Cálculo Área Tributaria en una losa cuadrada.

Las cargas de las Áreas Tributarias mostradas en las figuras anteriores, se distribuirán en las vigas ubicadas en los extremos de la losa, es decir, la carga que se está aplicando a cada área delimitada, actuará solo en la viga colindante a esa área, tal como se muestran en las siguientes imágenes.

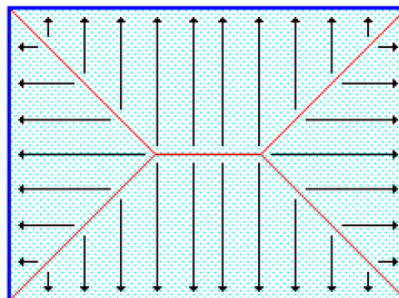


Figura 2-6. Distribución de Carga en una losa rectangular.

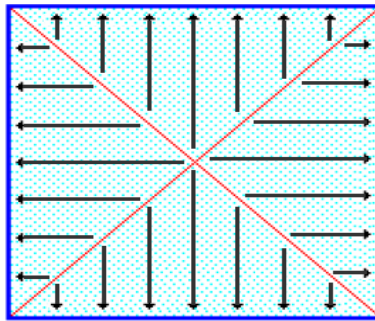


Figura 2-7. Distribución de Carga en una losa cuadrada.

Ahora, si aplicamos el concepto de Área Tributaria a una configuración en particular, puede que esta no solo sea un trapecoide o un triángulo. Puede dar una forma poco conocida. Por lo tanto, si a ese valor lo multiplicamos por una carga “q” cualquiera, podemos saber cuál es la carga total a la cual estará sometida una viga en estudio.

En las losas en dos sentidos, las áreas tributarias tendrán la misma forma rectangular que se vio en las losas en un sentido, como consecuencia, también se podrá trabajar por medio de áreas tributarias con este tipo de losas. (Paredes, 1996, p.25)

2.4. Distribución y/o asignación de las Cargas

2.4.1. Dimensiones de la losa

Para poder distribuir las cargas, hay que saber cuáles son las dimensiones de la losa. La nomenclatura utilizada para esta investigación, en cuanto a este punto se refiere, se muestra en la figura.

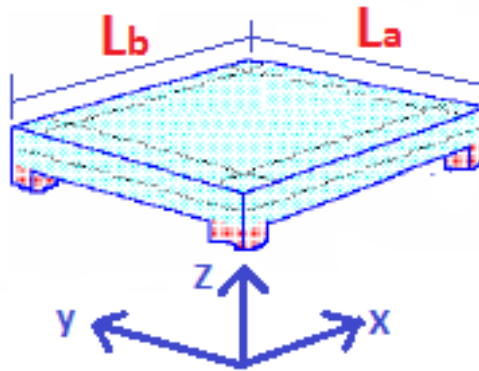


Figura 2-8. Nomenclatura dimensiones de una losa.

Dónde:

L_a : longitud en el eje y de la losa

L_b : longitud en el eje x de la losa

2.4.2. Asignación de Carga por Área Tributaria

Para asignar la carga, ya sea por la longitud larga o longitud corta, según corresponda, primero se calcula cuanta carga “ w ”, del total de la misma (por metro cuadrado), se le asigna al área tributaria asignada. En la figura se muestra lo que deseamos calcular.

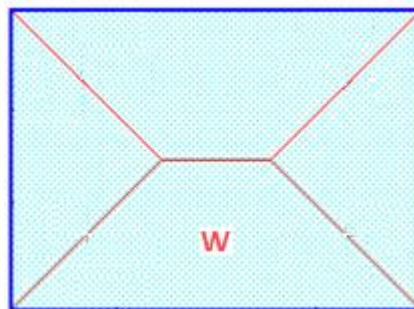


Figura 2-9. Porción de carga “ w ” asignada a la viga colindante.

Matemáticamente, lo anterior se representa a través de la siguiente ecuación:

$$w = \rho * e \quad \text{Ec. 2.8}$$

Dónde:

w: es la carga correspondiente a la porción de área tributaria en kg/m²

ρ : densidad del hormigón armado (2500 kg/m³)

e: espesor de la losa, en metros (m)

Ahora esa porción de carga, se distribuye a la viga. Esa carga se denota por “q_o” (en kg/m), En la figura se muestra que fracción de carga se le asigna a la viga.

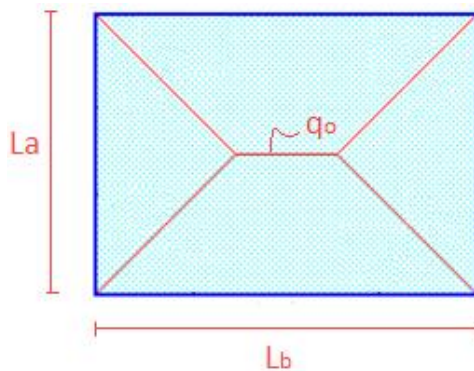


Figura 2-10. Carga “q_o” asignada a la viga colindante.

Matemáticamente, lo anterior se calcula mediante la expresión:

$$q_o = w * \frac{L_a}{2} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Dónde:

q_o: es la carga que se distribuye a la viga, en kg/m

w: es la carga correspondiente a la porción de área tributaria en kg/m²

La: es la longitud de la losa, en metros (m)

Dependiendo de la porción de área tributaria que se haya calculado, puede que en la Ec. 2.9, en vez de L_a , se le asigne el valor correspondiente a L_b .

2.4.3. Asignación de Carga por Área Distribuida (Distribución Uniforme)

Los pasos a seguir para implementar este método, son similares al Método de las Áreas Tributarias, solo que en este caso, las cargas calculadas se ingresarán al programa SAP2000 como cargas uniformemente distribuidas y no como cargas trapezoidales y/o triangulares.

Gráficamente sería lo siguiente:

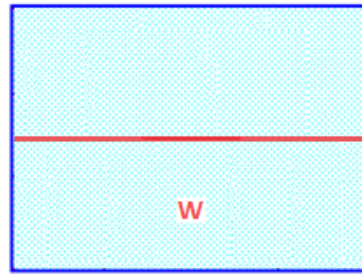


Figura 2-11. Carga distribuida uniforme “ w ” asignada a la viga colindante.

La representación matemática para calcular lo anterior, es la misma que se utilizó en el punto 2.4.2. (Ec. 2.8).

La porción de carga que se distribuye a la viga tiene la forma:

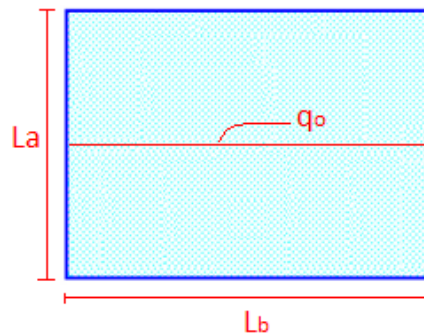


Figura 2-12. Carga “ q_o ” distribuida uniforme asignada a la viga colindante.

Matemáticamente se calcula utilizando la Ec. 2.9. Cabe mencionar, que dependiendo de la porción de área uniformemente distribuida que se haya calculado, puede que en la Ec. 2.9, en vez de L_a , se le asigne el valor correspondiente a L_b .

Lo anterior, SAP2000 lo hace de manera automática, solo hay que asignar de manera correcta la longitud del elemento al cual se le distribuirá la carga e ingresar el valor de ella.

Capítulo 3

Metodología de Trabajo

3.1. General

Para poder llevar a cabo esta investigación, se debieron realizar pruebas con software computacionales como también tareas aritméticas que se detallan a continuación.

Como se mencionó en el capítulo anterior, las losas se comportan según la dirección de distribución de las cargas, y sus condiciones de apoyo. En este estudio, las losas se comportan como losas Bidireccionales, apoyadas en vigas de hormigón armado, con las condiciones de apoyo que se mencionan en los puntos posteriores.

Este trabajo se realizó con la ayuda del software SAP2000, para la modelación de las losas, además de la ayuda de Microsoft Excel para ordenar todos los datos y realizar las operaciones que se describen. Por último también se utilizó Matlab, el cual se requirió para realizar cálculos más complejos, sobre todo en el análisis vectorial.

3.2. Software SAP2000

SAP2000 es una programa computacional completo y una herramienta poderosa que desde ya hace bastantes años se ha ganado gran aceptación entre los ingenieros, sobretodo estructurales. Su amigable interface y su gran capacidad en el apoyo de diseños en estructuras de concreto, acero, aluminio, entre otros tipos, hacen que sea uno de los

programas preferidos por muchos. Este programa fue desarrollado por Computers and Structures. Inc.

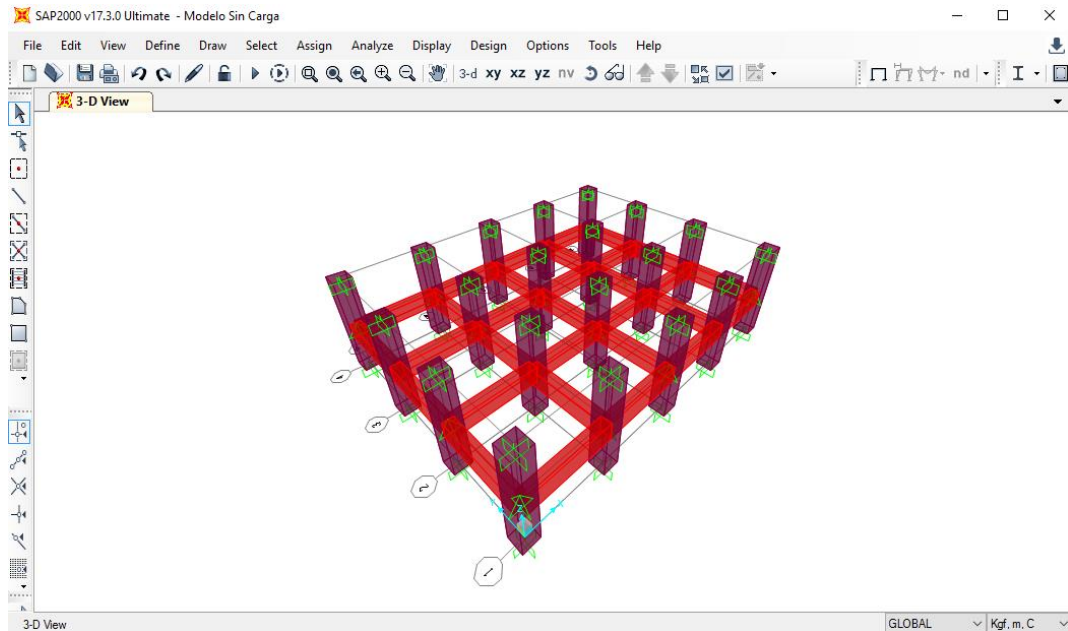


Figura 3-1. Interfaz Programa SAP2000.

Fuente: SAP2000.

La ventaja de SAP2000, es que permite diseñar y analizar las estructuras por elementos finitos en dos y tres dimensiones, con condiciones de cargas estáticas y dinámicas, donde además se pueden hacer modificaciones a los materiales con los cuales se está diseñando, como dilatarlos, contraerlos o hacerles cambios de temperatura, y aun así obtener resultados numéricos muy confiables.

SAP2000 maneja distintos niveles, aunque todos ellos tienen la misma interfaz para el usuario. Todos estos niveles tienen las mismas capacidades entre las cuales destacan la rápida solución de ecuaciones, cálculo de esfuerzos y desplazamientos relativos a estos, múltiples sistemas de coordenadas para geometrías complejas, varias opciones de restricciones, la opción de combinar varios análisis estáticos o dinámicos en una misma

ejecución de análisis, entre muchas otras ventajas que posee esta herramienta computacional.

Los datos obtenidos por SAP2000 pueden ser muy variados, como por ejemplo información del modelo realizado y resultados del análisis y diseño, los cuales pueden ser obtenidos en tablas y pueden ser exportados a programas como Microsoft Excel.

Por último, en la etapa de diseño, SAP2000 permite usar la mayoría de las normas de diseño estructural internacionales vigentes en la actualidad, dependiendo del material en que está basado el modelo, lo que brinda al usuario confiabilidad en las normas a utilizar. (Ojeda, 2006).

3.3. Consideraciones Generales de las losas

Para esta investigación, se elaboraron distintos modelos de losas, cambiando las longitudes en la dirección “y” (L_a) y manteniendo constante la longitud en la dirección “x” (L_b). A su vez, estos modelos tenían números de “paños de losa” distintos. Para la dirección “x” son 4, y para la dirección “y” son 3. En la siguiente figura, se muestra como es la configuración de la losa, desde su vista en planta.

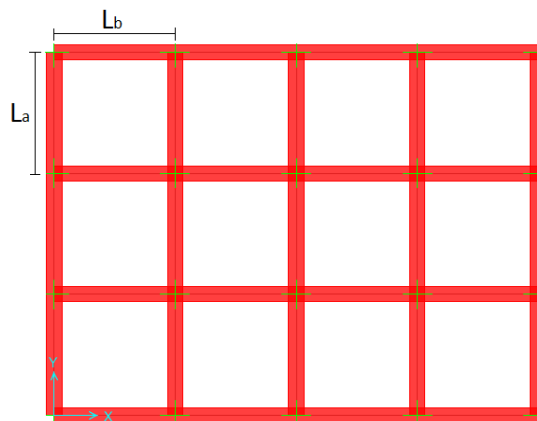


Figura 3-2. Vista en planta de las losas.

Fuente: SAP2000.

Se estableció la razón entre L_a y L_b para saber el número de casos a analizar, es decir:

$$\frac{L_a}{L_b} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Para este estudio, las longitudes L_a y L_b de los modelos se muestran en la tabla que continua.

Tabla 3-1. Longitud y razón de los modelos de Losas Ideales.

N° Caso	La (m)	Lb (m)	La/Lb
1	0,5	2	0,25
2	1	2	0,5
3	1,5	2	0,75
4	2	2	1
5	3	2	1,5
6	4	2	2
7	5	2	2,5

Como se muestra en la Tabla 3-1, el valor de la razón entre L_a/L_b va entre 0,25 y 2,5, es decir:

$$0,25 \leq \frac{L_a}{L_b} \leq 2,5$$

Se realizaron 7 tipos de modelos diferentes, los cuales a su vez, se estudiaron según esta metodología:

- a) Según análisis realizado directamente por SAP2000.
- b) Distribuyendo el peso y las cargas asignadas, según el método de Áreas Tributarias (distribución por trapecios y/o triángulos, según corresponda).
- c) Distribuyendo el peso y las cargas asignadas, según el método de Áreas Distribuidas (distribución uniforme)
- d) Distribuyendo el peso y las cargas asignadas, según el método de Áreas Distribuidas (Distribución Uniforme), pero aplicando los valores “ α ” encontrados.

Es en el último punto, donde se concentró el mayor trabajo, ya que se tuvo que realizar una búsqueda de esos valores (calibración) para que cumplan con una tolerancia de error aceptable dentro de la ingeniería (del 5% al 10%).

3.4. Criterio sobre Valores λ

Este fue uno de los puntos más importantes a dejar claro para una posterior verificación en losas de edificios reales. Este criterio, básicamente indica cómo será definido el valor λ para poder aplicar los valores “ α ” encontrados. El criterio es:

$$\lambda = \frac{\text{Eje Largo}}{\text{Eje Corto}} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Por lo tanto, el valor de λ siempre será mayor a 1. Es decir:

$$\lambda \geq 1$$

Al aplicar este criterio y agrupar los resultados obtenidos, se tienen rangos de valores que se examinaron en el análisis posterior. Estos rangos de valores se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3-2. Rango de valores, según criterio λ .

CRITERIO λ
$\lambda = 1$
$1 < \lambda \leq 1,33$
$1,33 < \lambda \leq 1,5$
$1,5 < \lambda \leq 2$
$2 < \lambda \leq 2,5$
$2,5 < \lambda \leq 4$
$\lambda > 4$

Los resultados que se mostrarán en el capítulo que continua, serán presentados según estos rangos de valores.

3.5. Propiedades geométricas y mecánicas de los elementos estructurales

Como se desea saber la distribución de cargas hacia las vigas las cargas actuantes anexas (sobrecargas), solo se tuvo que modelar una porción de una estructura (a lo que anteriormente llamamos Modelo de Losas Ideales). Por esta razón, solo se analizó una parte de ella que consta en un primer caso, de una losa de hormigón armado con sus respectivas condiciones de apoyo. En un segundo caso, solo con vigas, añadiendo las cargas según el análisis que se deseaba realizar. En las figuras que continúan, se visualizan lo modelado en SAP2000 para ambos casos.

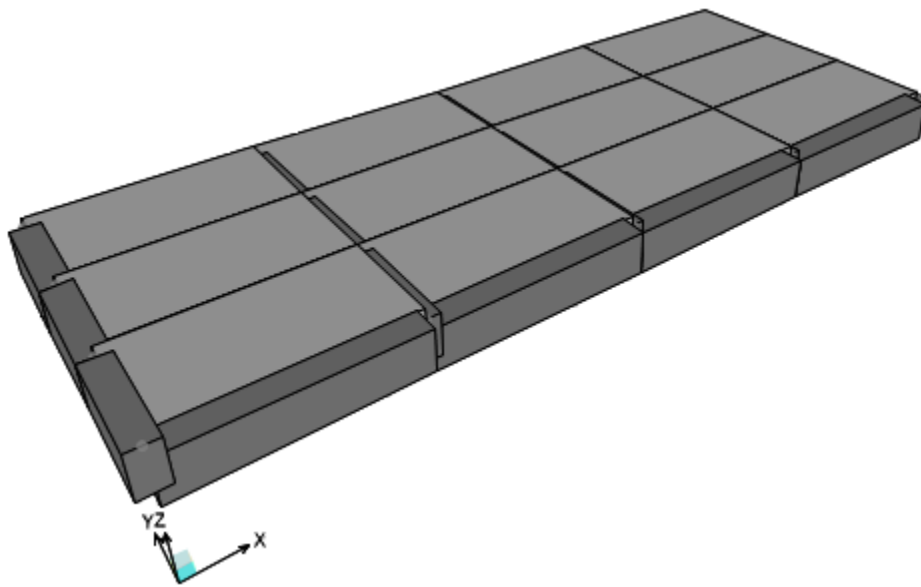


Figura 3-3. Vista en 3D de la estructura con losas.

Fuente: SAP2000.

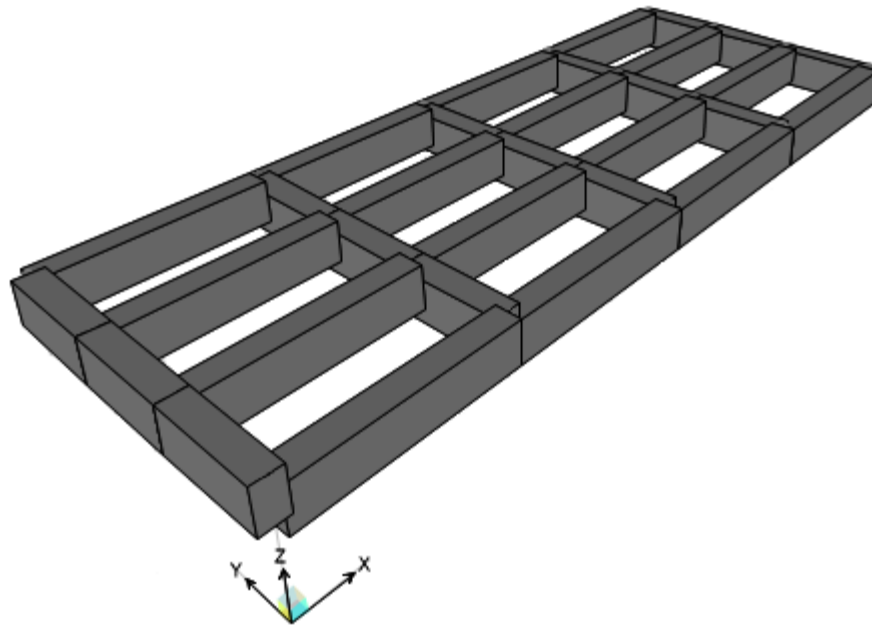


Figura 3-4. Vista en 3D de la estructura sin losas.

Fuente: SAP2000.

Con respecto a las dimensiones de los elementos estructurales tales como losas (o paños de losas) y vigas, sus dimensiones fueron iguales en todos los casos, incluyendo sus propiedades mecánicas.

Las propiedades geométricas de los elementos estructurales, se muestran en la tabla que sigue.

Tabla 3-3. Propiedades geométricas elementos estructurales.

