

Trabajo Fin de Grado Grado en Ingeniería Aeroespacial

Influencia de la variación de la sección en el flujo de tensiones tangenciales en secciones de pared delgada constituidas por laminados de material compuesto

Autor: Rodrigo Arche Hernández

Tutor: Juan Carlos Marín Vallejo

GERM
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Aeroespacial

**Influencia de la variación de la sección en el flujo
de tensiones tangenciales en secciones de pared
delgada constituidas por laminados de material
compuesto**

Autor:

Rodrigo Arche Hernández

Tutor:

Juan Carlos Marín Vallejo

Profesor Titular

GERM

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Trabajo Fin de Grado: Influencia de la variación de la sección en el flujo de tensiones tangenciales en secciones de pared delgada constituidas por laminados de material compuesto

Autor: Rodrigo Arche Hernández

Tutor: Juan Carlos Marín Vallejo

El tribunal nombrado para juzgar el trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes profesores:

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:

Agradecimientos

Los años que he pasado en la carrera son los años que me han moldeado como persona, los que me han abierto un nuevo mundo ante mí. Ir a una ciudad nueva empezando de cero nunca es fácil, y más que difícil fue el brusco cambio en lo que había hecho toda mi vida: estudiar. Si estoy aquí el día de hoy terminando por fin es por la gente que me rodea, por los que han estado, siguen estando o ya no están. A todos ellos, aunque haya sido por mayor o menor tiempo, me gustaría darles las gracias porque, aún pasando mejores o peores momentos, me han llevado al lugar donde estoy ahora, y la verdad que puedo decir que estoy contento con ello.

Me gustaría dedicar este trabajo a mis padres, que siempre me han apoyado y me han dado la mejor vida que me podían ofrecer, permitiendo con su esfuerzo que pueda estar estudiando en una ciudad ajena y poder tener la tranquilidad de poder, no solo estudiar, si no vivir la experiencia. A mis amigos: Bea, Agus, Rubén, Manolo, Dani, Cristian, Elena, Emilio, Carmen, David, Loren y Marta que son las personas que se que siempre van a estar pese a que el tiempo y la distancia nos separen. A los que en poco tiempo se han convertido en mi familia y los veo más que a los mismos: Adri, Cristina, Alberto y Álvaro. A los que no menciono aquí por no extenderme pero que guardan un lugar en mi corazón. A Juan Carlos que ha tenido paciencia infinita para realizar este trabajo y me ha ayudado siempre que ha podido. A todos vosotros: gracias por haber formado parte de todo lo que he logrado, y espero que pueda seguir caminando a vuestro lado.

Rodrigo Arche Hernández
Sevilla, 2024

Resumen

En la industria aeronáutica y en los aerogeneradores aparecen elementos estructurales que presentan forma de barra de sección de pared delgada variable constituidos por laminados de material compuesto. El uso de modelos simplificados de barras en elementos estructurales constituyen una alternativa adecuada para su estudio. El problema ocurre cuando se pretende estudiar la evolución del flujo de tensiones tangenciales, en los que los modelos de elementos finitos predicen diferentes que los modelos de barras. Es por eso que aquí se pretende analizar si un modelo de elementos finitos sobre un cuerpo que se asemeje a las estructuras anteriores se puede utilizar para estudiar la influencia que la variación de área tiene en dicha evolución del flujo. Para ello, se utilizará la geometría sencilla de un tronco de cono de pared delgada para realizar el estudio, haciendo variar su conicidad para estudiar dicha influencia.

Se plantean entonces dos tipos de modelos para la geometría seleccionada: modelos de elementos finitos y modelos de barras, en los que se variará la conicidad del objeto. Para validar los modelos, se utilizará el caso de conicidad nula (geometría de un tubo), donde los resultados de ambos deben coincidir salvo errores de precisión numéricos con la solución analítica.

Al realizar el análisis, se llega a la conclusión de que el modelo barras no consigue captar de forma correcta los valores de los flujos tangenciales para valores de conicidad considerables, por lo que queda abierta una línea de investigación con el fin de encontrar la causa.

Abstract

Within the aeronautical industry and in wind turbines, there are structural elements that take the form of beams with variable thin-walled cross-sections made up of laminates of composite material. The use of simplified beam models in structural elements make a suitable alternative for their study. The main problem happens when attempting to study the evolution of shear stress flows, where finite element models predict different values than beam models. Hence, it's considered here to analyze whether a finite element model on a body resembling the before mentioned structures can be used to study the influence of area variation on this flow evolution. To achieve this, a simple geometry of a thin-walled truncated cone will be used for the study, varying its conicity to explore said influence.

Two types of models are then proposed for the selected geometry: finite element models and beam models, where the conicity of the object will be modified. To validate the models, the case of zero conicity (geometry of a pipe) will be used, where the results of both should be the same except for numerical precision errors when compared to the analytical solution.

Upon analysis, it's concluded that the beam model fails to accurately capture the values of shear flows for appreciable conicity values, thus leaving open a line of research to find the cause.