Propiedades Geométricas Elementos Estructurales		
Altura Viga	0,4	m
Ancho Viga	0,25	m
Altura Columna	0,4	m
Ancho Columna	0,4	m
Espesor Losa	0,18	m

Las propiedades mecánicas del hormigón utilizado, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3-4. Propiedades Mecánicas del Hormigón.

Propiedades del Hormigón		
fc'	250	kg/cm ²
γ	2500	kg/m ³
Modulo de Elasticidad	238751,96	kg/cm ²
Poisson	0,2	
Coefficiente de Expansión Termal	9,90E-06	1/°C
Modulo de Corte	99479,98	kg/cm ²

3.6. Condiciones de Apoyo

La condición de apoyo utilizada, fue un apoyo fijo entre las vigas. Una vista lateral de uno de los modelos, muestra con claridad el tipo de apoyo.

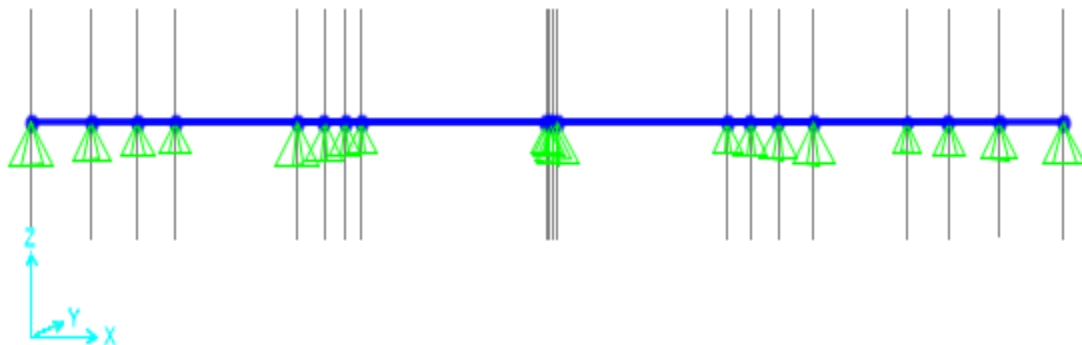


Figura 3-5. Condiciones de Apoyo modelos en SAP2000.

3.7. Cargas consideradas

Como se desea estudiar el resultado producido por una distribución de cargas hacia las vigas, en esta investigación solo se consideró la Sobrecarga (L) que se aplica en ellas, para que de esta manera se elimine el efecto que produce el peso propio de las vigas en los resultados que entrega SAP 2000. El valor asignado a la Sobrecarga fue de 250 (kg/m²).

3.8. Distribución de las Cargas según método empleado

Como se mencionó en uno de los puntos precedentes, se utilizaron tres métodos de análisis. Se detalla a continuación, como estos métodos se implementaron en SAP2000

3.8.1. Cálculo realizado por SAP2000

Como se dijo anteriormente, SAP2000 opera a través del cálculo de elementos finitos, como se explicó en el punto 3.2, por lo que distribución de cargas lo hace de manera autónoma.

3.8.2. Cálculo realizado por Áreas Tributarias

Como se explicó en el Capítulo 2, en el apartado 2.4.2., se calcularon las cargas por Áreas Tributarias. Esas cargas calculadas se introdujeron en todos los modelos, según correspondía el caso. Las formas geométricas de las cargas, dependerá del lado estudiado, donde en el lado corto predomina la forma triangular y en el lado largo la forma trapezoidal. En las siguientes figuras, se muestra como quedaban los modelos cuando a cada viga se le asignaban las cargas, en una vista en planta y como lo muestra SAP2000 al ingresar esas cargas al programa.

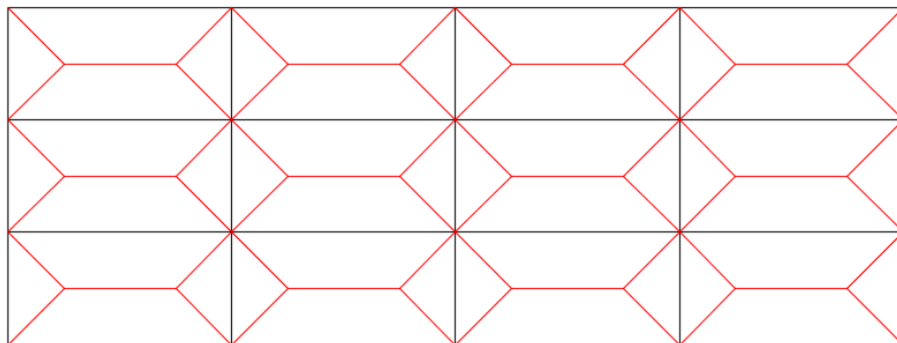


Figura 3-6. Vista en planta, distribución de cargas, por Áreas Tributarias.

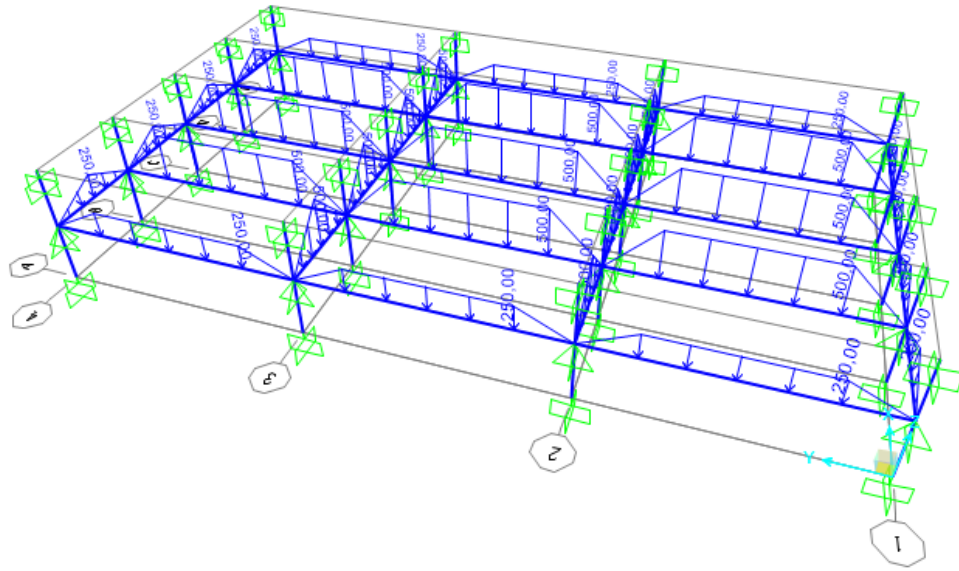


Figura 3-7. Vista en 3D, distribución de cargas por Áreas Tributarias.

Fuente: SAP2000.

3.8.3. Cálculo realizado por Áreas Distribuidas (Distribución Uniforme)

Al igual que en el caso de las cargas por Áreas Tributarias, estas se distribuyeron hacia las vigas, pero en este caso de manera uniforme, según lo explicado en el punto 2.4.3. El procedimiento fue el mismo que el aplicado en las cargas por Áreas Tributarias. Las figuras siguientes, muestran cómo se distribuyen estas cargas y como muestra el programa SAP2000 las cargas ingresadas.

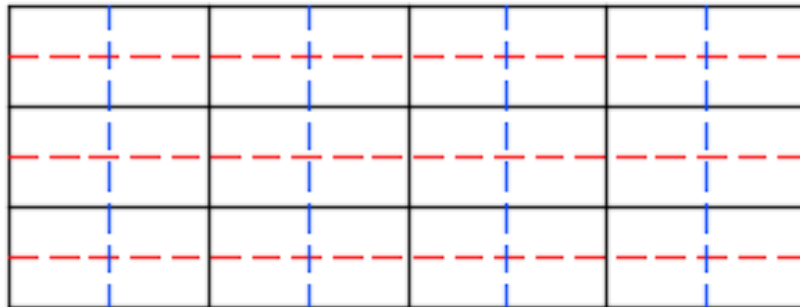


Figura 3-8. Vista en planta, distribución de cargas de manera uniforme.

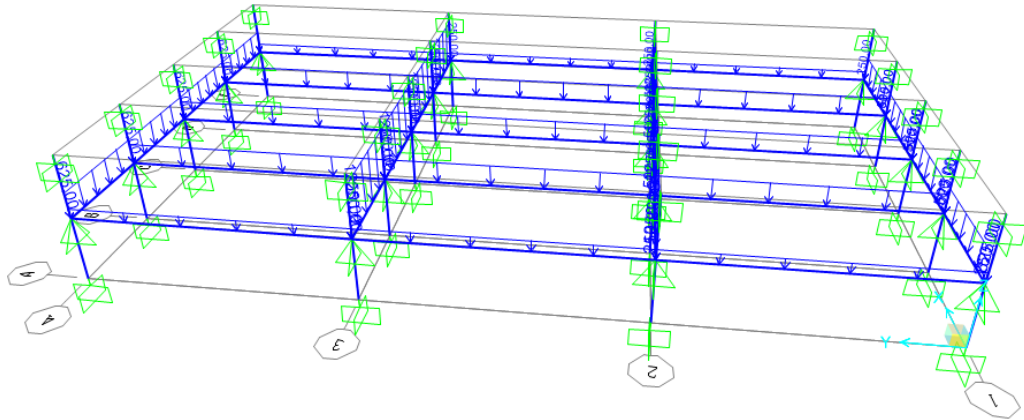


Figura 3-9. Vista en 3D, distribución de cargas de manera uniforme.

Fuente: SAP2000.

3.9. Resultados entregados por SAP2000

Como se ha dicho, SAP2000 es una herramienta que trabaja a través de elementos finitos, con una interfaz muy amigable para el usuario, y entrega resultados que pueden ser leídos fácilmente.

Los resultados que nos interesaban saber, eran los momentos máximos a los cuales está sometida cada una de las vigas de los modelos ideales. El paso a paso para obtener lo anterior, se describe a continuación.

- a) SAP2000 entrega resultados, dependiendo de lo que deseamos analizar. Cliqueando el icono de Show Forces/Stresses, se pueden visualizar esos datos. En la figura se muestra este paso.

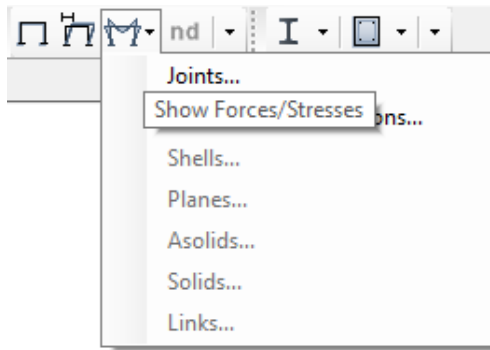


Figura 3-10. Icono Show Forces/Stresses, SAP2000.

Fuente: SAP2000.

- b) En la opción Frames/Cables/Tendons..., se pueden ver todos los tipos de resultados. La figura muestra como SAP2000 muestra esa opción.

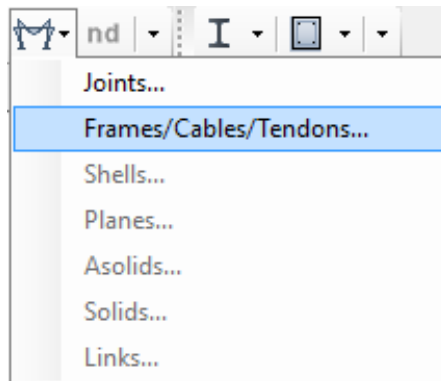


Figura 3-11. Frames/Cables/Tendons... en SAP2000.

Fuente: SAP2000.

- c) Desplegamos el menú Frames/Cables/Tendons... y aparecerá una ventana en la cual se visualizan todas las opciones de fuerzas internas. Solo se debe seleccionar el tipo de resultados y/o diagramas que se desea estudiar. Existe la opción de ver esfuerzos axiales, esfuerzos de cizalle, momentos flectores y momentos torsionales a los cuales está sometido cada parte de la estructura. La figura que continúa muestra el cuadro que SAP2000 entrega al usuario, con todas las opciones descritas anteriormente.

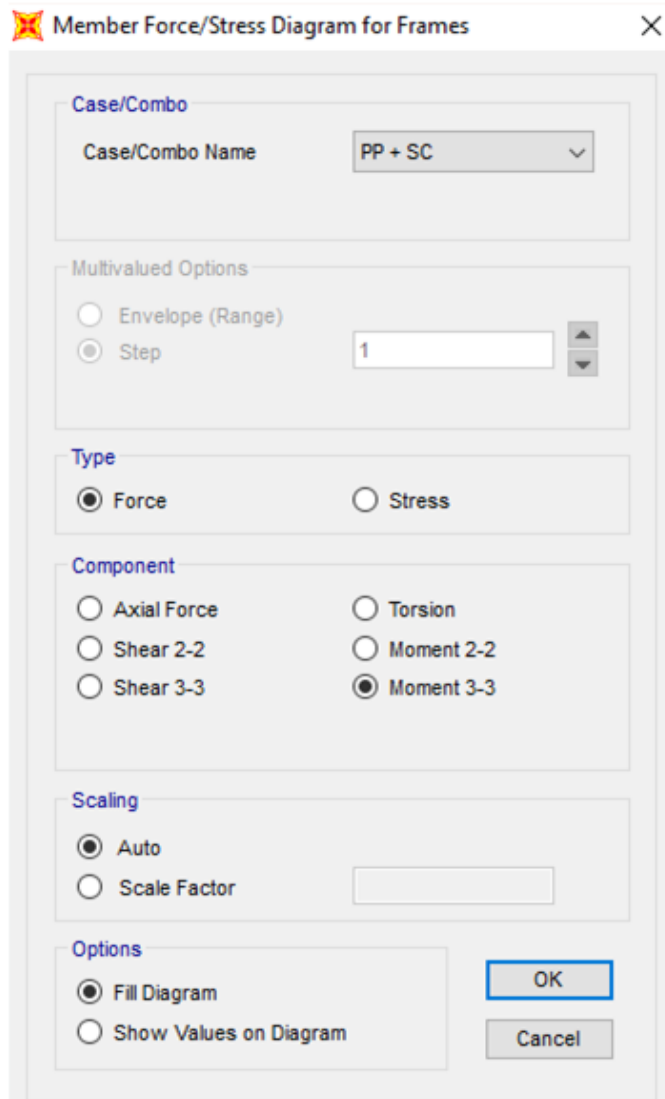


Figura 3-12. Cuadro para ver el tipo de diagramas que deseamos visualizar.

Fuente: SAP2000.

Como se requiere saber los diagramas de momento, se selecciona la opción Moment 3-3, en la cual se muestran los diagramas de momento de toda la estructura, ya sea de vigas como de columnas. También se puede seleccionar el tipo de combinación de carga, para saber cómo se comporta la estructura con cualquier combinación. En la figura que continua, se visualizan los diagramas de momentos de una estructura completa.

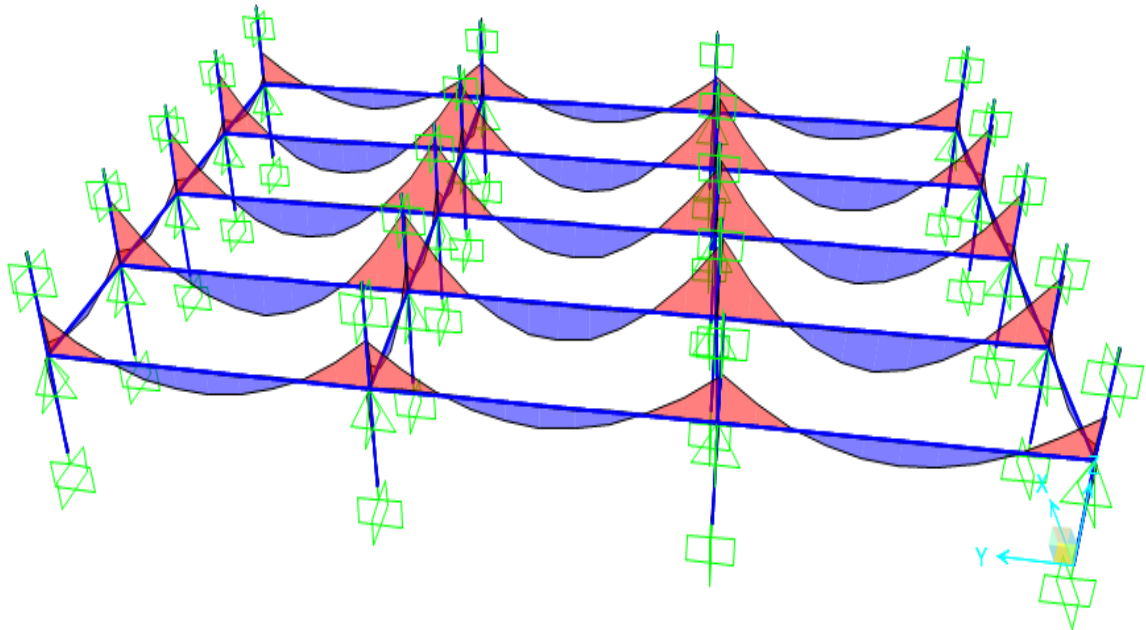


Figura 3-13. Diagramas de Momento de la estructura.

Fuente: SAP2000.

- d) Si se desea saber en detalle, los valores numéricos con los cuales está trabajando cada viga y/o columna, solo se debió hacer clic derecho en cualquier parte de la estructura que se deseaba estudiar y SAP2000 automáticamente abre una ventana que muestra aquellos resultados. La ventana que entrega SAP2000, se visualiza en la siguiente figura.

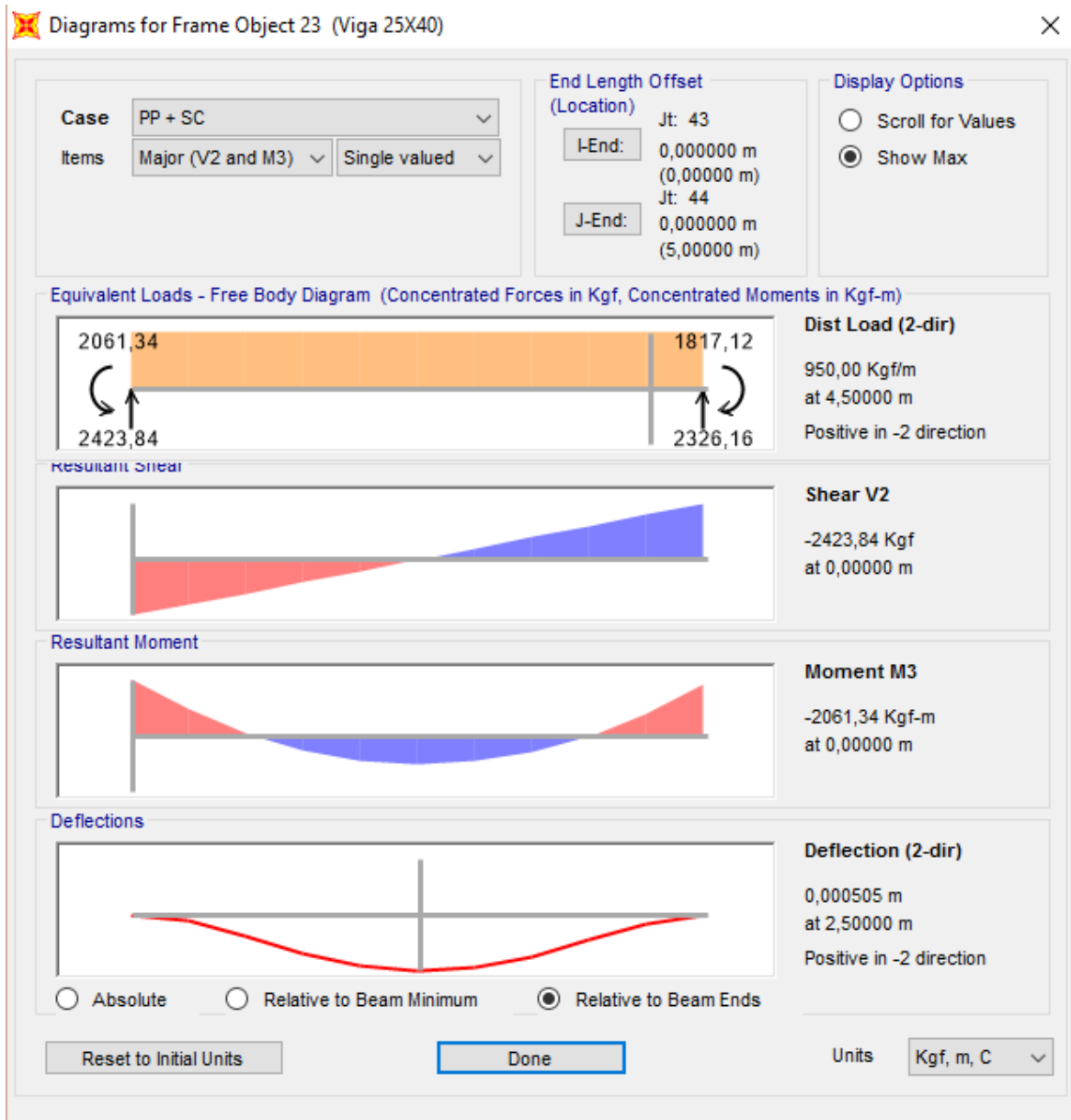


Figura 3-14. Resultados Diagramas de Momento de una Viga.