Índice Abreviado

<i>Resumen</i>	III
<i>Abstract</i>	V
<i>Índice Abreviado</i>	VII
1 Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Objetivos	2
1.4 Desarrollo	2
2 Modelos de análisis	3
2.1 Introducción	3
2.2 Descripción de la geometría	4
2.3 Modelo de elementos finitos	6
2.4 Modelos de barras	7
2.5 Validación de los modelos de análisis	9
3 Resultados	15
3.1 Introducción	15
3.2 Resultados de los modelos de elementos finitos	16
3.3 Resultados de los modelos de barras	35
3.4 Comparación de resultados	53
4 Conclusiones y líneas futuras	67
Apéndice A Código APDL	69
<i>Índice de Figuras</i>	75
<i>Índice de Tablas</i>	79
<i>Bibliografía</i>	81

Índice

<i>Resumen</i>	III
<i>Abstract</i>	V
<i>Índice Abreviado</i>	VII
1 Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Objetivos	2
1.4 Desarrollo	2
2 Modelos de análisis	3
2.1 Introducción	3
2.2 Descripción de la geometría	4
2.3 Modelo de elementos finitos	6
2.4 Modelos de barras	7
2.4.1 Evolución del flujo tangencial	7
Flujo de tensiones tangenciales en sección abierta	8
Flujo de tensiones tangenciales en sección cerrada	8
2.4.2 Discretización en el modelo de barras	8
2.5 Validación de los modelos de análisis	9
2.5.1 Malla de elementos finitos	9
2.5.2 Comparación con la solución analítica para la geometría de tubo	12
3 Resultados	15
3.1 Introducción	15
3.2 Resultados de los modelos de elementos finitos	16
3.2.1 Modelos 40cm	17
3.2.2 Modelos 36cm	19
3.2.3 Modelos 35cm	23
3.2.4 Modelos 30cm	26
3.2.5 Modelos 25cm	29
3.2.6 Modelos 20cm	32
3.3 Resultados de los modelos de barras	35
3.3.1 Modelos 40cm	36
3.3.2 Modelos 36cm	39

3.3.3	Modelos 35cm	42
3.3.4	Modelos 30cm	45
3.3.5	Modelos 25cm	48
3.3.6	Modelos 20cm	51
3.4	Comparación de resultados	53
3.4.1	Modelos 40cm	59
3.4.2	Modelos 36cm	61
3.4.3	Modelos 35cm	62
3.4.4	Modelos 30cm	63
3.4.5	Modelos 25cm	64
3.4.6	Modelos 20cm	65
4	Conclusiones y líneas futuras	67
	Apéndice A Código APDL	69
	<i>Índice de Figuras</i>	75
	<i>Índice de Tablas</i>	79
	<i>Bibliografía</i>	81

1 Introducción

1.1 Motivación

En la industria aeronáutica actual y en los aerogeneradores aparecen dos elementos estructurales característicos que tienen forma de barra de sección de pared delgada variable, como son el cajón de torsión de las alas de las aeronaves y las palas que forman el rotor de los aerogeneradores, ambos constituidos por laminados de material compuesto. El uso de modelos simplificados de barras para el análisis y diseño de este tipo de elementos estructurales se ha mostrado muy eficiente [3, 6, 7, 5] constituyendo una alternativa a los modelos de elementos finitos (EF), particularmente en cuanto a la evaluación del flujo de tensiones normales longitudinales, que es la componente predominante del estado tensional en la sección. Sin embargo, la evaluación del flujo de tensiones tangenciales mediante estos modelos de barras conduce a valores superiores a los que predicen los modelos EF, presentando variaciones sustanciales aunque con igual tendencia [3]. Estas variaciones son achacables a que en la formulación de las tensiones tangenciales se asume que la sección no varía (ni geoméricamente, ni de propiedades de rigidez), mientras que en los elementos estructurales reales (palas de aerogenerador y cajón de torsión) la sección es variable. Con objeto de estudiar como influye la variación de la sección en el flujo de tensiones tangenciales y en la diferencia entre los valores obtenidos mediante el modelo de barras y mediante modelos de EF, en este trabajo se van a analizar elementos tubulares simples con distintos grados de conicidad. La idea es investigar que rangos de conicidad darían lugar a diferencias admisibles y cuáles no.

1.2 Antecedentes

El estudio de los materiales compuestos está ampliamente extendido en el mundo aeronáutico. En concreto, para la estructura compleja que aquí se utiliza como justificación del estudio, una pala de aerogenerador, es un problema claro en el que focalizar este trabajo. Es por ello que el estudio de referencia va a ser el realizado por G.Fernandes da Silva, J.C. Marín y A. Barroso [3] donde realizan un estudio de la evolución de la tensión tangencial sobre la geometría de la pala a través de un modelo multicélula de material compuesto y sección de pared delgada. El objetivo de dicho estudio fue poder evaluar dicho flujo sobre un modelo basado en la resistencia de materiales, lo que implica que se quiere analizar un modelo de sección variable con un método cuya formulación necesita un cuerpo que se considere una barra de sección transversal constante, lo que conlleva una fuente posible de error. Los principales problemas se encontraron en el cambio de sección entre la sección circular y la sección de perfil aerodinámico que se haya cerca de la raíz de la misma. Además, el estudio mediante resistencia de materiales implica utilizar modelos unidimensionales, por lo que cualquier efecto tridimensional que conlleva el modelo real de la pala no se puede tener en cuenta. Aún con esto, el resultado del estudio fue más que positivo.