Fuente: SAP2000.

Como se observa en la figura 3-14, se puede saber cuáles son los momentos en cualquier parte de la viga. En este caso, solo nos interesaba saber los momentos en los extremos (momentos negativos) y en el centro de la misma (momento positivo).

Con los resultados ya mostrados a través de SAP2000, estos se apuntaron y se inició el proceso para averiguar si existe un valor “ α ”, para que todas las cargas independientemente de su forma geométrica, se puedan representar por una carga uniformemente distribuida.

Los resultados obtenidos, se anotaron de acuerdo a ciertos puntos que son importantes de mencionar.

- a) SAP2000 utiliza la opción “Grid Only” para tener un orden en la posición de los elementos según su eje coordenado, donde el eje “x” es representado por números y el eje “y” por letras. En esta investigación se utilizó la misma nomenclatura que SAP2000. En la figura se muestra una vista en planta de la nomenclatura usada.

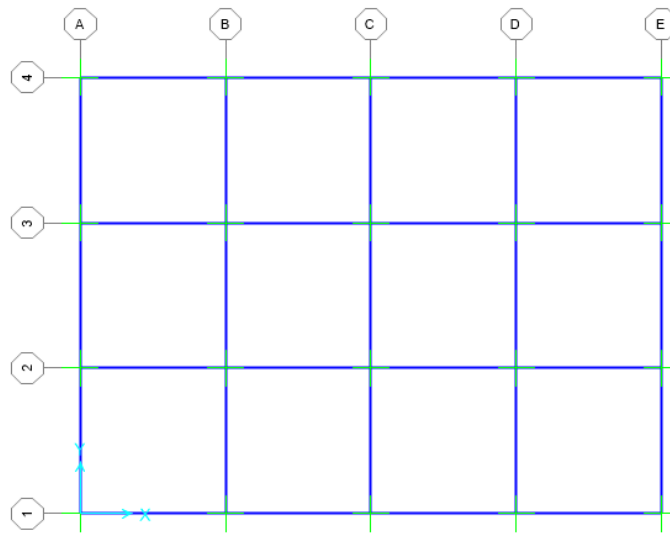


Figura 3-15. Ejes según SAP2000.

- b) Todos los datos fueron escritos en tablas, por lo que algunas de estas muestran los resultados obtenidos directamente por el método empleado por SAP2000, otras con el método de las Áreas Tributarias y por último tablas con el método de las Áreas Distribuidas (Distribución Uniforme), para todas las vigas. En los anexos, se muestran la totalidad de las tablas.
- c) Se hace una selección (reordenamiento) de los resultados obtenidos, tomando el Momento Negativo Mayor y el Momento Positivo Máximo obtenido a través de SAP2000, para todos los casos y tipos de análisis realizados.
- d) Los datos reordenados, se expusieron en tablas que se denominaron “tablas resumen”, que también se podrán ver en detalle en los Anexos del documento.

3.10. Cálculo de Valores “ α ”

Para obtener ese valor “ α ”, se efectuaron ciertas operaciones que se describen a continuación.

- a) Con los valores de los momentos máximos obtenidos por SAP2000 (M_{SAP}) y de los Momentos por Áreas Distribuidas (M_{AD}), se hace la razón entre ambos momentos y así se obtiene “ α_1 ”.

$$\alpha_1 = \frac{M_{SAP}}{M_{AD}} \quad Ec. 3.3$$

- b) Teniendo los valores de los Momentos por Áreas Tributarias (M_{AT}) y los Momentos por Áreas Distribuidas (M_{AD}), se hace el cociente entre ambos momentos y así se obtiene “ α_2 ”.

$$\alpha_2 = \frac{M_{AT}}{M_{AD}} \quad Ec. 3.4$$

- c) También se hizo una última operación. Se realizó el cociente entre el Momento por SAP2000 (M_{SAP}) y el Momento por Áreas Tributarias (M_{AT}). Se esperó que al realizar esa operación, los valores obtenidos sean muy similares a 1, ya que SAP2000 hace la descarga con método de elementos finitos con la discretización espacial adecuada de la losa.

$$\frac{M_{SAP}}{M_{AT}} \approx 1 \quad Ec. 3.5$$

Algo importante de mencionar es que los valores de “ α ” obtenidos, representan cuanto es el factor por el cual se debe multiplicar la carga obtenida por el Método de Áreas Distribuidas, para que con esa nueva carga obtenida al ingresarla al programa computacional, los momentos se comporten de manera muy similar a como se comportaba la estructura por el Método de SAP2000 y el Método de las Áreas Tributarias. Es decir, que esos momentos numéricamente sean lo más parecidos posibles.

Obtenidos los valores de “ α ”, se procedió a reordenar las cargas obtenidas anteriormente, multiplicándolos por el valor de α encontrado.

Esa “ α ” seleccionada, se multiplica específicamente con un valor que se ha denominado como “ b ”, que es básicamente la longitud de la viga que esta de manera perpendicular a la viga que se le está calculando su carga. Este valor puede ser L_a o L_b , dependiendo en que viga se desea estudiar su distribución de carga.

Unas tablas explicativas de como se hizo este procedimiento, se muestran a continuación.

Tabla 3-5. Distribución de Cargas, con Valores Alfa, $2,5 < \lambda \leq 4$ (Parte 1).

$\alpha=$	0,25	Lb=2 (m), $2,5 < \lambda \leq 4$			
		Sobrecarga Losa			
Eje N°	Ejes Letras	L (Kg/m ²)	b/2 (m)	L*b/2* α (Kg/m)	L (Kg/m)
1	A-B	0	2,5	0	156,25
		250	2,5	156,25	
	B-C	0	2,5	0	156,25
		250	2,5	156,25	
	C-D	0	2,5	0	156,25
		250	2,5	156,25	
	D-E	0	2,5	0	156,25
		250	2,5	156,25	
2	A-B	250	2,5	156,25	312,5
		250	2,5	156,25	
	B-C	250	2,5	156,25	312,5
		250	2,5	156,25	
	C-D	250	2,5	156,25	312,5
		250	2,5	156,25	
	D-E	250	2,5	156,25	312,5
		250	2,5	156,25	
3	A-B	250	2,5	156,25	312,5
		250	2,5	156,25	
	B-C	250	2,5	156,25	312,5
		250	2,5	156,25	
	C-D	250	2,5	156,25	312,5
		250	2,5	156,25	
	D-E	250	2,5	156,25	312,5
		250	2,5	156,25	
4	A-B	250	2,5	156,25	156,25
		0	2,5	0	
	B-C	250	2,5	156,25	156,25
		0	2,5	0	
	C-D	250	2,5	156,25	156,25
		0	2,5	0	
	D-E	250	2,5	156,25	156,25
		0	2,5	0	

Tabla 3-6. Distribución de Cargas, con Valores Alfa, $2,5 < \lambda \leq 4$ (Parte 2).

$\alpha=$	0,94	La=5 (m), $2,5 < \lambda \leq 4$			
		Sobrecarga Losa			
Ejes Letras	Eje N°	L (Kg/m ²)	b/2 (m)	L*b/2* α (Kg/m)	L (Kg/m)
A	1-2	0	1	0	235
		250	1	235	
	2-3	0	1	0	235
		250	1	235	
	3-4	0	1	0	235
		250	1	235	
B	1-2	250	1	235	470
		250	1	235	
	2-3	250	1	235	470
		250	1	235	
	3-4	250	1	235	470
		250	1	235	
C	1-2	250	1	235	470
		250	1	235	
	2-3	250	1	235	470
		250	1	235	
	3-4	250	1	235	470
		250	1	235	
D	1-2	250	1	235	470
		250	1	235	
	2-3	250	1	235	470
		250	1	235	
	3-4	250	1	235	470
		250	1	235	
E	1-2	250	1	235	235
		0	1	0	
	2-3	250	1	235	235
		0	1	0	
	3-4	250	1	235	235
		0	1	0	

Calculadas esas nuevas cargas, se procede a introducirlas nuevamente a SAP2000, para cada uno de los modelos estudiados. Se realiza el mismo procedimiento descrito anteriormente.

Las cargas serán distribuidas de manera uniforme, con las mismas condiciones de apoyo y mismas propiedades mecánicas de los materiales, tal como se mostró anteriormente.

3.11. Comparación de los Momentos y Error Porcentual

Para comparar los momentos, se hizo el cociente entre los momentos obtenidos por el método de Áreas Tributarias (M_{AT}) y/o el método de Áreas Distribuidas (M_{AD}), por el calculado con los valores alfa (M_{ALFA}). Se espera que esos resultados sean muy equivalentes a 1. Las siguientes expresiones muestran lo descrito.

$$\frac{M_{AT}}{M_{ALFA}} \approx 1 \quad Ec. 3.6$$

$$\frac{M_{SAP}}{M_{ALFA}} \approx 1 \quad Ec. 3.7$$

El porcentaje de tolerancia (o error porcentual) se calcula de la siguiente manera:

- a) Para la comparación entre los Momentos de SAP2000 (M_{SAP}) y los Momentos con valores alfa (M_{ALFA}):

$$Error\ Porcentual = \left(\frac{M_{SAP} - M_{ALFA}}{M_{SAP}} \right) * 100 \quad Ec. 3.8$$

- b) Para los Momentos por Áreas Tributarias (M_{AT}), y los Momentos con valores alfa (M_{ALFA}):

$$Error\ Porcentual = \left(\frac{M_{AT} - M_{ALFA}}{M_{AT}} \right) * 100 \quad Ec. 3.9$$

- c) Los resultados anteriores, también se ordenaron solo tomando los valores máximos de los momentos negativos y positivos, para tener una mejor visualización de estos.

3.12. Comparación de las distribuciones de Momentos

La comparación de la distribución de momentos, se hizo a través de lo que llamamos Índice de Similitud de Forma (ISF). Este Índice de Similitud de Forma, busca comparar la forma de la distribución de momentos obtenidas por los diferentes métodos, a través de un valor único que varía entre 0 y 1. Un valor cercano a 1, indica que existe un alto nivel de similitud entre los momentos y un valor cercano a 0 una nula similitud. (Tay, 2012, p. 19; Ramos, 2012, p. 35).

Para encontrar el ISF, se utilizó la siguiente expresión:

$$ISF = \frac{\{\phi_{SAP}^T\}\{\phi_{AD}\}}{\sqrt{(\{\phi_{SAP}^T\}\{\phi_{SAP}\})(\{\phi_{AD}^T\}\{\phi_{AD}\})}} \quad Ec. 3.10$$

Dónde:

ϕ_{SAP} : Momentos según SAP2000 (M_{SAP}), anotados en forma vectorial.

ϕ_{AD} : Momentos según Distribución Uniforme (M_{AD}), anotados en forma vectorial.

Para encontrar esos momentos y escribirlos de manera vectorial, el procedimiento fue el siguiente:

- Se seleccionó una viga y se observó su diagrama de momento.
- Del diagrama de la viga seleccionada, se toman 5 puntos y se registran sus respectivos valores. En la figura que continúa, se observa cuáles fueron los puntos seleccionados para todos los casos, independiente de la longitud de la viga.

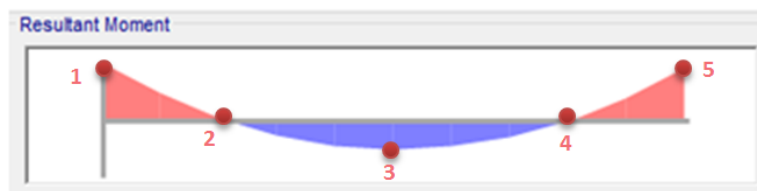


Figura 3-16. Puntos seleccionados del diagrama de momento, para criterio ISF.

Fuente: SAP2000.

- c) Los momentos se colocan en forma vectorial. La forma de ese vector, ya sea para valores de los momentos según SAP2000 (M_{SAP}) y según momentos con Distribución Uniforme (M_{AD}), es la siguiente:

$$\Phi_{SAP} = \begin{Bmatrix} M_{SAP\ 1} \\ M_{SAP\ 2} \\ M_{SAP\ 3} \\ M_{SAP\ 4} \\ M_{SAP\ 5} \end{Bmatrix}_{5 \times 1} \quad Ec. 3.11$$

$$\Phi_{AD} = \begin{Bmatrix} M_{AD\ 1} \\ M_{AD\ 2} \\ M_{AD\ 3} \\ M_{AD\ 4} \\ M_{AD\ 5} \end{Bmatrix}_{5 \times 1} \quad Ec. 3.12$$

- d) Luego de eso, se aplica la *Ec. 3.10* para poder calcular el valor según el criterio ISF. La resolución de esa ecuación, se hizo mediante un programa hecho en Matlab.

Cabe mencionar, que esos valores fueron calculados para todos los modelos de losas ideales realizadas, combinaciones de cargas utilizadas y edificios reales.

Para verificar de manera gráfica los resultados obtenidos por el criterio ISF, se hizo una superposición de Diagramas de Momentos. Es decir, se selecciona una viga por el método de cálculo de SAP2000, con sus respectivos valores de momentos y se grafican dichos puntos, obteniéndose la gráfica del diagrama de momento respectivo. Esto a su vez, se superpone con los resultados y posterior gráfica de una viga por el método de Área Distribuida (Distribución Uniforme) con Valores “ α ”.

Lo anterior, nos da una aclaración visual de cómo es la diferencia entre los momentos con los diferentes métodos, verificando así el criterio ISF.

3.13. Comprobación de resultados en losas de Edificios Reales

El último procedimiento que se realizó, fue la comprobación de los resultados obtenidos para un campo de losas de un edificio real, en el cual la configuración no resulta ser tan homogénea.

Para hacer lo anterior, se obtuvo un plano de losas del *Proyecto Condominio Parque El Volcán*, el cual fue levemente modificado para efectos de esta investigación.

El procedimiento que se utilizó fue el siguiente:

- a) Se modelaron ambas losas en el programa SAP2000.
- b) Luego, se le introdujeron las cargas al programa.
- c) Primero, vemos cómo se comportan las losas por el cálculo automático que realiza SAP2000.
- d) A continuación, se procedió a realizar la distribución de cargas de manera uniforme para todas las vigas de las losas estudiadas. Se aplicó el mismo procedimiento que se utilizó con las configuraciones analizadas.
- e) Luego, a esas cargas se le aplicaron los valores alfa y se procedió a comparar los valores de los momentos obtenidos ya sea por SAP2000 como por Áreas Distribuidas con valores “ α ”.
- f) Los resultados fueron anotados y se verificó si cumplen o no con la condición establecida.

A continuación se presentan una vista en planta de cada una de las losas (vista panorámica), solo a modo de exposición de ellas, sin mencionar en las mismas las propiedades geométricas y mecánicas.

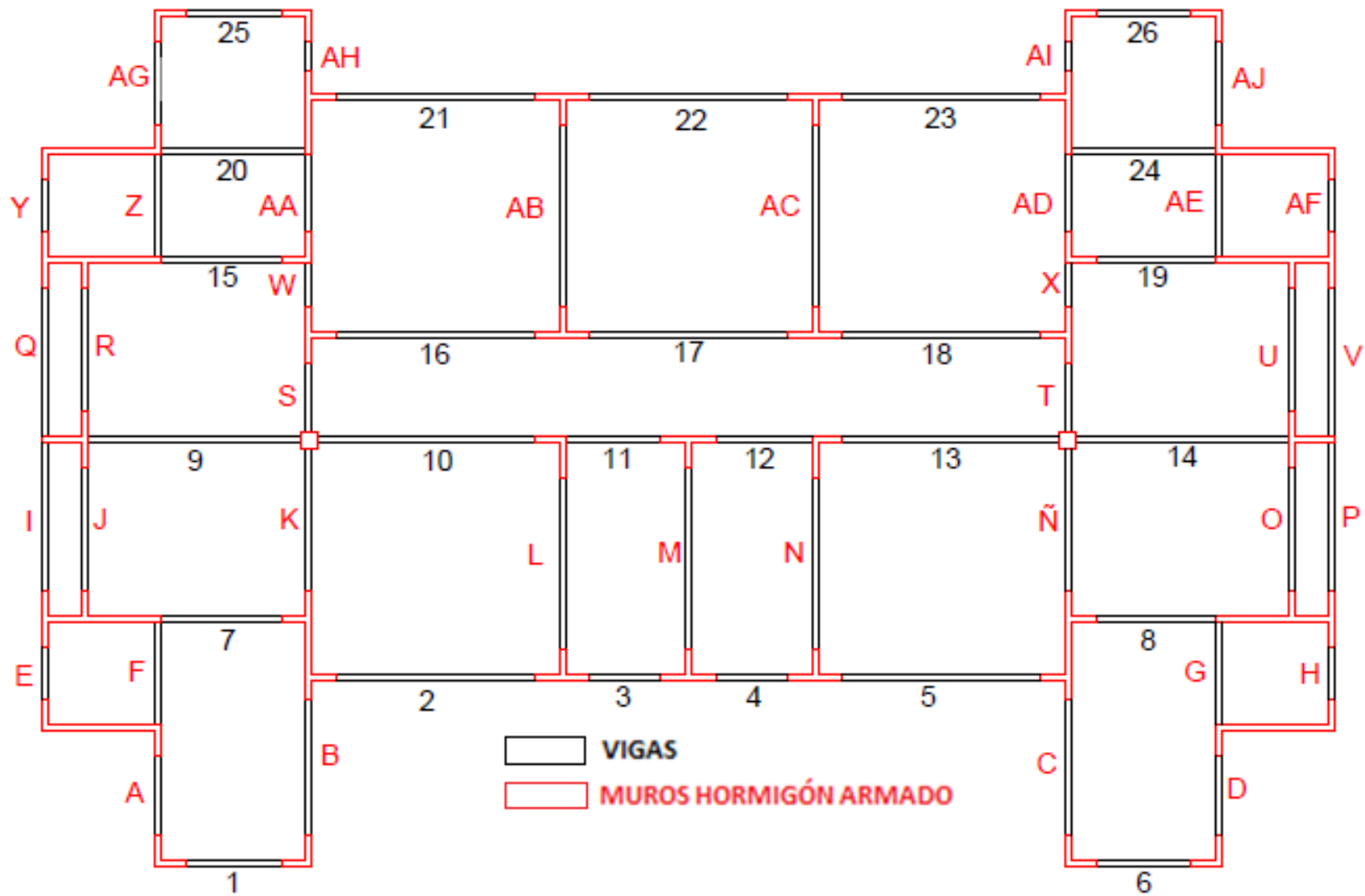


Figura 3-17. Vista en planta, Losa Proyecto Condominio Parque El Volcán.

Las propiedades geométricas de las losas del edificio Parque el Volcán, se muestran a continuación.

Tabla 3-7. Propiedades Geométricas y Mecánicas Losa Parque el Volcán.

Propiedades Geométricas y Mecánicas Losa Parque el Volcán		
γ (H.A)	2500	Kg/m ³
Altura viga	0,3	m
Ancho viga	0,15	m
e Losa	0,18	m
SC	250	Kg/m ²
e M.H.A	0,15	m

Capítulo 4

Análisis de Resultados

4.1. General

En este capítulo, se darán a conocer los resultados obtenidos de los análisis realizados. Estos son presentados en *tablas resúmenes*, donde la totalidad de ellas y su procedimiento de cálculo, se exponen en tablas y en los anexos de este documento.

Como se mencionó anteriormente, SAP2000 trabaja con ejes de números y ejes de letras, por lo que se decidió mantener el mismo orden para no mezclar los modelos, sus resultados y el posterior análisis de estos.

4.2. Resumen de Cargas por los diferentes métodos

Para poder realizar los modelos, se tributaron las cargas de las losas hacia las vigas correspondientes. Como son muchos modelos de losas ideales, se hace imposible señalar todas las tablas en este punto, por lo que la totalidad de ellas serán publicadas en los anexos de este documento. Además, se tomarán como ejemplo los resultados obtenidos cuando $2,5 < \lambda \leq 4$, aplicando el criterio λ , cuyos resultados representan el comportamiento de una losa rectangular.

4.2.1. Resumen de Cargas por Método de Áreas Tributarias

Las siguientes tablas resumen, muestran las cargas aplicadas a las vigas por el método de las Áreas Tributarias.

Tabla 4-1. Resumen de Cargas por AT ($2,5 < \lambda \leq 4$).

RESUMEN DE CARGAS, MODELO LOSA IDEAL, EJE N° POR AT ($2,5 < \lambda \leq 4$)			RESUMEN DE CARGAS, MODELO LOSA IDEAL, EJE LETRA POR AT ($2,5 < \lambda \leq 4$)		
EJE N°	EJE LETRA	L (Kg/m)	EJE LETRA	EJE N°	L (Kg/m)
1	A-B	250	A	1-2	250
	B-C	250		2-3	250
	C-D	250		3-4	250
	D-E	250	B	1-2	500
2	A-B	500		2-3	500
	B-C	500		3-4	500
	C-D	500	C	1-2	500
	D-E	500		2-3	500
3	A-B	500		3-4	500
	B-C	500	D	1-2	500
	C-D	500		2-3	500
	D-E	500		3-4	500
4	A-B	250	E	1-2	250
	B-C	250		2-3	250
	C-D	250		3-4	250
	D-E	250			

4.4.2. Resumen de Cargas por Método de Áreas Distribuidas

Las cargas aplicadas a las vigas, por el método de las Áreas Distribuidas (Distribución Uniforme) cuando $2,5 < \lambda \leq 4$, se muestra en la siguiente tabla resumen:

Tabla 4-2: Resumen de Cargas por AD ($2,5 < \lambda \leq 4$).

RESUMEN DE CARGAS, MODELO LOSA IDEAL, EJE N° POR AD ($2,5 < \lambda \leq 4$)			RESUMEN DE CARGAS, MODELO LOSA IDEAL, EJE LETRA POR AD ($2,5 < \lambda \leq 4$)		
EJE N°	EJE LETRA	L (Kg/m)	EJE LETRA	EJE N°	L (Kg/m)
1	A-B	625	A	1-2	250
	B-C	625		2-3	250
	C-D	625		3-4	250
	D-E	625	B	1-2	500
2	A-B	1250		2-3	500
	B-C	1250		3-4	500
	C-D	1250	C	1-2	500
	D-E	1250		2-3	500
3	A-B	1250		3-4	500
	B-C	1250	D	1-2	500
	C-D	1250		2-3	500
	D-E	1250		3-4	500
4	A-B	625	E	1-2	250
	B-C	625		2-3	250
	C-D	625		3-4	250
	D-E	625			

4.3. Momentos Máximos

SAP2000 puede entregar los momentos a los que está sometida una viga en cualquier parte de su longitud. A raíz de lo anterior, se pueden obtener los momentos máximos para cada viga de los modelos de losas ideales para cualquier método estudiado. Los momentos máximos cuando $2,5 < \lambda \leq 4$, se exhiben a continuación.

Tabla 4-3. Resumen de Momentos Máximos, $2,5 < \lambda \leq 4$, Eje N°.

RESUMEN MOMENTOS MÁXIMOS, EJE NUMERAL, $2,5 < \lambda \leq 4$									
Eje Numeral	Eje (Letra)	Tipo Mom	M (-) (kg-m)	M (+) (kg-m)	Eje Numeral	Eje (Letra)	Tipo Mom	M (-) (kg-m)	M (+) (kg-m)
1	A-B	MSAP	-54,78	33	3	A-B	MSAP	-109,3	66,07
		MAT	-56,2	33,37			MAT	-112,29	66,71
		MAD	-224,77	112,66			MAD	-449,17	225,16
	B-C	MSAP	-52,26	31,2		B-C	MSAP	-104,79	62,33
		MAT	-52,25	31,35			MAT	-104,48	62,69
		MAD	-208,99	104,55			MAD	-417,94	209,09
	C-D	MSAP	-52,26	31,2		C-D	MSAP	-104,79	62,33
		MAT	-52,25	31,35			MAT	-104,48	62,69
		MAD	-208,99	104,55			MAD	-417,94	209,09
	D-E	MSAP	-54,78	33		D-E	MSAP	-109,3	66,07
		MAT	-56,2	33,37			MAT	-112,29	66,71
		MAD	-224,77	112,66			MAD	-449,17	225,16
2	A-B	MSAP	-109,3	66,07	4	A-B	MSAP	-54,78	33
		MAT	-112,29	66,71			MAT	-56,2	33,37
		MAD	-449,17	225,16			MAD	-224,77	112,66
	B-C	MSAP	-104,79	62,33		B-C	MSAP	-52,26	31,2
		MAT	-104,48	62,69			MAT	-52,25	31,35
		MAD	-417,94	209,09			MAD	-208,99	104,55
	C-D	MSAP	-104,79	62,33		C-D	MSAP	-52,26	31,2
		MAT	-104,48	62,69			MAT	-52,25	31,35
		MAD	-417,94	209,09			MAD	-208,99	104,55
	D-E	MSAP	-109,3	66,07		D-E	MSAP	-54,78	33
		MAT	-112,29	66,71			MAT	-56,2	33,37
		MAD	-449,17	225,16			MAD	-224,77	112,66

Tabla 4-4. Resumen de Momentos Máximos, $2,5 < \lambda \leq 4$, Eje Letra.

RESUMEN MOMENTOS MÁXIMOS, EJE LETRA, $2,5 < \lambda \leq 4$									
Eje Letra	Eje Numeral	Tipo Mom	M (-) (kg-m)	M (+) (kg-m)	Eje Letra	Eje Numeral	Tipo Mom	M (-) (kg-m)	M (+) (kg-m)
A	1-2	M _{SAP}	-501,99	265,88	D	1-2	M _{SAP}	-1001,98	530,89
		M _{AT}	-503,51	266,05			M _{AT}	-1005,75	531,52
		M _{AD}	-542,58	270,98			M _{AD}	-1083,78	541,33
	2-3	M _{SAP}	-483,36	256,22		2-3	M _{SAP}	-966,83	512,34
		M _{AT}	-482,96	256,62			M _{AT}	-965,96	513,21
		M _{AD}	-520,43	260,82			M _{AD}	-1040,91	521,59
	3-4	M _{SAP}	-501,99	265,88		3-4	M _{SAP}	-1001,98	530,89
		M _{AT}	-503,51	266,05			M _{AT}	-1005,75	531,52
		M _{AD}	-542,58	270,98			M _{AD}	-1083,78	541,33
B	1-2	M _{SAP}	-1001,98	530,89	E	1-2	M _{SAP}	-501,99	265,88
		M _{AT}	-1005,75	531,52			M _{AT}	-503,51	266,05
		M _{AD}	-1083,78	541,33			M _{AD}	-542,58	270,98
	2-3	M _{SAP}	-966,83	512,34		2-3	M _{SAP}	-483,36	256,22
		M _{AT}	-965,96	513,21			M _{AT}	-482,96	256,62
		M _{AD}	-1040,91	521,59			M _{AD}	-520,43	260,82
	3-4	M _{SAP}	-1001,98	530,89		3-4	M _{SAP}	-501,99	265,88
		M _{AT}	-1005,75	531,52			M _{AT}	-503,51	266,05
		M _{AD}	-1083,78	541,33			M _{AD}	-542,58	270,98
C	1-2	M _{SAP}	-1002	531,07		1-2	M _{SAP}	-1006,17	531,71
		M _{AT}	-1006,17	531,71			M _{AT}	-1006,17	531,71
		M _{AD}	-1084,23	541,54			M _{AD}	-1084,23	541,54
	2-3	M _{SAP}	-966,94	512,23		2-3	M _{SAP}	-966,94	512,23
		M _{AT}	-965,95	513,22			M _{AT}	-965,95	513,22
		M _{AD}	-1040,89	521,61			M _{AD}	-1040,89	521,61
	3-4	M _{SAP}	-1002	531,07		3-4	M _{SAP}	-1002	531,07
		M _{AT}	-1006,17	531,71			M _{AT}	-1006,17	531,71
		M _{AD}	-1084,23	541,54			M _{AD}	-1084,23	541,54

4.4. Valores “ α ”

Al aplicar la metodología descrita, se obtuvieron Valores “ α ” para los Momentos Negativos y Positivos y a su vez para los Ejes Largos y Cortos. Estos Valores “ α ” son los siguientes.

Tabla 4-5. Valores "α", Ejes Cortos.

Valores "α" EJE CORTO		
λ	M -	M +
λ = 1	0,64	0,74
1 < λ ≤ 1,33	0,48	0,54
1,33 < λ ≤ 1,5	0,42	0,49
1,5 < λ ≤ 2	0,32	0,36
2 < λ ≤ 2,5	0,31	0,36
2,5 < λ ≤ 4	0,25	0,29
λ > 4	0,155	0,14

Tabla 4-6. Valores "α", Ejes Largos.

Valores "α" EJE LARGO		
λ	M -	M +
λ = 1	0,64	0,74
1 < λ ≤ 1,33	0,8	0,86
1,33 < λ ≤ 1,5	0,84	0,89
1,5 < λ ≤ 2	0,9	0,92
2 < λ ≤ 2,5	0,92	0,92
2,5 < λ ≤ 4	0,94	0,94
λ > 4	0,98	0,98

Graficando los Valores "α" encontrados, con respecto a los Valores de λ, tenemos lo siguiente.

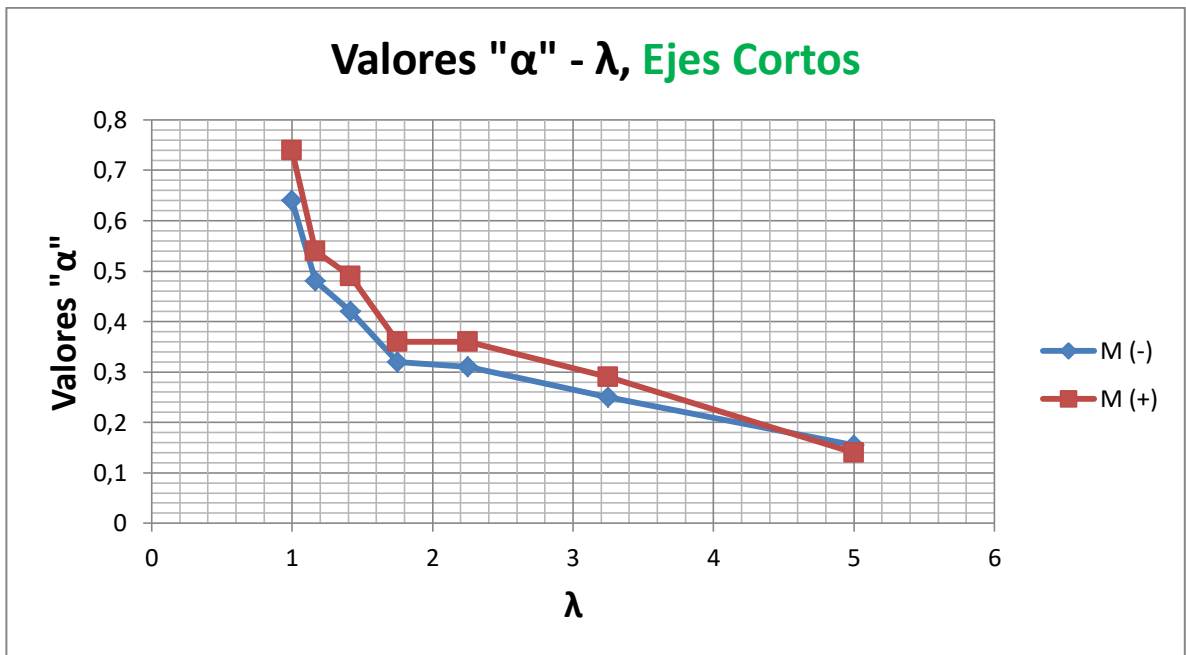


Gráfico 4-1. Valores " α " vs λ , Ejes Cortos.

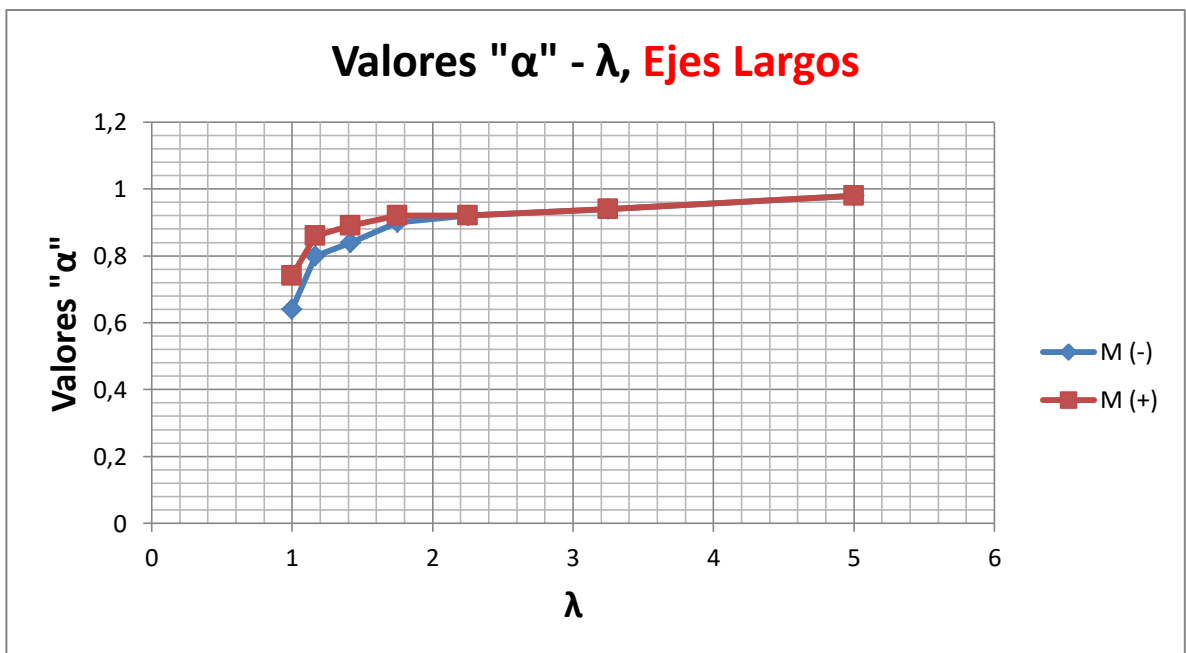


Gráfico 4-2. Valores " α " vs λ , Ejes Largos.

Para los ejes cortos, el valor de “ α ” será más pequeño mientras más corta sea la dimensión de la losa. Además se observan claramente 3 tipos de pendientes en el gráfico. Un tramo central donde los valores de “ α ” son muy similares y otros dos tramos donde la pendiente es negativa, es decir los valores van disminuyendo significativamente. Esto se explica porque al aplicar el método de Áreas Distribuidas (distribución uniforme) se estaban sobreestimando las cargas, por lo que estas tienen que multiplicarse por un valor de “ α ” menor a 1 para que cumplan con la condición establecida.

Por el contrario, para ejes largos mientras más extensa sea la dimensión del lado largo de la losa, el valor de “ α ” más próximo será a 1. Eso tiene sentido, porque las cargas que se transmitirán a las vigas tienen formas trapezoidales muy parecidas a cargas uniformemente distribuidas, por lo que menos será la disminución de las cargas para que sus resultados sean similares.

Al fijar estos valores “ α ” a las cargas obtenidas por el método de las Áreas Distribuidas (Distribución Uniforme), tendremos nuevas cargas, que nuevamente serán introducidas al modelo de losas ideales de SAP2000 que corresponde.

4.5. Momentos Obtenidos con Valores “ α ”

Calculados y probados los valores “ α ”, se calcularon nuevas cargas con las cuales fueron ingresadas a SAP2000 para verificar si estos números encontrados son válidos o no. Se realizó este procedimiento por separado; uno para encontrar los momentos negativos aplicando el “ α ” correspondiente y luego usando el “ α ” para los momentos positivos. Se anotaron los valores de los momentos negativos y positivos para estas cargas, los cuales se muestran en la siguiente tabla de ejemplo, dejando las demás en los anexos a este documento.

Tabla 4-7: Momentos obtenidos por AD con valores "α", $2,5 < \lambda \leq 4$, Eje N°.

MOMENTOS MÁXIMOS CON VALORES "α" (MALFA), EJE NUMERAL, $2,5 < \lambda \leq 4$, EJE CORTO			
Eje Numeral	Eje Letra	α (-)= 0,25	α (+)= 0,29
		M (-) (kg-m)	M (+) (kg-m)
1	A-B	-56,2	32,67
	B-C	-52,25	30,32
	C-D	-52,25	30,32
	D-E	-56,2	32,67
2	A-B	-112,29	65,3
	B-C	-104,48	60,64
	C-D	-104,48	60,64
	D-E	-112,29	65,3
3	A-B	-112,29	65,3
	B-C	-104,48	60,64
	C-D	-104,48	60,64
	D-E	-112,29	65,3
4	A-B	-56,2	32,67
	B-C	-52,25	30,32
	C-D	-52,25	30,32
	D-E	-56,2	32,67

Tabla 4-8: Momentos obtenidos por AD con valores "α", $2,5 < \lambda \leq 4$, Eje Letra.

MOMENTOS MÁXIMOS CON VALORES "α" (MALFA), EJE LETRA, $2,5 < \lambda \leq 4$, EJE LARGO			
Eje Letra	Eje Numeral	α (-)= 0,94	α (+)= 0,94
		M (-) (kg-m)	M (+) (kg-m)
A	1-2	-510,02	254,72
	2-3	-489,2	245,17
	3-4	-510,02	254,72
B	1-2	-1018,76	508,85
	2-3	-978,45	490,3
	3-4	-1018,76	508,85
C	1-2	-1019,18	509,05
	2-3	-978,44	490,31
	3-4	-1019,18	509,05
D	1-2	-1018,76	508,85
	2-3	-978,45	490,3
	3-4	-1018,76	508,85
E	1-2	-510,02	254,72
	2-3	-489,2	245,17
	3-4	-510,02	254,72

4.6. Error Porcentual de los Momentos Máximos

Las tablas que indican el Error Porcentual de los Momentos Máximos, siguen la siguiente lógica.

- Para cada viga, muestra cuáles son sus momentos máximos negativos y positivos para la comparación correspondiente. En un primer caso, se realizó la comparación entre los momentos obtenidos por SAP2000 (M_{SAP}) y los momentos obtenidos por Áreas Distribuidas con Valores “ α ” (M_{ALFA}). Y después la comparación entre momentos por Áreas Tributarias (M_{AT}) y Áreas Distribuidas con Valores “ α ” (M_{ALFA}).
- Estas comparaciones dan como resultado el Error Porcentual que existe entre las comparaciones descritas.
- Si el Error Porcentual cumple con un error aceptable (error porcentual menor o igual al 10%), la tabla menciona que “Cumple” con la condición, y cuando no lo hace se visualiza en la tabla “No Cumple”.
- Por último, según las expresiones utilizadas para calcular el error porcentual, un valor negativo indica que hay una sobreestimación y valor positivo indica que se está por debajo del valor real.

A modo de ejemplo, se muestra la tabla cuando $2,5 < \lambda \leq 4$.

Tabla 4-9. Error Porcentual Momentos Máximos, $2,5 < \lambda \leq 4$, Eje N°.

ERROR PORCENTUALMOMENTOS MÁXIMOS, EJE NUMERAL, $2,5 < \lambda \leq 4$, EJE CORTO											
Eje Numeral	Eje (Letra)	M (kg-m)	Comparación	L		Eje Numeral	Eje (Letra)	M (kg-m)	Comparación	L	
1	A-B	M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	-2,59	Cumple	3	A-B	M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	-2,74	Cumple
		M +		1,00	Cumple			M +		1,17	Cumple
		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple			M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple
		M +		2,10	Cumple			M +		2,11	Cumple
	B-C	M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	0,02	Cumple		M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	0,30	Cumple	
		M +		2,82	Cumple		M +		2,71	Cumple	
		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple	
		M +		3,29	Cumple		M +		3,27	Cumple	
	C-D	M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	0,02	Cumple		M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	0,30	Cumple	
		M +		2,82	Cumple		M +		2,71	Cumple	
		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple	
		M +		3,29	Cumple		M +		3,27	Cumple	
	D-E	M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	-2,59	Cumple		M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	-2,74	Cumple	
		M +		1,00	Cumple		M +		1,17	Cumple	
		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple	
		M +		2,10	Cumple		M +		2,11	Cumple	
2	A-B	M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	-2,74	Cumple	4	A-B	M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	-2,59	Cumple
		M +		1,17	Cumple			M +		1,00	Cumple
		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple			M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple
		M +		2,11	Cumple			M +		2,10	Cumple
	B-C	M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	0,30	Cumple		M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	0,02	Cumple	
		M +		2,71	Cumple		M +		2,82	Cumple	
		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple	
		M +		3,27	Cumple		M +		3,29	Cumple	
	C-D	M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	0,30	Cumple		M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	0,02	Cumple	
		M +		2,71	Cumple		M +		2,82	Cumple	
		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple	
		M +		3,27	Cumple		M +		3,29	Cumple	
	D-E	M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	-2,74	Cumple		M -	M _{SAP} - M _{MALFA}	-2,59	Cumple	
		M +		1,17	Cumple		M +		1,00	Cumple	
		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple		M -	M _{MAT} - M _{MALFA}	0,00	Cumple	
		M +		2,11	Cumple		M +		2,10	Cumple	

Tabla 4-10. Error Porcentual Momentos Máximos, $2,5 < \lambda \leq 4$, Eje Letra.