1.3 Objetivos

El objetivo es estudiar como influye la variación geométrica de la sección en el flujo de tensiones tangenciales en elementos de barra de sección variable. Para ello, se utilizarán modelos numéricos para tratar de aproximar la solución real. Dichos resultados numéricos se compararán con los resultados de un modelo de barras de sección constante para analizar la magnitud de los errores que el uso de estos últimos puede inducir en los valores del flujo de tensiones tangenciales.

Además, en el análisis, independientemente de si los resultados son factibles, se quiere conocer los factores geométricos que afectan a los flujos tangenciales, que en este caso se analiza la conicidad (y, por tanto, la variación de área y el espesor), así como su importancia a la hora de influir en los valores de dichos flujos. Cabe recordar que el problema que inspira el estudio es el deterioro de las palas de aerogeneradores, estructuras que presentan variaciones de área considerablemente altas a lo largo de su longitud con un espesor pequeño, por lo que la factibilidad del estudio conlleva poder simular dichos cuerpos complejos mediante un cuerpo geométrico más sencillos como es el tronco de cono, lo que puede conllevar en reducción de costes para su diseño y/o fabricación.

1.4 Desarrollo

Para el desarrollo de este trabajo, se llevarán a cabo las siguientes etapas:

- 1.** Revisión de estudios y artículos existentes con el fin de comprender el comportamiento mecánico de los materiales compuestos y los cuerpos de secciones de pared delgada.
- 2.** Construcción de los modelos de elementos finitos y modelos de barras para simular los comportamientos de los diferentes troncos de cono de pared delgada bajo las condiciones de carga dadas.
- 3.** Comparación y validación de los modelos tanto entre ellos como con otros estudios presentes en la literatura.
- 4.** Análisis detallado de los resultados, con foco en los flujos de tensiones tangenciales para las diferentes configuraciones geométricas que se plantearán, categorizando dichos resultados por su variación de área y espesor.

Al acabar dichas etapas, se pretende establecer unas conclusiones claras sobre la fiabilidad de un modelo de barras para un tronco de cono de secciones de pared delgada para conocer la evolución de flujos tangenciales y así poder trasladar dichos resultados a estructuras más complejas.

2 Modelos de análisis

2.1 Introducción

Los cuerpos que aquí se van a analizar están compuestos por secciones de pared delgada constituidas por láminas de material compuesto. Por una parte, por ser secciones de pared delgada, habrá que utilizar la formulación de láminas para poder resolver el problema. Por otra, al utilizar materiales compuestos, habrá que definir todas sus propiedades. En este caso, se va a utilizar un material que se puede considerar ortótropo en los ejes que aquí se utilizan, reduciendo considerablemente las constantes del material que hay que definir. Además, se va a considerar que el material es transversalmente isótropo, por lo que se puede calcular el módulo de cizalladura transversal de forma sencilla:

$$G_{23} = \frac{E_{22}}{2(1 + \nu_{23})}$$

Las constantes del material y sus respectivos valores se denotan en la siguiente tabla: donde E_{ii}

Tabla 2.1 Constantes del material compuesto, de carácter ortótropo.

Constante	Valor
E_{11}	34500 MPa
E_{22}	9340 MPa
E_{33}	9340 MPa
ν_{12}	0.35 (adim)
ν_{13}	0.35 (adim)
ν_{23}	0.4 (adim)
G_{12}	2700 MPa
G_{13}	2700 MPa
G_{23}	3335.72 MPa

representan los módulos de Young, ν_{ij} los coeficientes de Poisson y G_{ij} los módulos de cizalladura del material

La inercia que presentan los diferentes cuerpos viene definida por:

$$I = \frac{\pi}{4}(r_2^4 - r_1^4)$$

donde r_2 representa el radio exterior y r_1 , el radio interior, de cada sección, como se puede ver en la figura 2.2. Por ende, se puede conocer la inercia de cada sección del objeto.

Por último, se exponen las condiciones de contorno del problema. La carga para la que se va a realizar el estudio es una carga en la dirección vertical y en el sentido de la gravedad, es decir, una carga vertical que apunta hacia el suelo, de valor 10 kN, y que se sitúa en el extremo libre. En el otro extremo, se impone un empotramiento.

El objetivo del estudio, como se introdujo anteriormente, es el estudio del flujo de tensiones tangenciales a través del cuerpo.

2.2 Descripción de la geometría

La geometría presenta dos casos característicos. El estudio, consistente en el análisis del flujo de tensiones tangenciales, se realiza para cuerpos cuya sección varía a lo largo de la longitud horizontal del mismo.

El primero de estos casos y el más simple es el del tubo, cuyas secciones permanecen constantes lo largo de la longitud del cuerpo. Es un caso clave ya que permite comprobar los modelos debido a que el resultado debe ser el mismo independientemente del modelo que se use. Además, se conoce la solución analítica [4] para este caso, por lo que cualquier modelo que se desvíe de dicho resultado se tiene que dar como erróneo.