ERROR PORCENTUAL MOMENTOS MÁXIMOS, EJE LETRA, $2,5 < \lambda \leq 4$, EJE LARGO											
Eje Letra	Eje Numeral	M (kg-m)	Comparación	L		Eje Letra	Eje Numeral	M (kg-m)	Comparación	L	
A	1-2	M -	MSAP - MALFA	-1,60	Cumple	D	1-2	M -	MSAP - MALFA	-1,67	Cumple
		M +		4,20	Cumple			M +		4,15	Cumple
		M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple			M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple
		M +		4,26	Cumple			M +		4,27	Cumple
	2-3	M -	MSAP - MALFA	-1,21	Cumple		M -	MSAP - MALFA	-1,20	Cumple	
		M +		4,31	Cumple		M +		4,30	Cumple	
		M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple		M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple	
		M +		4,46	Cumple		M +		4,46	Cumple	
	3-4	M -	MSAP - MALFA	-1,60	Cumple		M -	MSAP - MALFA	-1,67	Cumple	
		M +		4,20	Cumple		M +		4,15	Cumple	
		M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple		M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple	
		M +		4,26	Cumple		M +		4,27	Cumple	
B	1-2	M -	MSAP - MALFA	-1,67	Cumple	E	1-2	M -	MSAP - MALFA	-1,60	Cumple
		M +		4,15	Cumple			M +		4,20	Cumple
		M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple			M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple
		M +		4,27	Cumple			M +		4,26	Cumple
	2-3	M -	MSAP - MALFA	-1,20	Cumple		M -	MSAP - MALFA	-1,21	Cumple	
		M +		4,30	Cumple		M +		4,31	Cumple	
		M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple		M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple	
		M +		4,46	Cumple		M +		4,46	Cumple	
	3-4	M -	MSAP - MALFA	-1,67	Cumple		M -	MSAP - MALFA	-1,60	Cumple	
		M +		4,15	Cumple		M +		4,20	Cumple	
		M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple		M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple	
		M +		4,27	Cumple		M +		4,26	Cumple	
C	1-2	M -	MSAP - MALFA	-1,71	Cumple						
		M +		4,15	Cumple						
		M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple						
		M +		4,26	Cumple						
	2-3	M -	MSAP - MALFA	-1,19	Cumple						
		M +		4,28	Cumple						
		M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple						
		M +		4,46	Cumple						
	3-4	M -	MSAP - MALFA	-1,71	Cumple						
		M +		4,15	Cumple						
		M -	MAT - MALFA	-1,29	Cumple						
		M +		4,26	Cumple						

Se analizaron más profundamente los resultados obtenidos, haciendo un estudio con el Error Porcentual de los Momentos Positivos y Negativos para las combinaciones $M_{SAP} - M_{ALFA}$ y $M_{AT} - M_{ALFA}$, para los Ejes Cortos y Ejes Largos. A continuación se visualizan las tablas resúmenes y su gráfico correspondiente.

Tabla 4-11. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.

ERROR PORCENTUAL MOMENTO NEGATIVO, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, EJE CORTO		
λ	" α " Mom - EJE CORTO	L
$\lambda = 1$	0,64	-3,16
$1 < \lambda \leq 1,33$	0,48	-3,41
$1,33 < \lambda \leq 1,5$	0,42	-1,77
$1,5 < \lambda \leq 2$	0,32	-1,18
$2 < \lambda \leq 2,5$	0,31	-3,66
$2,5 < \lambda \leq 4$	0,25	-1,25
$\lambda > 4$	0,155	0,84
	Promedio	-1,94

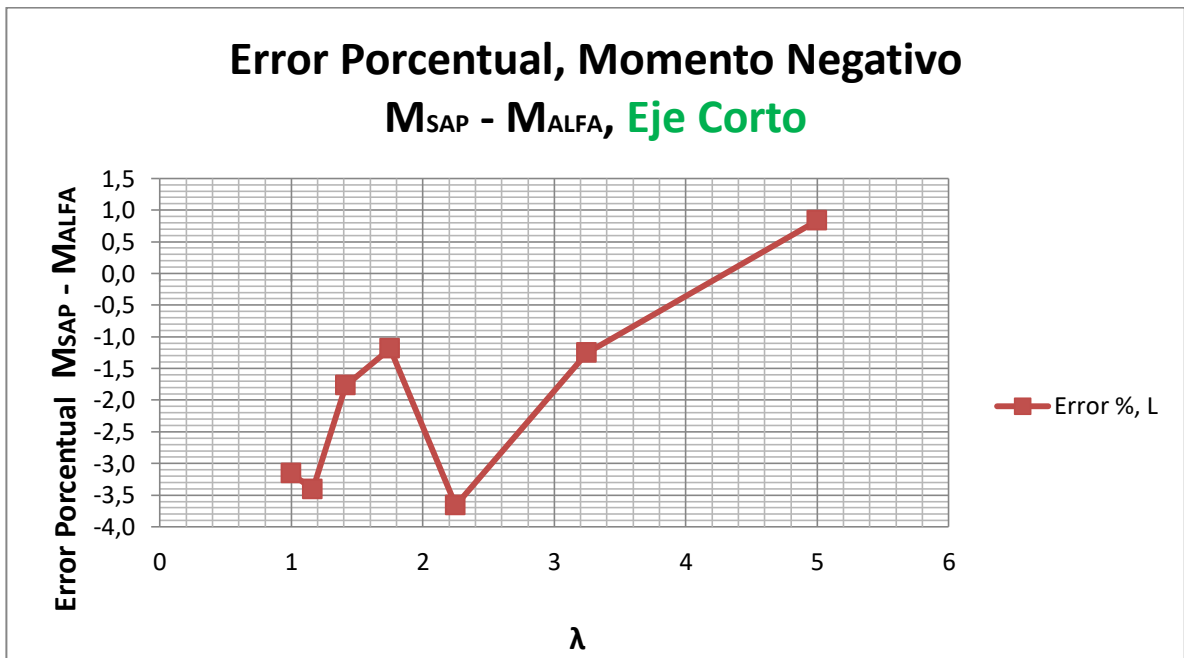


Gráfico 4-3. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.

Tabla 4-12. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.

ERROR PORCENTUAL MOMENTO POSITIVO, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, EJE CORTO		
λ	" α " Mom + EJE CORTO	L
$\lambda = 1$	0,74	0,00
$1 < \lambda \leq 1,33$	0,54	2,27
$1,33 < \lambda \leq 1,5$	0,49	0,87
$1,5 < \lambda \leq 2$	0,36	1,97
$2 < \lambda \leq 2,5$	0,36	1,48
$2,5 < \lambda \leq 4$	0,29	1,92
$\lambda > 4$	0,14	5,14
	Promedio	1,95

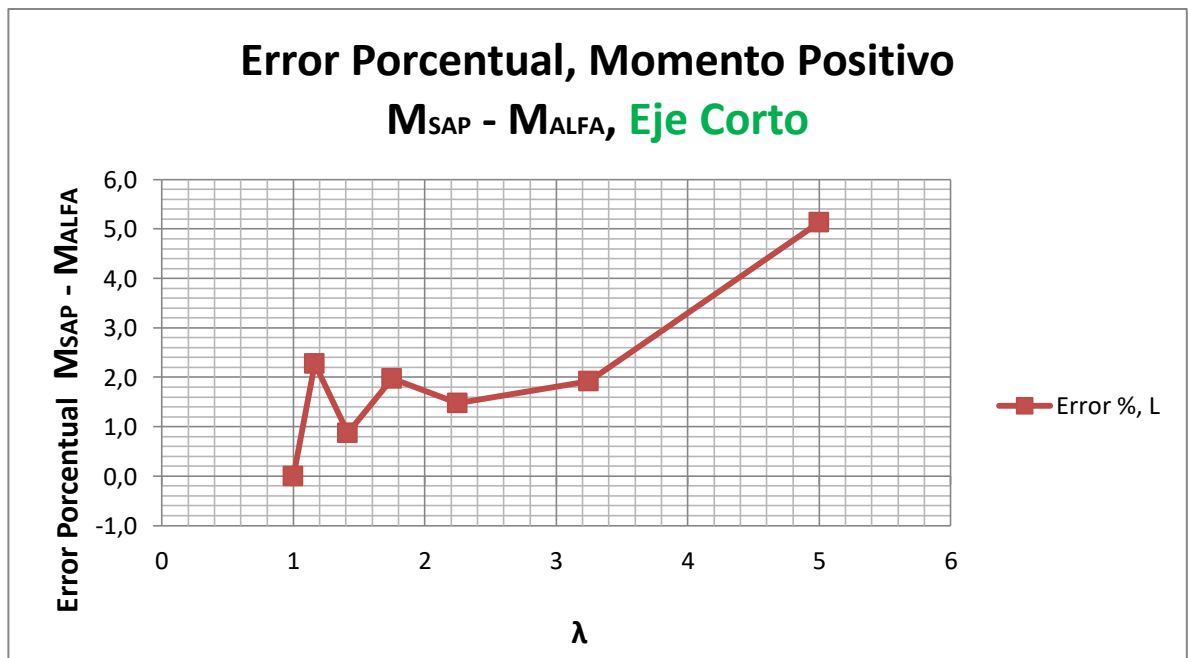


Gráfico 4-4. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.

Tabla 4-13. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.

ERROR PORCENTUAL MOMENTO NEGATIVO, $M_{AT} - M_{ALFA}$, EJE CORTO		
λ	" α " Mom - EJE CORTO	L
$\lambda = 1$	0,64	-2,41
$1 < \lambda \leq 1,33$	0,48	-2,40
$1,33 < \lambda \leq 1,5$	0,42	-0,80
$1,5 < \lambda \leq 2$	0,32	0,80
$2 < \lambda \leq 2,5$	0,31	-2,28
$2,5 < \lambda \leq 4$	0,25	0,00
$\lambda > 4$	0,155	2,00
	Promedio	-0,73

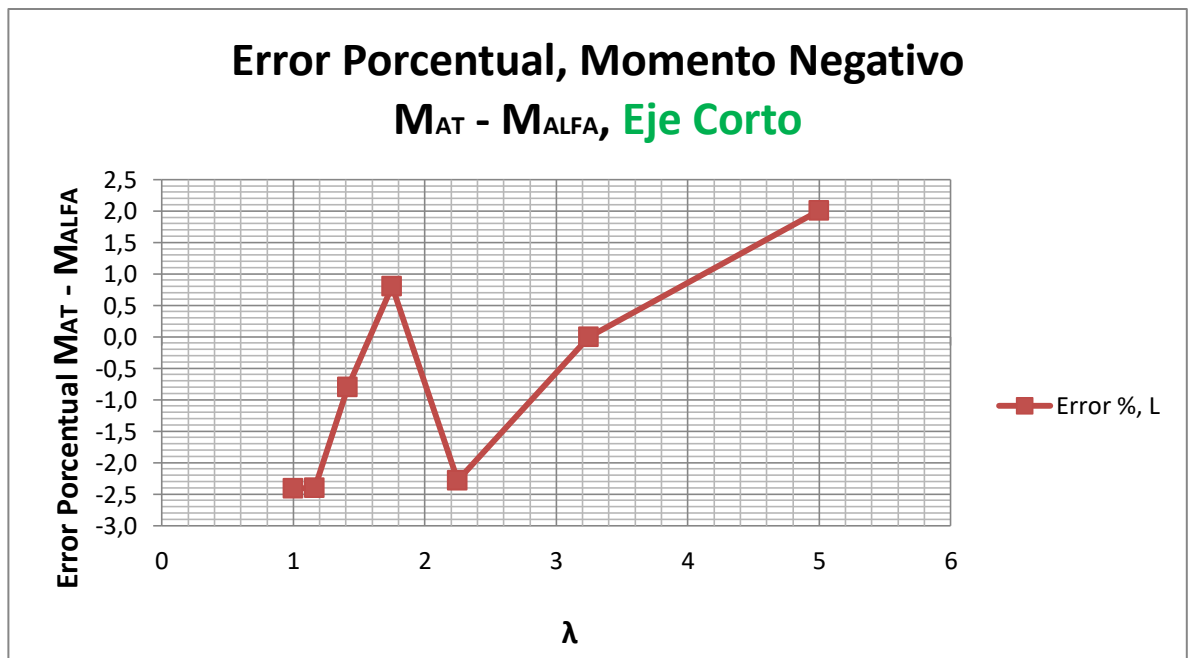


Gráfico 4-5. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.

Tabla 4-14. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.

ERROR PORCENTUAL MOMENTO POSITIVO, $M_{AT} - M_{ALFA}$, EJE CORTO		
λ	" α " Mom + EJE CORTO	L
$\lambda = 1$	0,74	0,46
$1 < \lambda \leq 1,33$	0,54	2,97
$1,33 < \lambda \leq 1,5$	0,49	2,11
$1,5 < \lambda \leq 2$	0,36	3,14
$2 < \lambda \leq 2,5$	0,36	2,68
$2,5 < \lambda \leq 4$	0,29	2,69
$\lambda > 4$	0,14	8,75
	Promedio	3,26

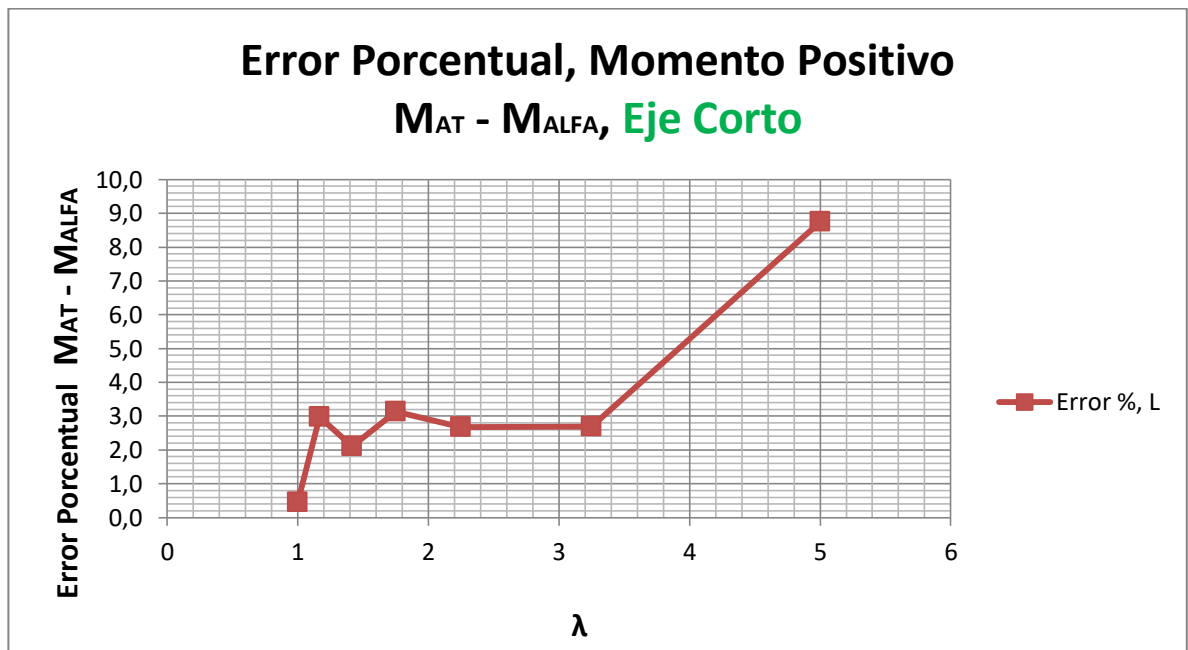


Gráfico 4-6. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Cortos.

Tabla 4-15. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.

ERROR PORCENTUAL MOMENTO NEGATIVO, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, EJE LARGO		
λ	" α " Mom - EJE LARGO	L
$\lambda = 1$	0,64	-3,17
$1 < \lambda \leq 1,33$	0,8	-4,32
$1,33 < \lambda \leq 1,5$	0,84	-3,54
$1,5 < \lambda \leq 2$	0,9	-2,60
$2 < \lambda \leq 2,5$	0,92	-3,73
$2,5 < \lambda \leq 4$	0,94	-1,50
$\lambda > 4$	0,98	-1,20
	Promedio	-2,87

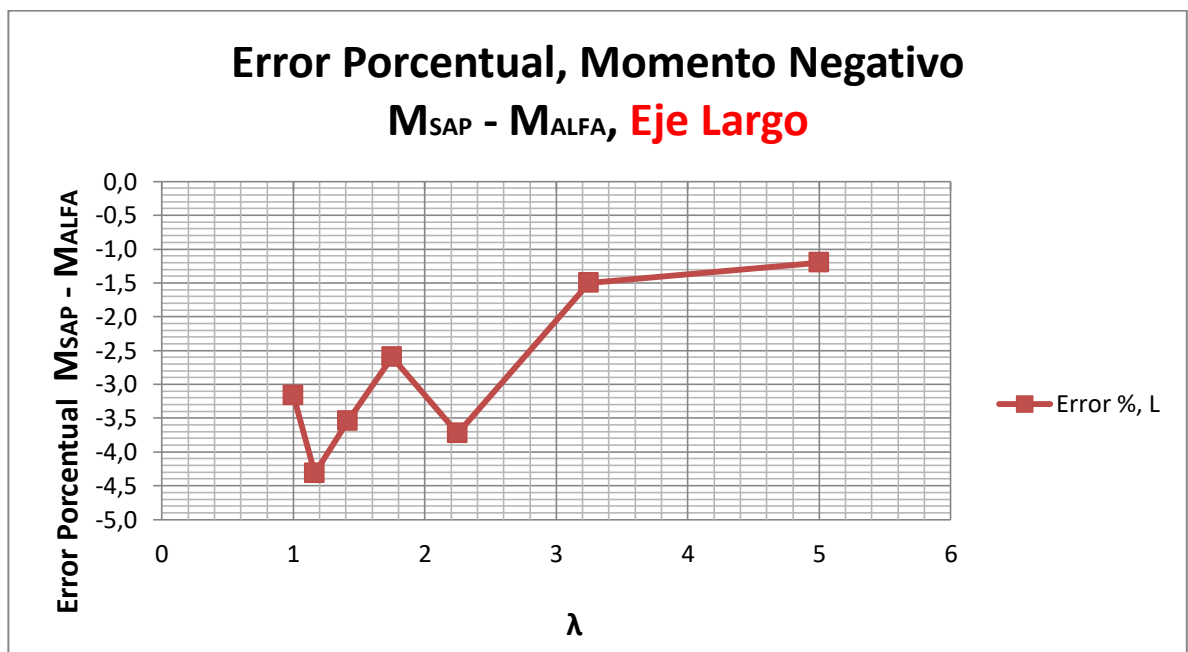


Gráfico 4-7. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.

Tabla 4-16. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.

ERROR PORCENTUAL MOMENTO POSITIVO, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, EJE LARGO		
λ	" α " Mom + EJE LARGO	L
$\lambda = 1$	0,74	0,35
$1 < \lambda \leq 1,33$	0,86	3,09
$1,33 < \lambda \leq 1,5$	0,89	3,18
$1,5 < \lambda \leq 2$	0,92	3,51
$2 < \lambda \leq 2,5$	0,92	4,55
$2,5 < \lambda \leq 4$	0,94	4,21
$\lambda > 4$	0,98	0,89
	Promedio	2,83

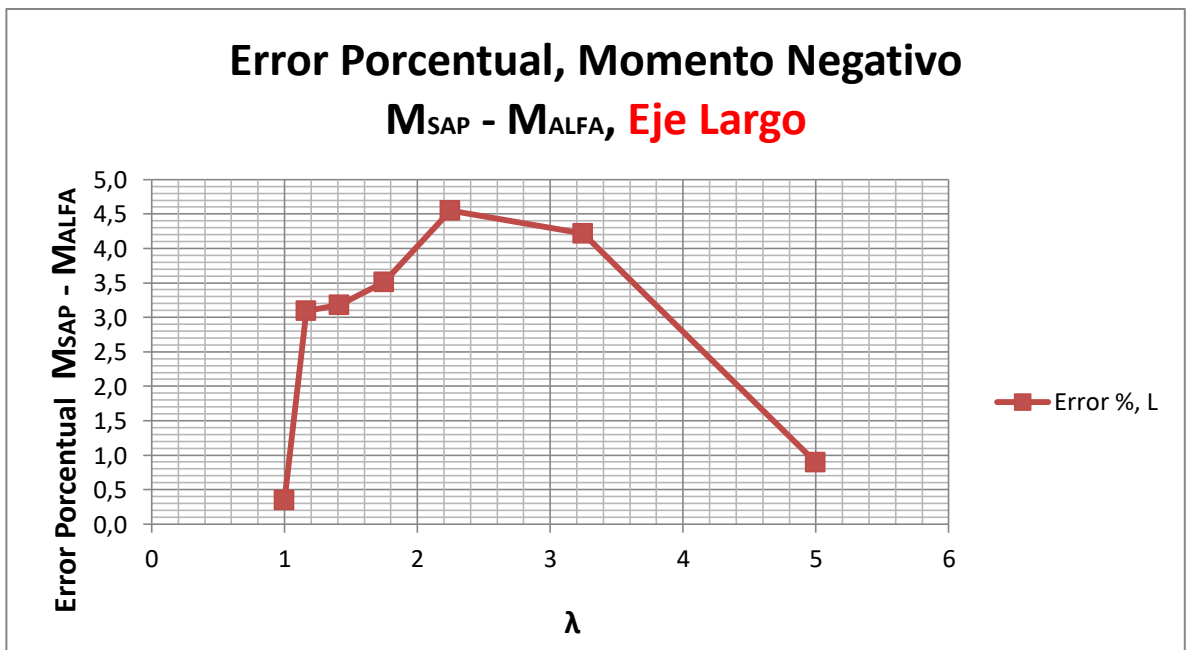


Gráfico 4-8. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{SAP} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.

Tabla 4-17. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.

ERROR PORCENTUAL MOMENTO NEGATIVO, $M_{AT} - M_{ALFA}$, EJE LARGO		
λ	" α " Mom - EJE LARGO	L
$\lambda = 1$	0,64	-2,40
$1 < \lambda \leq 1,33$	0,8	-3,70
$1,33 < \lambda \leq 1,5$	0,84	-3,09
$1,5 < \lambda \leq 2$	0,9	-1,05
$2 < \lambda \leq 2,5$	0,92	-3,29
$2,5 < \lambda \leq 4$	0,94	-1,29
$\lambda > 4$	0,98	-0,99
	Promedio	-2,26

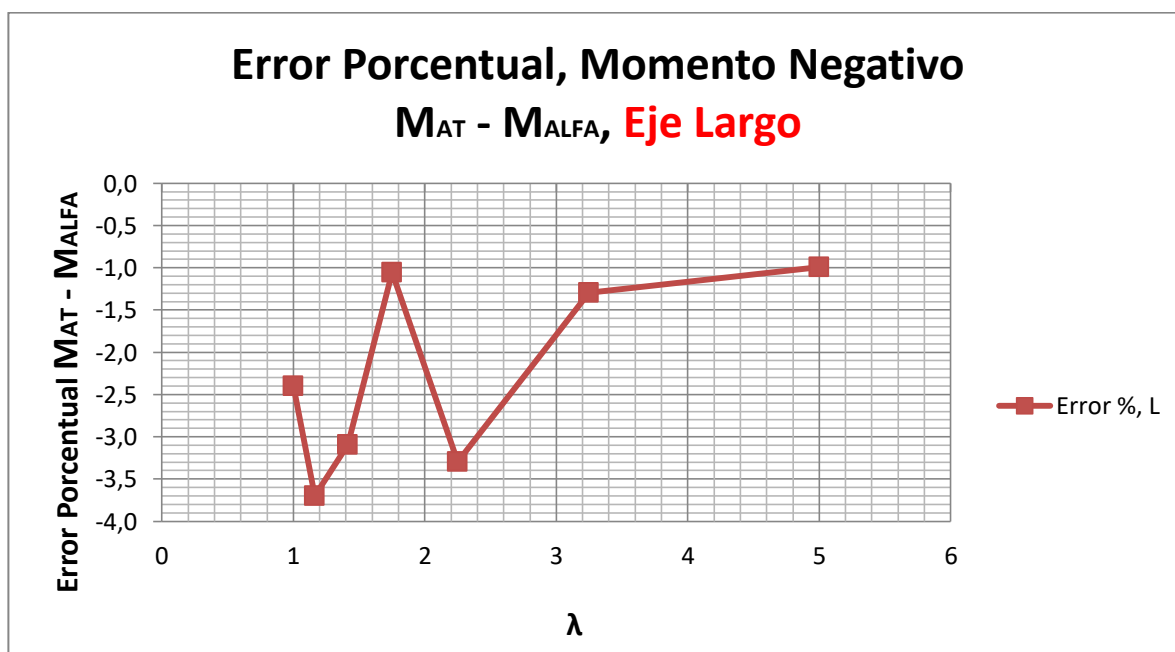


Gráfico 4-9. Error Porcentual Momentos Negativos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.

Tabla 4-18. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.

ERROR PORCENTUAL MOMENTO POSITIVO, $M_{AT} - M_{ALFA}$, EJE LARGO		
λ	" α " Mom + EJE LARGO	L
$\lambda = 1$	0,74	1,45
$1 < \lambda \leq 1,33$	0,86	3,34
$1,33 < \lambda \leq 1,5$	0,89	3,43
$1,5 < \lambda \leq 2$	0,92	4,45
$2 < \lambda \leq 2,5$	0,92	4,74
$2,5 < \lambda \leq 4$	0,94	4,33
$\lambda > 4$	0,98	0,96
	Promedio	3,24

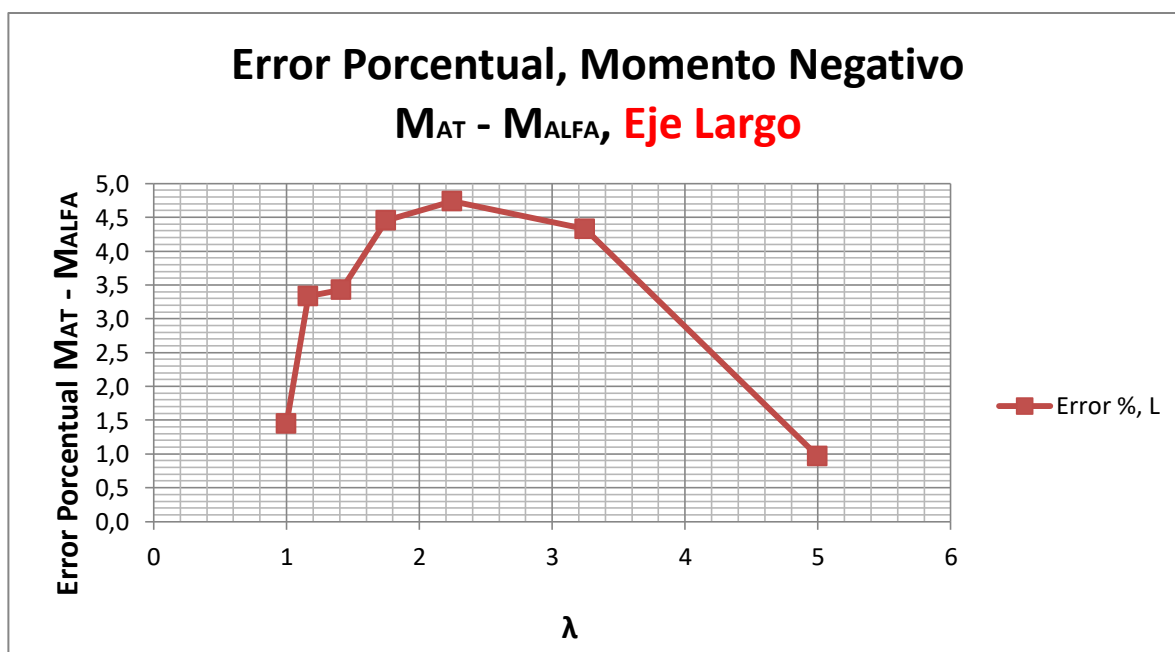


Gráfico 4-10. Error Porcentual Momentos Positivos, $M_{AT} - M_{ALFA}$, Ejes Largos.

Como se observan en las tablas y gráficos anteriores, según los valores encontrados, el error absoluto en la mayoría de los casos no supera el 5%. Aunque la forma geométrica de los momentos no es fácil de estudiar, lo que sí es importante mencionar, que no superan un error importante, por lo que gráficamente el método estudiado es válido.

4.7. Resultados Criterio ISF, para Losas Ideales

Los resultados del criterio ISF para $2,5 < \lambda \leq 4$, se exhiben a continuación.

Tabla 4-19. Criterio ISF, $2,5 < \lambda \leq 4$.

Indice de Similitud de Forma (ISF), $2,5 < \lambda \leq 4$					
Eje Numeral	Ejes (Letras)	L	Eje Letra	Ejes (N°)	L
1	A-B	0,9989	A	1-2	0,9998
	B-C	0,9996		2-3	0,9998
	C-D	0,9996		3-4	0,9998
	D-E	0,9989			
2	A-B	0,9989	B	1-2	0,9998
	B-C	0,9996		2-3	0,9998
	C-D	0,9996		3-4	0,9998
	D-E	0,9989	C	1-2	0,9998
3	A-B	0,9989		2-3	0,9998
	B-C	0,9996		3-4	0,9998
	C-D	0,9996		D	1-2
	D-E	0,9989	2-3		0,9998
4	A-B	0,9989	3-4		0,9998
	B-C	0,9996	E		1-2
	C-D	0,9996		2-3	0,9998
	D-E	0,9989		3-4	0,9998

Como se ve en todos las vigas de los modelos ideales, hay una gran similitud entre los métodos estudiados (SAP2000 y AT) y al aplicar los factores de conversión a las cargas con distribución uniforme. Por lo que se puede decir, que este método no solo es válido numéricamente hablando, sino que también es aplicable también a la forma de los diagramas de momentos.

4.8. Superposición de Momentos

Se hizo este procedimiento solo para los ejes cortos. No se realizó este procedimiento para los ejes largos, ya que la distribución de las cargas es muy similar. Los resultados se muestran en las siguientes tablas y gráficos.

Tabla 4-20. $M_{SAP} - M_{ALFA}$, $\lambda=1$, Superposición de Momentos.

		$\lambda=1$	
		M_{SAP}	M_{ALFA}
		L (Kg m)	L (Kg m)
Largo Viga = 2 (m)	0	-44,48	-44,68
	0,5	10,03	12,09
	1	33,28	33,37
	1,5	4,46	5,64
	2	-55,62	-57,59

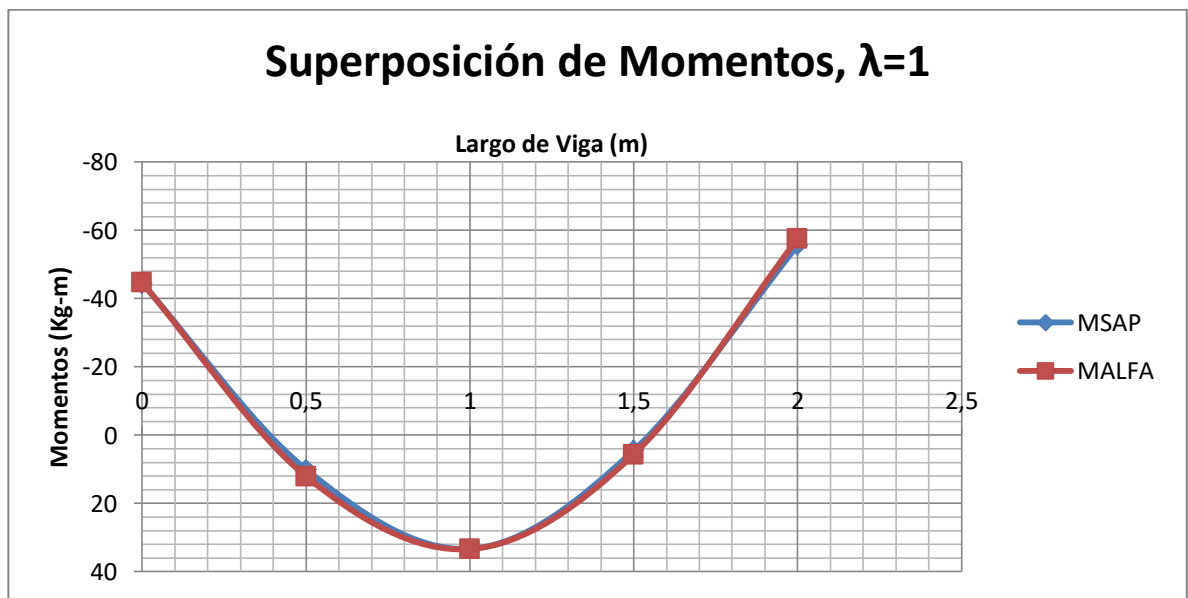


Gráfico 4-11. Superposición de Momentos, $\lambda=1$.

Tabla 4-21. $M_{SAP} - M_{ALFA}$, $1 < \lambda \leq 1,33$, Superposición de Momentos.

		1 < λ ≤ 1,33	
		Viga (m)	M _{SAP} L (Kg m)
Largo Viga 1,5 = (m)	0	-18,32	-18,23
	0,375	4,27	5,18
	0,75	14,2	13,93
	1,125	1,64	2,03
	1,5	-23,58	-24,52

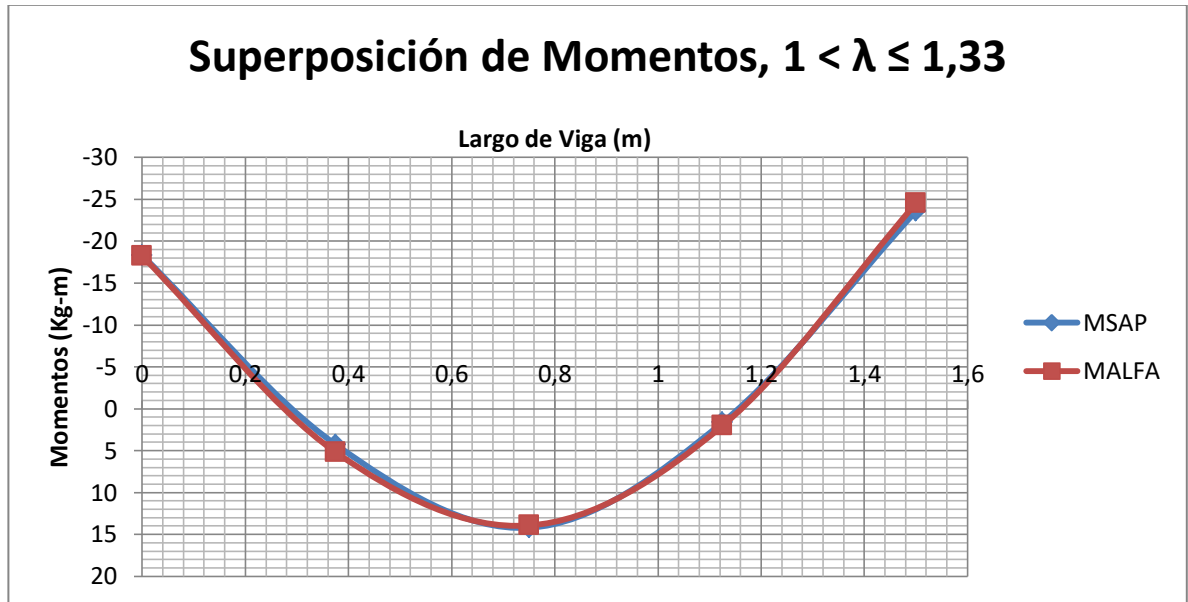


Gráfico 4-12. Superposición de Momentos, $1 < \lambda \leq 1,33$.

Tabla 4-22. $M_{SAP} - M_{ALFA}$, $1,33 < \lambda \leq 1,5$, Superposición de Momentos.

		1,33 < λ ≤ 1,5		
		Viga (m)	M_{SAP}	M_{ALFA}
			L (Kg m)	L (Kg m)
Largo Viga = 2 (m)	0	-44,95	-44,03	
	0,5	9,75	11,87	
	1	33,19	33,13	
	1,5	4,56	5,56	
	2	-55,32	-56,67	

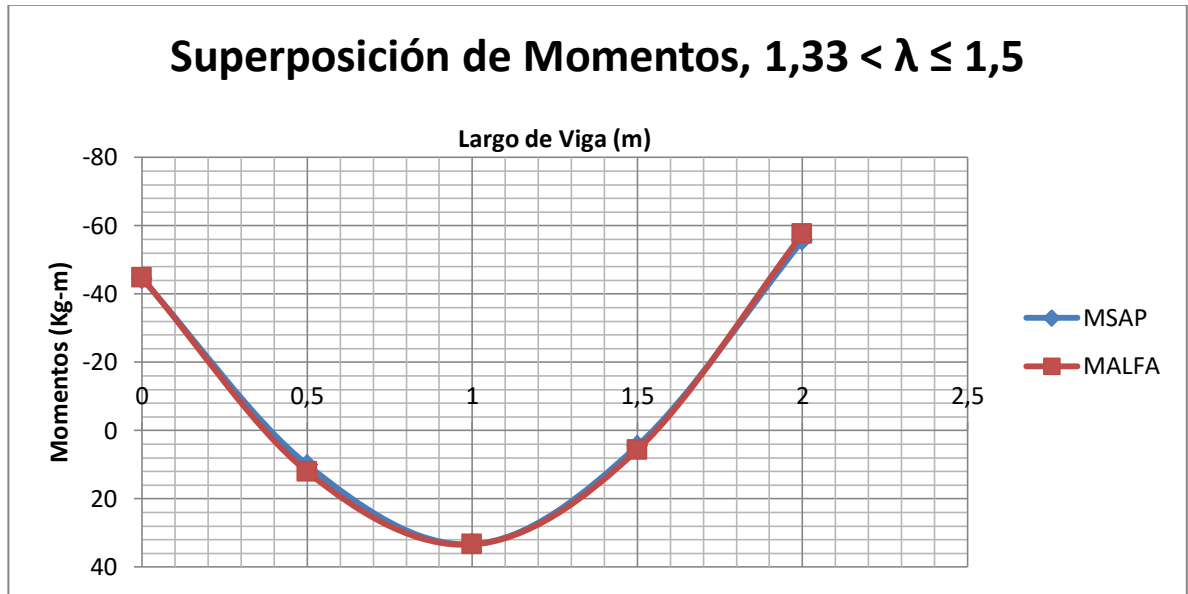


Gráfico 4-13. Superposición de Momentos, $1,33 < \lambda \leq 1,5$.

Tabla 4-23. M_{SAP} - M_{ALFA} , $1,5 < \lambda \leq 2$, Superposición de Momentos.

		1,5 < λ ≤ 2		
		Viga (m)	M_{SAP}	M_{ALFA}
			L (Kg m)	L (Kg m)
Largo Viga = 2 (m)	0	-43,98	-40,16	
	0,5	10,39	13,64	
	1	33,51	33,33	
	1,5	4,55	5,01	
	2	-55,66	-57,43	

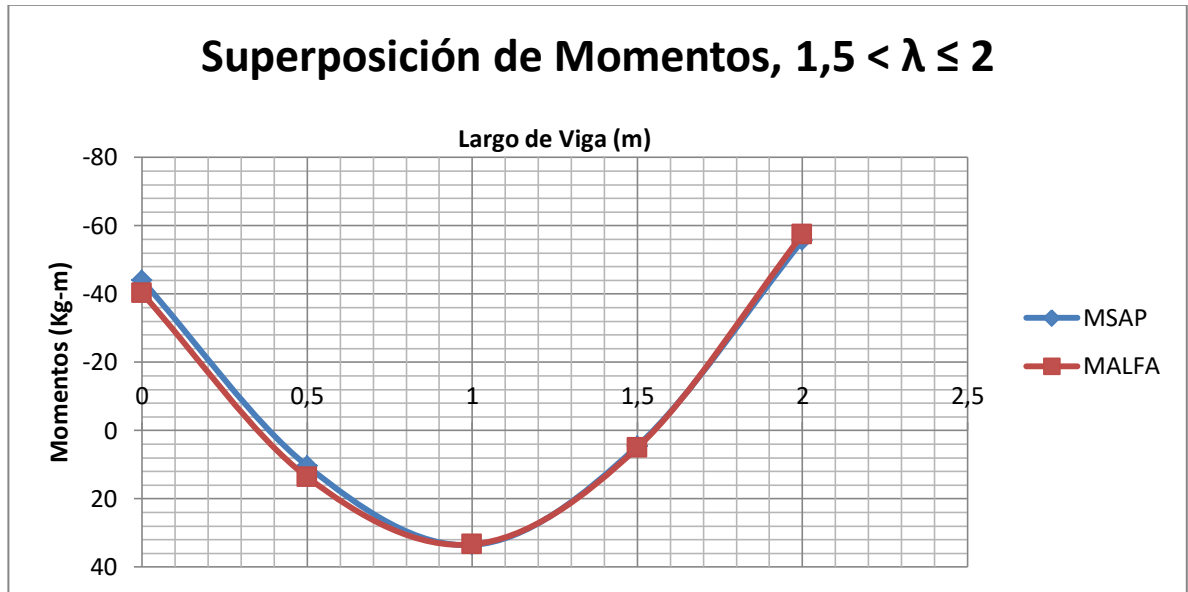


Gráfico 4-14. Superposición de Momentos, $1,5 < \lambda \leq 2$.