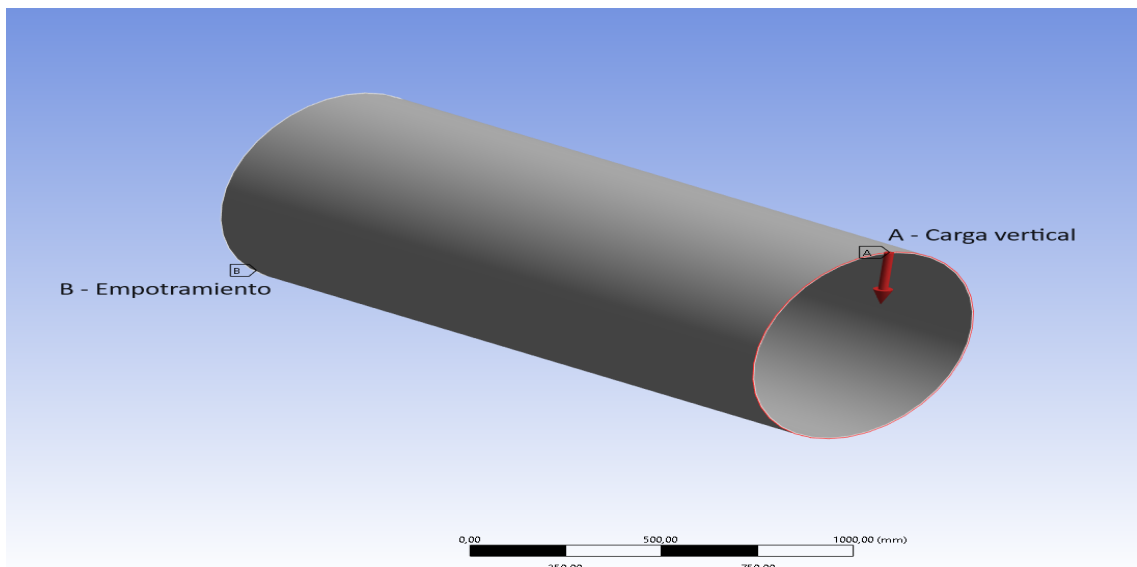


Figura 2.1 Condiciones de contorno en el tubo.

El segundo caso pertenece a cuerpos que, ahora sí, presentan variación del área de sus secciones a lo largo de la longitud del mismo. Estos cuerpos, que presentan la forma de troncos de cono huecos, se diferencian unos de otros por su conicidad, que es la diferencia entre su diámetro mayor menos su diámetro menor y su altura. Dichos objetos tendrán un radio en el empotramiento común de 40 centímetros, mientras que variará su radio en el extremo libre donde se aplica la carga. El objetivo es estudiar como afecta dicha conicidad al flujo tangencial y si los modelos son válidos o no a partir de ciertas conicidades.

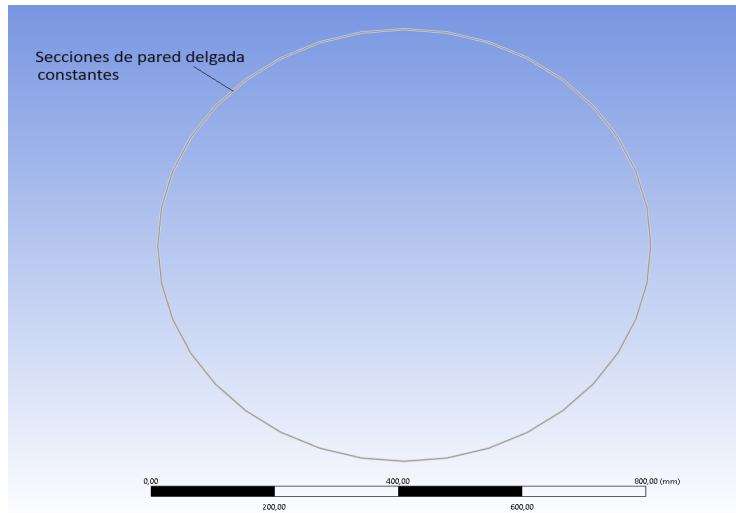


Figura 2.2 Detalle de la sección de pared delgada.

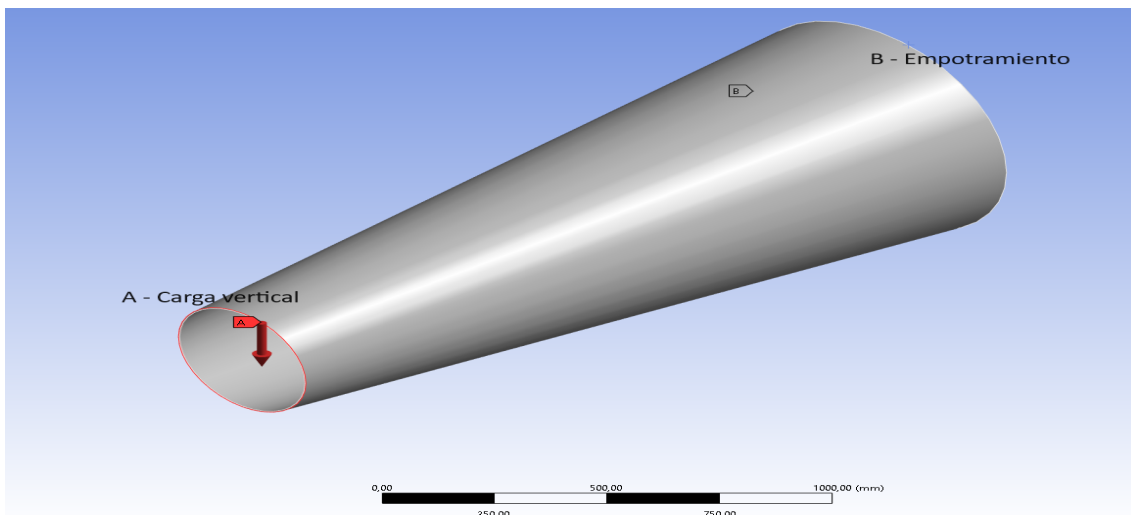


Figura 2.3 Condiciones de contorno en el tronco de cono.

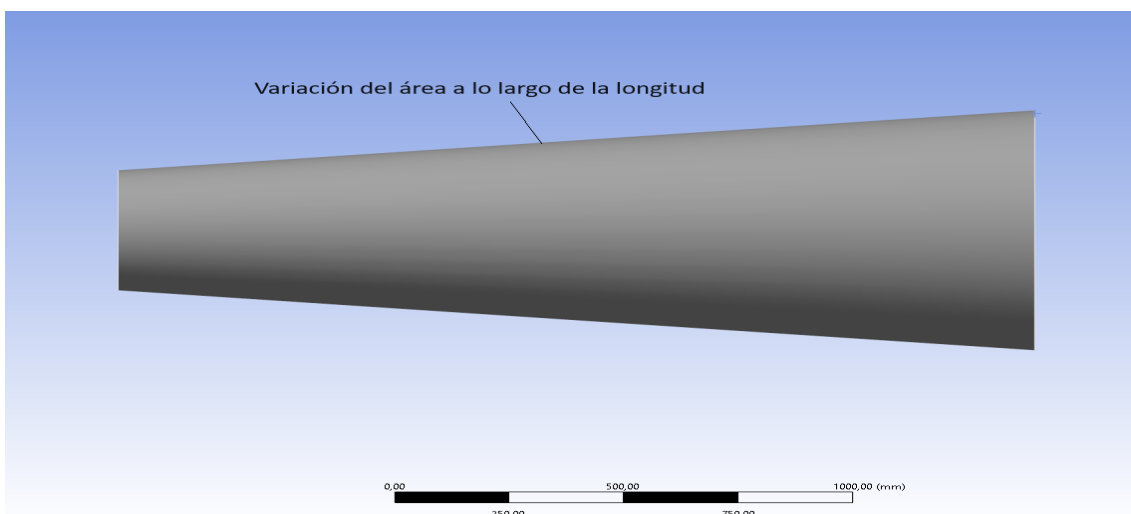


Figura 2.4 Detalle de la variación de las secciones a lo largo del cuerpo.

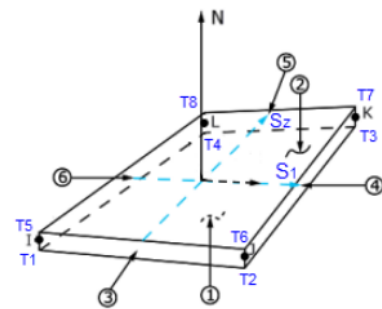
2.3 Modelo de elementos finitos

El método de los elementos finitos (MEF) es un método numérico consistente en aproximar soluciones de ecuaciones diferenciales mediante la división del cuerpo objeto de estudio en un número finito de elementos. Dichos elementos se encuentran constituidos por un número determinado de nodos, lo que permite una clasificación de estos. En general, el MEF se utiliza para obtener el campo de desplazamientos para luego calcular las deformaciones y tensiones.

El modelo de elementos finitos se ha construido utilizando *Mechanical APDL* (ANSYS Parametric Design Language), por lo que las instrucciones y estructura usada corresponde con la de dicho programa, que se adjunta en el apéndice. El código con el que el programa funciona contiene cuatro secciones claramente diferenciadas: la primera de ellas, se dedica a declarar parámetros de diseño; la segunda, que corresponde con la entrada en el preprocesador, construye el problema; la tercera, correspondiente al procesador, resuelve el modelo planteado; por último, la cuarta, el postprocesador, se dedica al tratamiento de los resultados y su obtención.

Esta forma de modelar el problema consiste en dividir el objeto del problema en elementos de un determinado tamaño, de manera que, en cada uno de los elementos, se resuelva el problema, teniendo en cuenta la influencia del resto de elementos sobre él. Por ende, es primordial la elección de la cantidad de elementos que conforman el cuerpo y el tipo de estos.

El tipo de elemento es fundamental ya que debe ajustarse lo máximo posible a las necesidades del modelo planteado. En este caso, como se considera un cuerpo de sección de pared delgada, se selecciona el elemento "SHELL181". Dicho elemento se utiliza para el análisis de estructuras tipo "shell" de espesores pequeños a moderados. Las estructuras tipo "shell" son aquellas que presentan una dimensión cuyo tamaño es mucho menor que las otras dos. Presenta cuatro nodos con seis grados de libertad en cada nodo (las tres traslaciones y los tres giros posibles). Este elemento se utiliza para aplicaciones de materiales compuestos laminados tipo "shell" o estructuras tipo sandwich. La precisión del modelo es gobernada por la teoría de primer orden de Mindlin-Reissner.