Tabla 4-24. $M_{SAP} - M_{ALFA}$, $2 < \lambda \leq 2,5$, Superposición de Momentos.

		2 < λ ≤ 2,5		
		Viga (m)	M _{SAP}	M _{ALFA}
			L (Kg m)	L (Kg m)
Largo Viga 1 = (m)	0	-5,32	-5,18	
	0,25	-0,52	-0,71	
	0,5	4,28	4,23	
	0,75	-1,34	-1,76	
	1	-6,96	-7,29	

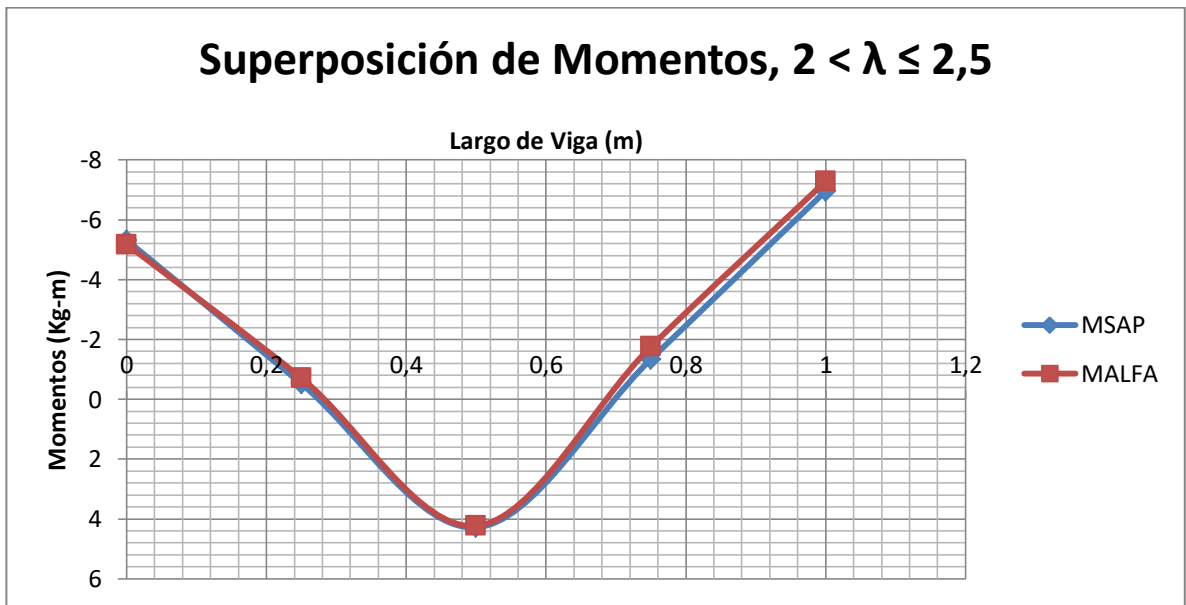


Gráfico 4-15. Superposición de Momentos, $2 < \lambda \leq 2,5$.

Tabla 4-25. M_{SAP} - M_{ALFA} , $2,5 < \lambda \leq 4$, Superposición de Momentos.

		2,5 < λ ≤ 4		
		Viga (m)	M_{SAP}	M_{ALFA}
			L (Kg m)	L (Kg m)
Largo Viga = 2 (m)	0	-45,89	-43,72	
	0,5	9,18	11,75	
	1	33	32,67	
	1,5	4,73	5,52	
	2	-54,78	-56,2	

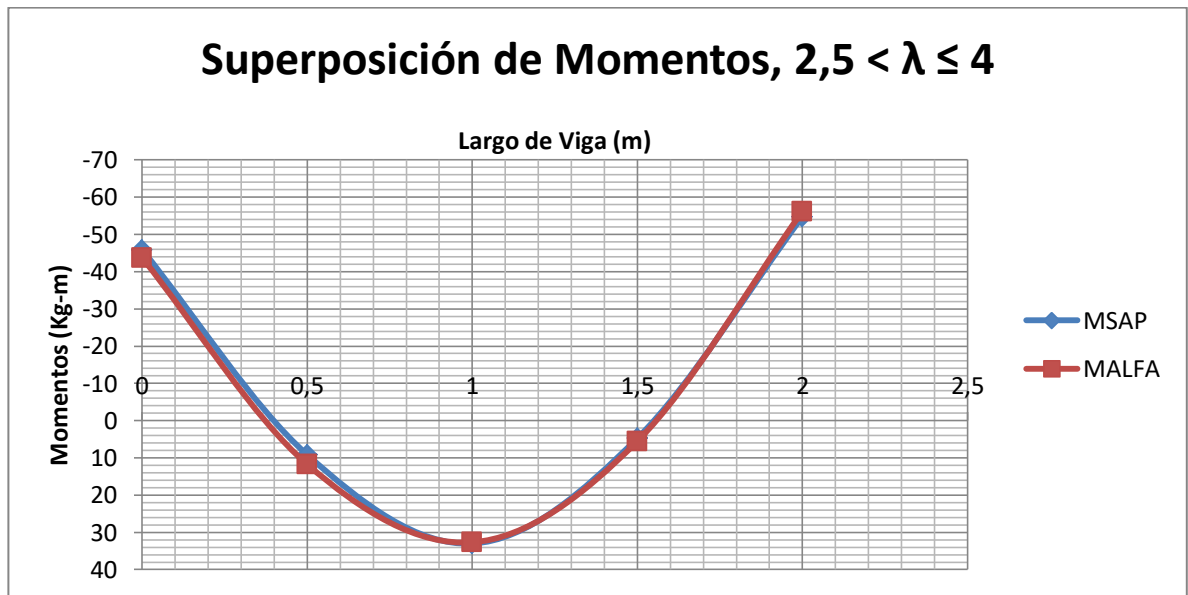


Gráfico 4-16. Superposición de Momentos, $2,5 < \lambda \leq 4$.

Tabla 4-26. M_{SAP} - M_{ALFA} , $\lambda > 4$, Superposición de Momentos.

		$\lambda > 4$		
		Viga (m)	M_{SAP}	M_{ALFA}
			L (Kg m)	L (Kg m)
Largo Viga = 0,5 (m)	0	-0,69	-0,54	
	0,125	0,16	0,29	
	0,25	0,54	0,55	
	0,375	0,09	0,15	
	0,5	-0,83	-0,81	

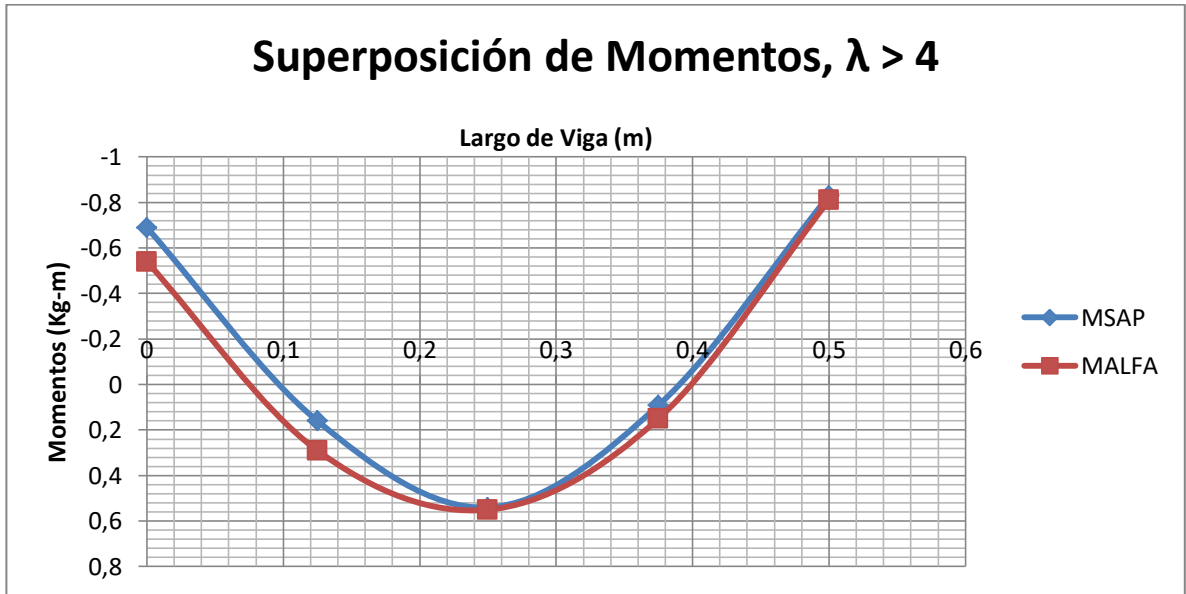


Gráfico 4-17. Superposición de Momentos, $\lambda > 4$.

Como se ve la forma de los diagramas de momentos para los ejes cortos en la mayoría de los casos es similar, exceptuando cuando $\lambda > 4$ (Gráfico 4-17). Esta figura tiene una doble interpretación. Por un lado, muestra que la forma y el valor numérico de los momentos negativos y positivos máximos son similares, pero no así con los otros momentos. Pero como en diseño, siempre se aplican los valores máximos, el método sigue siendo válido.

4.9. Resultados Edificios Reales

Se realizó el mismo procedimiento que para las losas ideales, con la diferencia que en las losas reales solo se analizaron los momentos través de SAP2000 (M_{SAP}) y los momentos con Áreas Distribuidas (M_{AD}). A los momentos por Áreas Distribuidas se les aplicó el Valor “ α ” encontrado para las losas ideales y se estudió el comportamiento de las losas reales, donde las cargas ya no se distribuyen tan uniformemente.

4.9.1. Losa Condominio Parque El Volcán

Los valores del criterio λ y sus respectivos valores “ α ”, son los siguientes.

Tabla 4-27. Criterio λ y Valores “ α ”, para vigas Losa Parque El Volcán (Parte 1).

Vigas (Numeros)	Dimensión de Ejes (m)		λ	Lado	α , M (-)	α , M (+)	Vigas (Numeros)	Dimensión de Ejes (m)		λ	Lado	α , M (-)	α , M (+)
1	0	0	0	-	0	0	14	546	437	1,25	Largo	0,8	0,86
	365	592	1,62	Corto	0,31	0,36		546	437	1,25	Largo	0,8	0,86
2	0	0	0	-	0	0	15	546	437	1,25	Largo	0,8	0,86
	616	578	1,07	Largo	0,8	0,86		365	264	1,38	Largo	0,84	0,89
3	0	0	0	-	0	0	16	255	1848	7,25	Largo	0,98	0,98
	308	578	1,88	Corto	0,31	0,36		616	577	1,07	Largo	0,8	0,86
4	0	0	0	-	0	0	17	255	1848	7,25	Largo	0,98	0,98
	308	578	1,88	Corto	0,31	0,36		616	577	1,07	Largo	0,8	0,86
5	0	0	0	-	0	0	18	255	1848	7,25	Largo	0,98	0,98
	616	578	1,07	Largo	0,8	0,86		616	577	1,07	Largo	0,8	0,86
6	0	0	0	-	0	0	19	546	437	1,25	Largo	0,8	0,86
	365	592	1,62	Corto	0,31	0,36		365	264	1,38	Largo	0,84	0,89
7	365	592	1,62	Corto	0,31	0,36	20	365	264	1,38	Largo	0,84	0,89
	546	437	1,25	Largo	0,8	0,86		365	338	1,08	Largo	0,8	0,86
8	365	592	1,62	Corto	0,31	0,36	21	616	577	1,07	Largo	0,8	0,86
	546	437	1,25	Largo	0,8	0,86		0	0	0	-	0	0
9	546	437	1,25	Largo	0,8	0,86	22	616	577	1,07	Largo	0,8	0,86
	546	437	1,25	Largo	0,8	0,86		0	0	0	-	0	0
10	616	578	1,07	Largo	0,8	0,86	23	616	577	1,07	Largo	0,8	0,86
	255	1848	7,25	Largo	0,98	0,98		0	0	0	-	0	0
11	308	578	1,88	Corto	0,31	0,36	24	365	264	1,38	Largo	0,84	0,89
	255	1848	7,25	Largo	0,98	0,98		365	338	1,08	Largo	0,8	0,86
12	308	578	1,88	Corto	0,31	0,36	25	365	338	1,08	Largo	0,8	0,86
	255	1848	7,25	Largo	0,98	0,98		0	0	0	-	0	0
13	616	578	1,07	Largo	0,8	0,86	26	365	338	1,08	Largo	0,8	0,86
	255	1848	7,25	Largo	0,98	0,98		0	0	0	-	0	0

Tabla 4-28. Criterio λ y Valores “ α ”, para vigas Losa Parque El Volcán (Parte 2).

Vigas (Letras)	Dimensión de Ejes (m)		λ	Lado	α , M (-)	α , M (+)	Vigas (Letras)	Dimensión de Ejes (m)		λ	Lado	α , M (-)	α , M (+)
A	0	0	0	-	0	0	S	255	546	2,14	Corto	0,32	0,36
	365	592	1,62	Largo	0,9	0,92		255	1848	7,25	Corto	0,155	0,14
B	365	592	1,62	Largo	0,9	0,92	T	255	1848	7,25	Corto	0,155	0,14
	0	0	0	-	0	0		255	546	2,14	Corto	0,32	0,36
C	0	0	0	-	0	0	U	437	546	1,25	Corto	0,48	0,54
	365	592	1,62	Largo	0,9	0,92		437	95	4,60	Largo	0,98	0,98
D	365	592	1,62	Largo	0,9	0,92	V	437	95	4,60	Largo	0,98	0,98
	0	0	0	-	0	0		0	0	0	-	0	0
E	0	0	0	-	0	0	W	437	546	1,25	Corto	0,48	0,54
	264	276	1,05	Corto	0,48	0,54		577	616	1,07	Corto	0,48	0,54
F	264	276	1,05	Corto	0,48	0,54	X	577	616	1,07	Corto	0,48	0,54
	365	592	1,62	Largo	0,9	0,92		437	546	1,25	Corto	0,48	0,54
G	365	592	1,62	Largo	0,9	0,92	Y	0	0	0	-	0	0
	264	276	1,05	Corto	0,48	0,54		276	264	1,05	Corto	0,48	0,54
H	264	276	1,05	Corto	0,48	0,54	Z	276	264	1,05	Corto	0,48	0,54
	0	0	0	-	0	0		365	264	1,38	Corto	0,42	0,49
I	0	0	0	-	0	0	AA	365	264	1,38	Corto	0,42	0,49
	437	95	4,60	Largo	0,98	0,98		616	577	1,07	Corto	0,48	0,54
J	437	95	4,60	Largo	0,98	0,98	AB	616	577	1,07	Corto	0,48	0,54
	437	546	1,25	Corto	0,48	0,54		616	577	1,07	Corto	0,48	0,54
K	437	546	1,25	Corto	0,48	0,54	AC	616	577	1,07	Corto	0,48	0,54
	616	578	1,07	Corto	0,48	0,54		616	577	1,07	Corto	0,48	0,54
L	616	578	1,07	Corto	0,48	0,54	AD	616	577	1,07	Corto	0,48	0,54
	308	578	1,88	Largo	0,9	0,92		365	264	1,38	Corto	0,42	0,49
M	308	578	1,88	Largo	0,9	0,92	AE	365	264	1,38	Corto	0,42	0,49
	308	578	1,88	Largo	0,9	0,92		276	264	1,05	Corto	0,48	0,54
N	308	578	1,88	Largo	0,9	0,92	AF	276	264	1,05	Corto	0,48	0,54
	616	578	1,07	Corto	0,48	0,54		0	0	0	-	0	0
Ñ	616	578	1,07	Corto	0,48	0,54	AG	0	0	0	-	0	0
	437	546	1,25	Corto	0,48	0,54		365	338	1,08	Corto	0,48	0,54
O	437	546	1,25	Corto	0,48	0,54	AH	365	338	1,08	Corto	0,48	0,54
	437	95	4,60	Largo	0,98	0,98		0	0	0	-	0	0
P	437	95	4,60	Largo	0,98	0,98	AI	0	0	0	-	0	0
	0	0	0	-	0	0		365	338	1,08	Corto	0,48	0,54
Q	0	0	0	-	0	0	AJ	365	338	1,08	Corto	0,48	0,54
	437	95	4,60	Largo	0,98	0,98		0	0	0	-	0	0
R	437	95	4,60	Largo	0,98	0,98							
	437	546	1,25	Corto	0,48	0,54							

Se estudió el Error Porcentual de cada una de las vigas. Pero para hacer este análisis, se suprimieron algunas vigas bajo los siguientes criterios: 1) dos o más vigas por ejes, 2) vigas donde uno o más de sus lados estaba en su totalidad compuesto por muros de hormigón armado y 3) vigas que se intersectaban con muros de hormigón armado (Vigas 3, 4, 9, 10, 13, 14, 20, 24, E, F, G, H, I, J, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z, AE, AF, AH y AD).

Las siguientes tablas muestran el error porcentual, aclarando que un porcentaje negativo, según las expresiones utilizadas, indica que se están sobreestimando los errores.

Tabla 4-29. Error Porcentual de vigas Losa Parque El Volcán.

ERROR PORCENTUAL, VIGAS N°, LOSA PARQUE EL VOLCAN			ERROR PORCENTUAL, VIGAS LETRAS, LOSA PARQUE EL VOLCAN		
Viga	M (-)	M (+)	Viga	L	L
	L	L		L	L
1	-13,09	-106,97	A	-66,12	-299,02
2	-135,82	-570,11	B	-22,95	-381,88
5	-136,00	-543,66	C	-22,95	-381,88
6	-13,12	-106,97	D	-66,03	-299,02
7	-57,02	-438,66	K	-35,96	-230,36
8	-56,90	-438,09	L	-81,65	-443,28
11	-97,10	-583,14	N	-81,22	-442,76
12	-95,65	-574,66	Ñ	-35,86	-229,95
15	-45,38	-538,91	S	-89,99	-212,11
16	-82,27	-534,32	T	-87,30	-221,81
18	-168,99	-695,55	AA	19,85	-161,83
19	-44,63	-538,81	AB	-124,12	-404,11
21	-178,00	-627,13	AC	-127,10	-409,40
22	-194,46	-677,36	AD	17,88	-167,40
23	-178,73	-592,98	AG	-12,02	-84,16
25	-55,71	-162,96	AJ	-12,04	-84,16
26	-55,64	-162,89			

Las gráficas de la tabla anterior, son las siguientes:

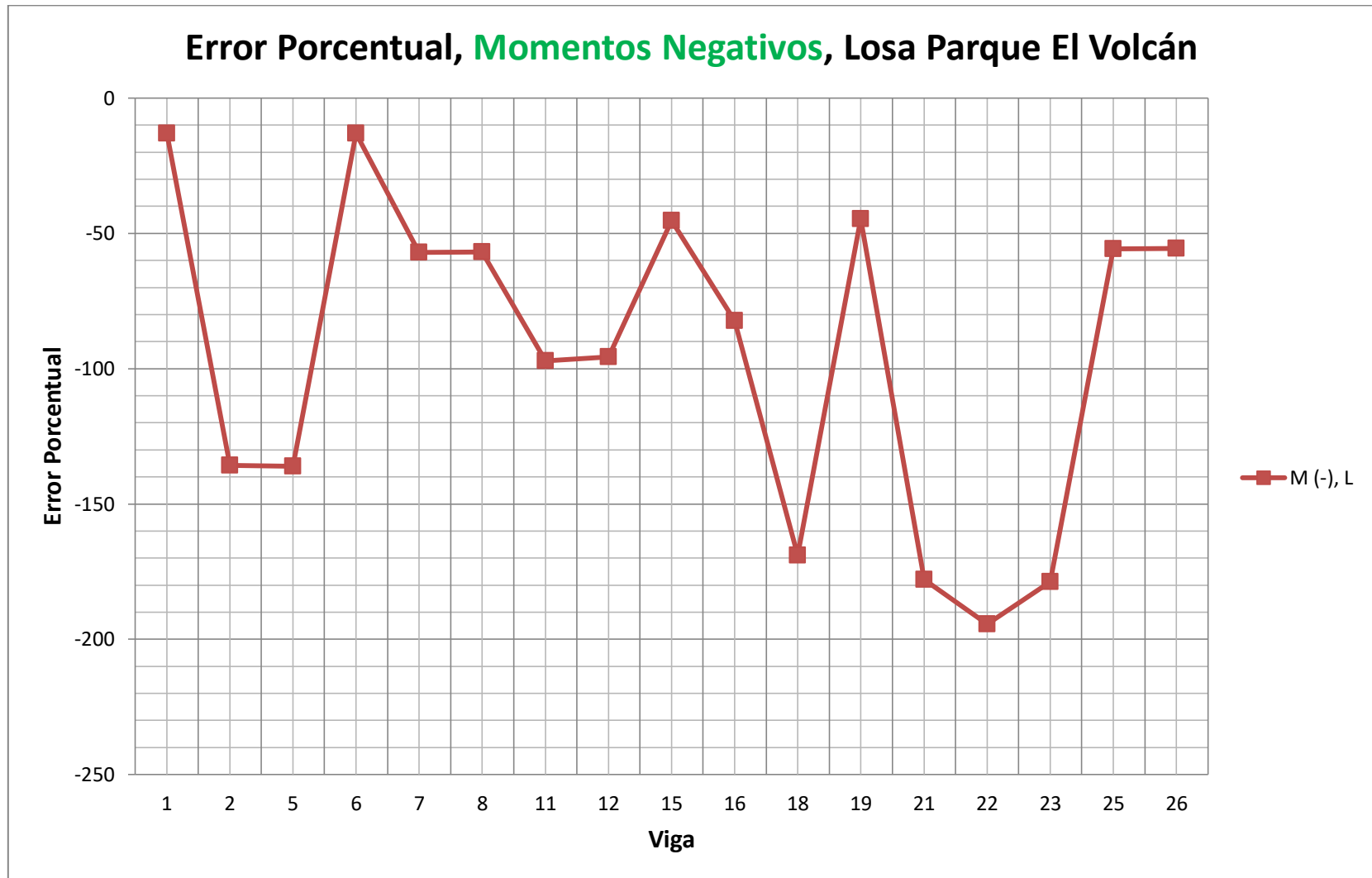


Gráfico 4-18. Error Porcentual Momentos Negativos Losa Parque El Volcán.