Correspondiente al número de elementos, deben ser suficientes para obtener unos resultados que cumplan con la precisión requerida, mientras que no deben ser excesivos con el fin de conllevar unos tiempos de simulación asequibles. Para encontrar el equilibrio entre ambas premisas, se realizan pruebas con distinto número de elementos con el fin de analizar la diferencia en los resultados. Ante esto, el número de elementos que aquí se utiliza es de 50 elementos en dirección axial y 20 elementos en dirección radial, lo que hace un total de 1000 elementos.

El siguiente punto importante a la hora de construir el modelo corresponde a las condiciones de contorno que se imponen. Dichas condiciones de contorno deben ser análogas a las del problema real, lo que no siempre resulta sencillo. En este caso, se tiene un empotramiento en un extremo y una carga puntual en el otro. El modelado del empotramiento resulta trivial al imponer desplazamientos y giros nulos en los nodos de la sección pertinente. Sin embargo, la carga resulta más compleja ya que se debe distribuir de forma uniforme por todos los nodos de la sección correspondiente. Para ello, se distribuye la carga entre todos los nodos de la sección, dividiendo el valor nominal de la fuerza por el número de nodos que hay presentes.

Correspondiente a la obtención de los resultados, estos se expresan en el sistema de ejes de los elementos con el fin de que los resultados se muestren en verdadera magnitud. Además, ya que el elemento presenta espesor, se especifica en que parte de su espesor se requieren. En este caso, los

resultados se piden en el plano medio de los elementos, es decir, el plano que pasa por el centro del elemento y es paralelo a las caras superior e inferior del mismo.

2.4 Modelos de barras

Los modelos de barras de pared delgada con comportamiento anisótropos han sido objeto de diversos estudios. Existen teorías rigurosas basadas en tres pilares fundamentales: cinemática compatible con la teoría de barras de Timoshenko, uso de la Teoría Clásica del Laminado (TCL) para tener en cuenta las diferentes rigideces de cada laminado, y la consideración de que la sección transversal se divide en segmentos correspondientes a los diferentes laminados.

Siguiendo estas hipótesis claves, Paluch [9] desarrolló una formulación explícita para la tensión y la deformación logitudinal. Cañas et al. [2] llevó a cabo una comparativa entre resultados tensionales obtenidos por este modelo y por EF utilizando una discretización similar, resultando en valores muy próximos. Teniendo en consideración dicho resultado en el cálculo de tensiones longitudinales, Fernandes et al. [3] determina la evolución del flujo de tensiones tangenciales como una extensión de la fórmula de Jourawski. Esta idea, sugerida por Massa y Barbero [8], se aplica para calcular el flujo de tensiones tangenciales en las palas de los aerogeneradores.

2.4.1 Evolución del flujo tangencial

Sea una rebanada de una barra de pared delgada constituida por laminados de material compuesto, de tamaño "dx" a lo largo del eje longitudinal de la barra y espesor "e(s)", siendo "s" la coordenada que recorre la sección transversal objeto de estudio. Ahora, considérese una porción de dicho trozo de barra de área, "A*". Las fuerzas que actúan sobre el elemento se representan en la figura 2.5. De esta manera, se establece la siguiente ecuación de equilibrio:

$$q_c(s)dx - q_c(0)dx + F_\sigma + \frac{\partial F_\sigma}{\partial x} - F_\sigma = 0 \Rightarrow q_c(s) = q_c(0) - \frac{\partial F_\sigma}{\partial x} \quad (2.1)$$

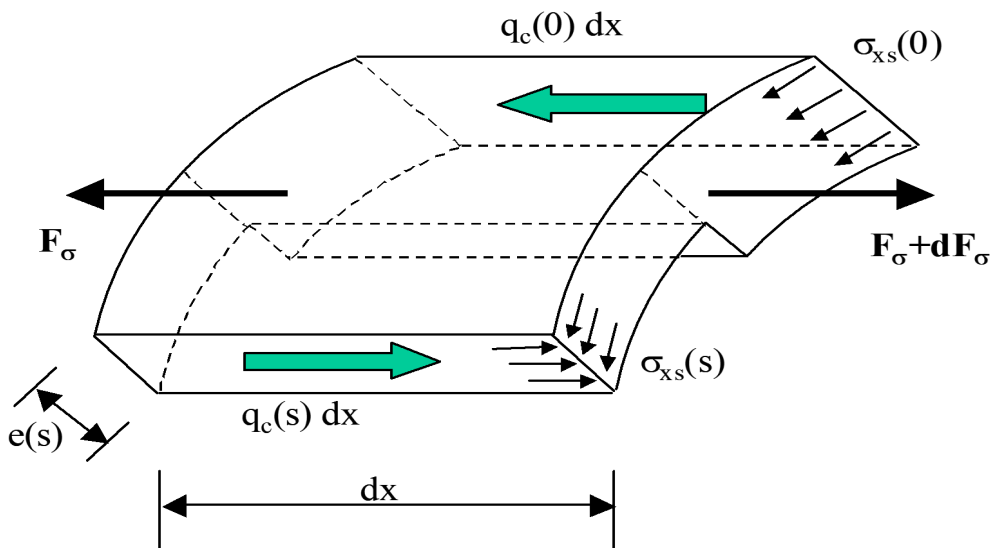


Figura 2.5 Equilibrio de fuerzas en la partición de un trozo de barra.