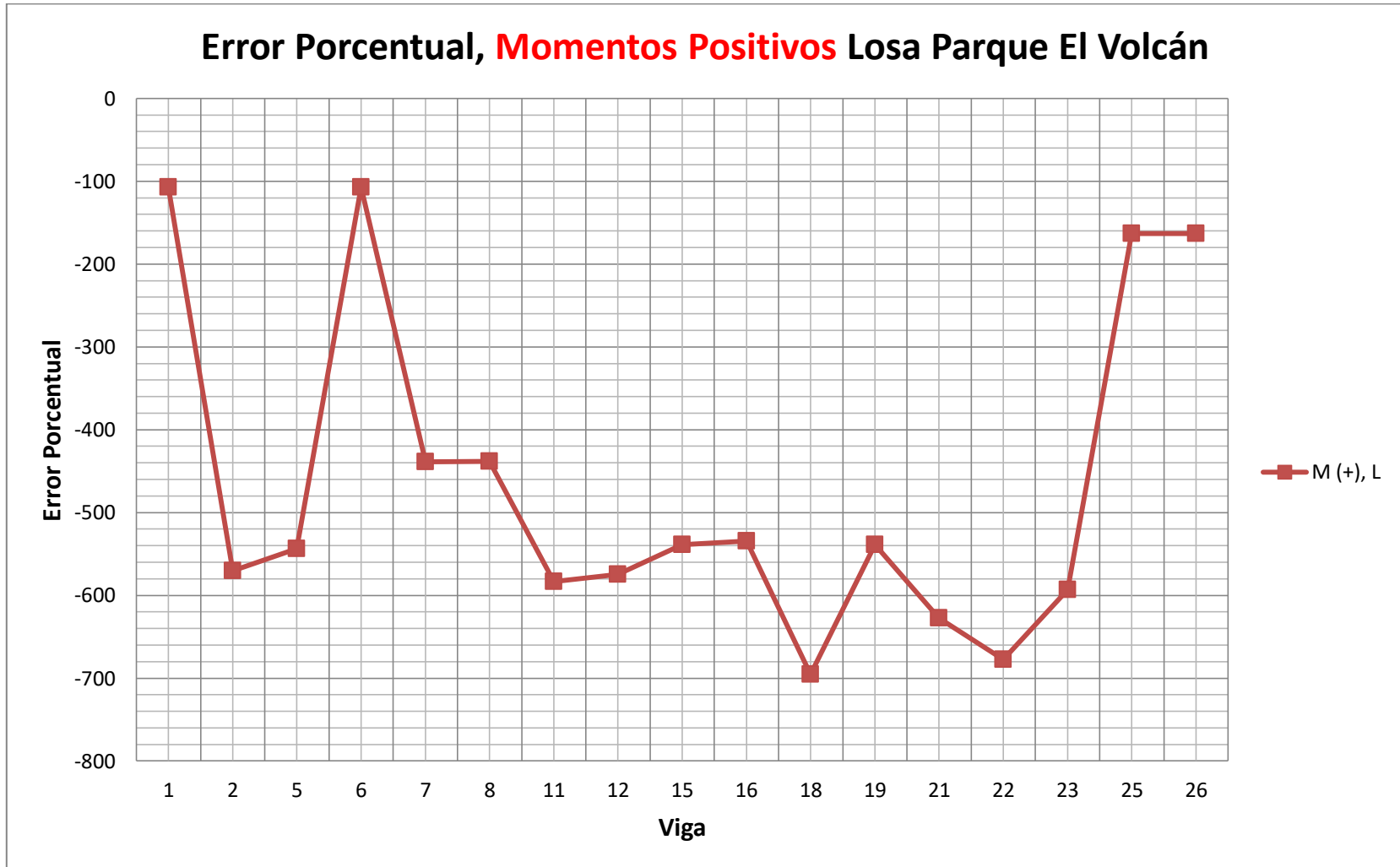


Gráfico 4-19. Error Porcentual Momentos Positivos Losa Parque El Volcán.

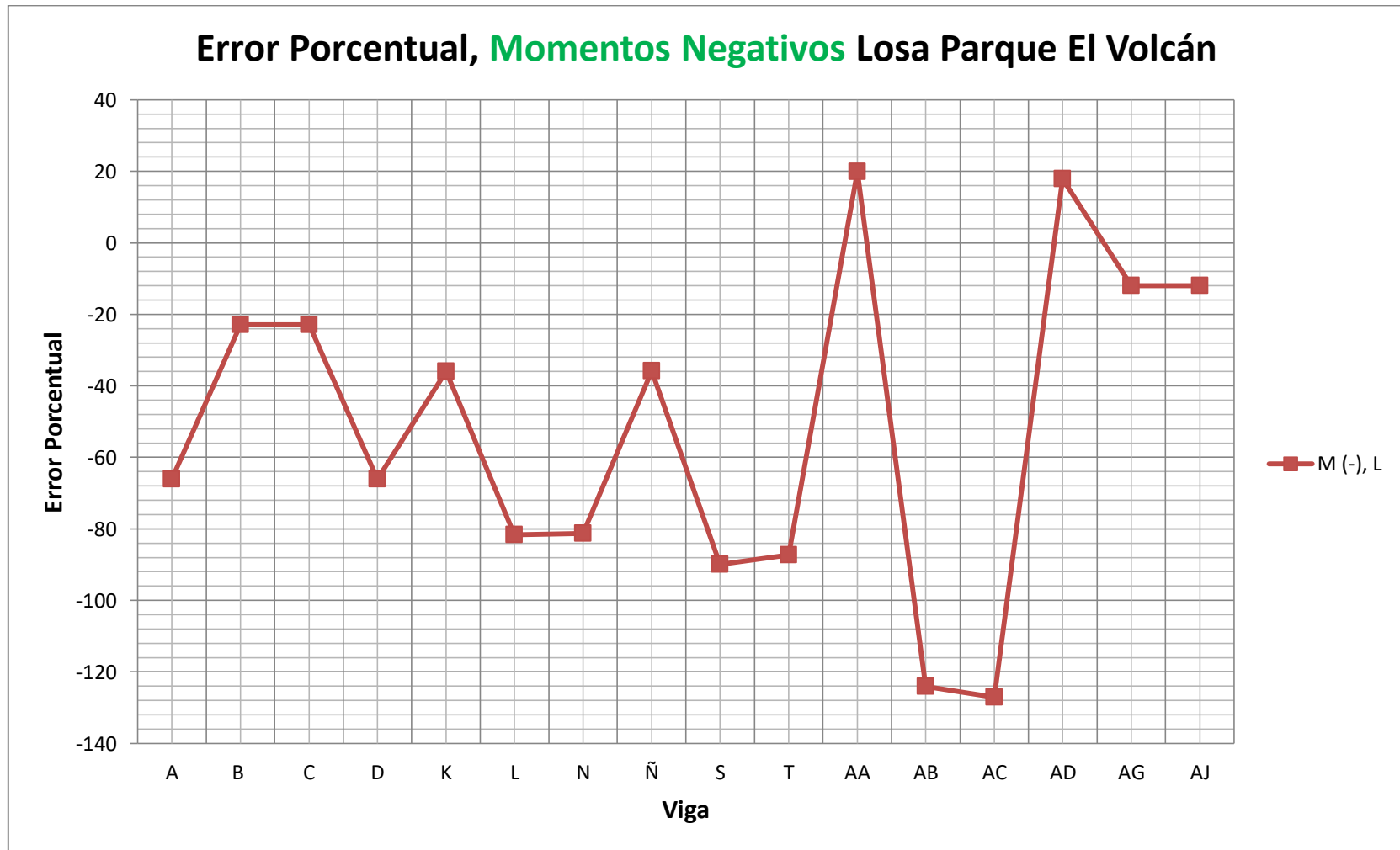


Gráfico 4-20. Error Porcentual Momentos Negativos Losa Parque El Volcán.

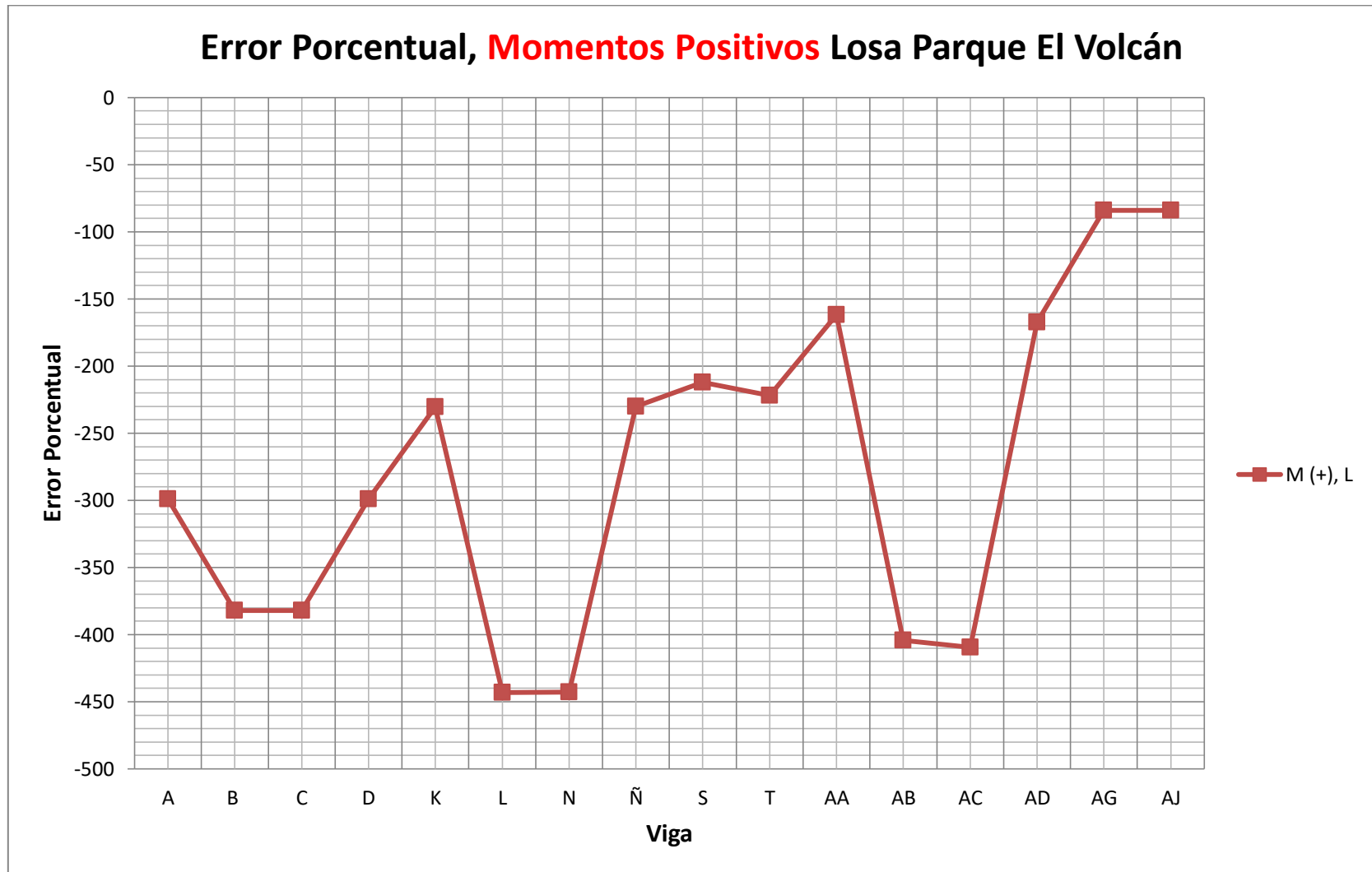


Gráfico 4-21. Error Porcentual Momentos Positivos Losa Parque El Volcán.

Como muestran los gráficos, al aplicar el método de factores de conversión a losas reales, no es preciso. De hecho, existen diferencias importantes en cuanto a los momentos positivos. Algo importante que mencionar en este aspecto, es que este método solo es válido cuando la distribución de las cargas por áreas tributarias es de 45° y eso sucede cuando en las esquinas hay muros con muros y/o vigas con vigas.

Si analizamos la losa estudiada, hay vigas donde la distribución ya no es 45° , sino que 60° para los muros (que es el elemento estructural que más carga soporta) y 30° en vigas. Por lo que al hacer una distribución de 45° prácticamente se asumía que la viga estaba recibiendo, a lo menos, un 50% más de carga de la que realmente soportaba, de ahí los errores tan importantes en ciertas vigas. Además, como la losa trabaja en su conjunto, los errores de una parte de ella, se transmiten a otro sector de la misma, por lo que los errores se van superponiendo de manera significativa.

Aunque se están sobreestimando las cargas y se está por el lado de la seguridad, también es primordial decir que los costos en materiales suben de manera importante, por lo que en algunos casos se hace difícil edificar las estructuras.

Aplicando el criterio ISF para esta losa, los resultados son:

Tabla 4-30. Criterio ISF, para Losa Parque El Volcán.

CRITERIO ISF					
Viga	L	Viga	L	Viga	L
1	0,9697	A	0,9437	Z	0,9541
2	0,9286	B	0,8601	AA	0,9085
3	0,9845	C	0,8601	AB	0,952
4	0,9187	D	0,9436	AC	0,952
5	0,9326	E	0,9462	AD	0,9092
6	0,9697	F	0,9509	AE	0,9542
7	0,8859	G	0,9509	AF	0,9467
8	0,8866	H	0,9463	AG	0,9797
9	0,8914	I	0,9198	AH	0,6979
10	0,9163	J	0,8924	AI	0,6968
11	0,9186	K	0,7475	AJ	0,9797
12	0,9183	L	0,9256		
13	0,8735	M	0,9622		
14	0,8891	N	0,9253		
15	0,884	Ñ	0,7474		
16	0,9016	O	0,8926		
17	0,9137	P	0,4433		
18	0,9224	Q	0,8975		
19	0,8809	R	0,9026		
20	0,9333	S	0,874		
21	0,9381	T	0,7985		
22	0,9329	U	0,8988		
23	0,9432	V	0,8958		
24	0,9384	W	0,946		
25	0,9773	X	0,935		
26	0,9773	Y	0,9465		

Como se ve en estas tablas, también existen vigas donde la forma de los momentos no es tan similar a los momentos encontrados por SAP2000, lo que hace inexacto el análisis a través de valores “ α ” para estas vigas en particular.

Capítulo 5

Conclusiones

Conforme a lo explicado en el Capítulo 3 y realizado posteriormente, se puede concluir lo siguiente. Se mencionó que SAP2000 realiza una distribución de las cargas a través del método de elementos finitos, y en teoría el método de áreas tributarias refleja lo que ocurre en la realidad, por lo que al realizar un cociente entre los momentos por SAP2000 y Áreas Tributarias, deberían dar valores cercanos a 1, cosa que ocurre. Por lo tanto, esta investigación comprueba que SAP2000 distribuye las cargas de manera similar al método de Áreas Distribuidas, para el caso de edificios de marcos.

Con respecto a lo fundamental de esta investigación, se establece que existe una metodología que permite transformar cualquier tipo de carga, independiente de su forma, en una distribución de carga uniforme a través de factores de conversión/escala o Valores “ α ”, por lo que la hipótesis planteada en esta investigación es correcta. Pero es importante mencionar que para aplicar esta metodología, es necesario realizar el análisis separando ejes cortos de ejes largos, y a su vez, estudiar de manera diferenciada los momentos negativos y momentos positivos.

Cabe mencionar que esta metodología es válida solo para estructuras pequeñas (edificios de no más de cuatro pisos o casas), porque analizar estructuras grandes, el método se hace engorroso y es mucho más sencillo utilizar herramientas computacionales. Pero además este método es válido, cuando la distribución de las cargas se realiza en 45° , es decir, cuando en las intersecciones de los paños de losa, muros se juntan con muros y vigas se intersectan con vigas. En las demás combinaciones que se puedan dar, este método no es asertivo, ya que sobreestima en sobremanera las cargas sobretodo en el lado corto de las losas.

Con respecto al Índice de Similitud de Forma (ISF), para todos los casos estudiados, existe una correlación más que aceptable (valores muy cercanos a 1) y eso se ve cuando se estudió la superposición de momentos. Por lo tanto, se concluye que el método presentado es válido no solo en cuanto a valor numérico de los diagramas de momentos se refiere, sino que también en cuando a la forma que adoptan estos.

Por último, con respecto a los edificios reales estudiados, se concluye que al aplicar el método, se están sobreestimando las cargas y por ende los momentos de manera importante. La razón fundamental de esto, es que la losa estudiada, estaba conformada por muros y vigas en la mayoría de las intersecciones, por lo que en los lados cortos, se estaban asumiendo cargas mucho mayores de las que realmente estaba soportando la viga. Si bien se está por el lado de la seguridad, por otro los costos si se desea aplicar este método de distribución de cargas suben significativamente, ya que se tendría que invertir en elementos mucho más resistentes de los realmente necesarios, lo que en muchos casos haría inviable la construcción de las mismas.

Bibliografía

- Ávalos, E. (1998). Construcción para Arquitectos tomo 2. Medellín, Colombia: Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.
- González, O. y Robles, F. (1997). Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado. México D.F., México: Editorial LIMUSA, S.A. de C.V.
- Méndez, F. (1991). Criterios de Dimensionamiento Estructural. México D.F., México: Editorial Trillas, S.A. de C.V.
- Nilson, A. y Winter, G. (1994). Diseño de Estructuras de Concreto. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Romo, M. 2006. Diseño de Losas de Hormigón Armado. En: Temas de Hormigón Armado. Ecuador. Escuela Politécnica del Ejército de Ecuador. pp. 101-158.
- Paredes R., P. A. 1996. Guía teórica y práctica del curso de diseño estructural. Memoria de Ingeniería Civil. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 24p.

- Tay M., M-L. 2012. Ajuste de un modelo de elementos finitos de una estructura aeronáutica utilizando frecuencias de anti-resonancia. Memoria de Ingeniería Civil Mecánica. Santiago. Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería Civil Mecánica. 19p.
- Ramos P., E. M. 2012. Aplicación de análisis modal operacional a estructura singular. Magister oficial de Estructuras. Granada. Universidad de Granada. Escuela de Post-grado. 35p.
- Ojeda B., A.A. 2006. Diseño en estructuras en acero asistido por SAP2000. Memoria de Ingeniería Civil Mecánica. Talca. Universidad de Talca. Escuela de Ingeniería Mecánica.