donde " q_c " es el flujo de tensiones tangenciales, es decir, la suma total de la tensión tangencial, " σ_{xs} ", en el espesor; y " F_σ " es la resultante de la fuerza normal en el área, "A*". Matemáticamente,

ambas variables se pueden expresar mediante sendas integrales:

$$q_c(s) = \int_{e(s)} \sigma_{xs}(x,s) de \quad ; \quad F_\sigma = \int_{A^*(s)} \sigma_x(x,y,z) dA \quad (2.2)$$

La expresión 2.1 muestra como el flujo total se compone de dos términos: " $q_c(0)$ " y la derivada de " F_σ ". El primero de estos para una sección típica de pala representa el flujo de tensiones tangenciales como sección cerrada y el último, como sección abierta. Por ende, es necesario conocer la metodología detrás del cálculo de ambas variables tensionales.

Flujo de tensiones tangenciales en sección abierta

La derivada de la resultante de la fuerza normal en el área se puede evaluar teniendo en cuenta que la discontinuidad de la tensión entre las láminas presentes en el área requerida, " A^* ". El número de elementos dentro de dicha área se denotarán como " n^* ".

$$\frac{\partial F_\sigma}{\partial x} = \frac{1}{k_{yz}} \left[\left(V_z \sum_{i=1}^N E_i I_{yz_i} - V_y \sum_{i=1}^N E_i I_{yy_i} \right) \sum_{i=1}^{n^*} E_i m_{z_i} + \left(V_y \sum_{i=1}^N E_i I_{yz_i} - V_z \sum_{i=1}^N E_i I_{zz_i} \right) \sum_{i=1}^{n^*} E_i m_{y_i} \right] \quad (2.3)$$

En esta formulación, " V_y " y " V_z " son las resultantes de las fuerzas tangenciales en la sección, mientras que " k_{yz} " se define como:

$$k_{yz} = \left(\sum_{i=1}^n E_i I_{yz_i} \right)^2 - \sum_{i=1}^n E_i I_{yy_i} \sum_{i=1}^n E_i I_{zz_i} \quad (2.4)$$

Cabe destacar que, al realizar la derivada de " F_σ ", se asume que las características geométricas de la sección y las rigideces de los laminados (E_i) no varían con la coordenada longitudinal " x ".

Flujo de tensiones tangenciales en sección cerrada

Considerando una sección multicélula de una barra de pared delgada, el requerimiento de que los desplazamientos tomen un único valor para las barras anisótropas se define como:

$$\int_0^s \gamma_{xs}^e ds = \int_0^s ([a_{31}^{-1}] N_x + [a_{33}^{-1}] N_{xy}) ds \cong \int_0^s [a_{33}^{-1}] q_c(s) ds = \int_0^s \frac{q_c(s)}{G_{xs}(s)e(s)} ds = 0 \quad (2.5)$$

En dicha ecuación, se asume que el acoplamiento entre los flujos normales y tangenciales, que aparecen debido a la TCL, no se tendrán en cuenta con el objetivo de simplificar la formulación. De la misma forma que para las secciones cerradas, el flujo de tensiones tangenciales debido a fuerzas tangenciales puede derivar a una expresión del flujo inducida por la torsión para una barra fabricada de material compuesto, esto sea, una sección anisótropa.

2.4.2 Discretización en el modelo de barras

El modelo de barra considera cada sección por separado. La discretización que utiliza es la misma que en el modelo de elementos finitos. La diferencia erradica en que, mientras que en el modelo EF se utilizan elementos tridimensionales, el modelo de barras solo tiene en cuenta el espesor, es decir, la sección en la que se realiza el cálculo. Se mantienen las divisiones radiales en ambos modelos, que resultan en veinte divisiones como se puede ver en la imagen 2.6.

Todas las secciones presentan la misma discretización y analizándolas en conjunto, se obtienen los valores de los flujos tangenciales.

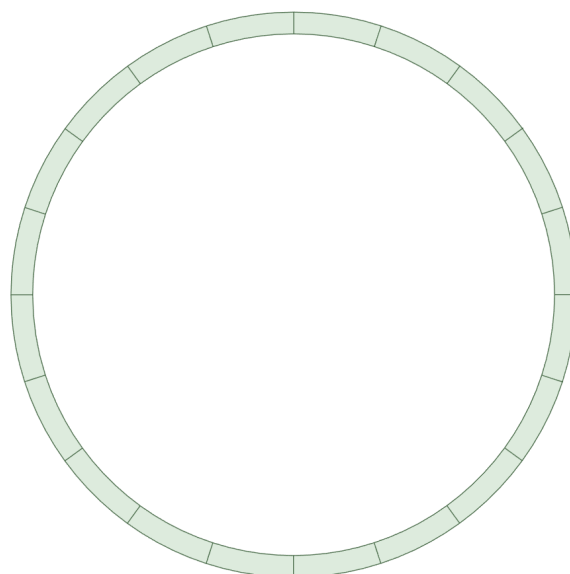


Figura 2.6 Sección del modelo de barras..

2.5 Validación de los modelos de análisis

2.5.1 Malla de elementos finitos

Para corroborar la validez de la malla, se procede a realizar un estudio de convergencia para uno de los modelos que se presentarán más adelante. Dicho modelo presenta una conicidad nula, por lo que la geometría coincide con la de un tubo. Para dicha geometría, se procede a realizar la discretización en elementos en dirección longitudinal y radial. Variando el número de elementos en ambas direcciones y comprobando los valores que se obtienen, se determinará el número adecuado de elementos necesarios para resolver el problema. Como el número de elementos va cambiando, se estudia una rebanada concreta del cuerpo, correspondiente a un determinado porcentaje de la longitud, siendo el número de elementos radiales variables. Por esto, se analizan los valores máximos en cada modelo y se comparan entre ellos.

En la siguiente tabla se realiza la comparación entre los valores máximos, siendo el parámetro clave la variación relativa de dichos valores entre los modelos. Se compara con el modelo más sencillo, el correspondiente a 50 elementos en dirección longitudinal y 20 elementos en dirección radial. Todos los modelos se denotan de la siguiente forma: "XXX|XX", siendo los primeros tres dígitos correspondientes a los elementos longitudinales, y los dos últimos, a los radiales.

Como se puede ver en la tabla 2.2, las variaciones relativas respecto al modelo más sencillo se sitúan por debajo del 1%, por lo que la diferencia entre modelos con más elementos y que deben ser más precisos es ínfima y se puede usar sin pérdida de precisión importante el modelo más simple.

Para respaldar este resultado, se realiza de nuevo el análisis para otra conicidad, de valor 0.01. Dichos valores se presentan en la tabla 2.3. A la vista de los mismos, se llega a la misma conclusión que para la conicidad anterior: todos los valores de variación relativa están por debajo del 1% (en valor absoluto), por lo que el modelo más simple resulta, de nuevo, adecuado al presentar una correcta precisión.

Elemento	50 elementos longitudinales				100 elementos longitudinales				150 elementos longitudinales			
	50 20	50 30	50 40	50 50	100 20	100 30	100 40	100 50	150 20	150 30	150 40	150 50
1	2.47350	2.06750	1.86360	1.74100	2.47340	2.06740	1.86360	1.74090	2.47340	2.06740	1.86360	1.74090
2	4.70490	3.62660	3.05510	2.70350	4.70470	3.62640	3.05490	2.70340	4.70470	3.62640	3.05490	2.70340
3	6.47570	5.02720	4.17120	3.62340	6.47540	5.02690	4.17100	3.62320	6.47540	5.02690	4.17100	3.62320
4	7.61270	6.20800	5.18470	4.48610	7.61230	6.20770	5.18440	4.48590	7.61230	6.20770	5.18440	4.48590
5	8.00440	7.11760	6.07050	5.27800	8.00400	7.11720	6.07020	5.27780	8.00400	7.11720	6.07020	5.27780
6	7.61270	7.71610	6.80680	5.98670	7.61230	7.71570	6.80650	5.98650	7.61230	7.71570	6.80650	5.98650
7	6.47570	7.97730	7.37550	6.60110	6.47540	7.97690	7.37520	6.60070	6.47540	7.97690	7.37520	6.60070
8	4.70490	7.88990	7.76270	7.11130	4.70470	7.88950	7.76230	7.11090	4.70470	7.88950	7.76230	7.11090
9	2.47350	7.45770	7.95860	7.50930	2.47340	7.45730	7.95820	7.50890	2.47340	7.45730	7.95820	7.50890
10	0.00000	6.69950	7.95860	7.78890	0.00000	6.69920	7.95820	7.78860	0.00000	6.69920	7.95820	7.78860
11	-2.47350	5.64850	7.76270	7.94570	-2.47340	5.64830	7.76230	7.94530	-2.47340	5.64830	7.76230	7.94530
12	-4.70490	4.35070	7.37550	7.97720	-4.70470	4.35050	7.37520	7.97680	-4.70470	4.35050	7.37520	7.97680
13	-6.47570	2.86270	6.80680	7.88290	-6.47540	2.86260	6.80650	7.88250	-6.47540	2.86260	6.80650	7.88250
14	-7.61270	1.24960	6.07050	7.66420	-7.61230	1.24960	6.07020	7.66390	-7.61230	1.24960	6.07020	7.66390
15	-8.00440	-0.41807	5.18470	7.32470	-8.00400	-0.41805	5.18440	7.32440	-8.00400	-0.41805	5.18440	7.32440
16	-7.61270	-2.06750	4.17120	6.86970	-7.61230	-2.06740	4.17100	6.86940	-7.61230	-2.06740	4.17100	6.86940
17	-6.47570	-3.62660	3.05510	6.30630	-6.47540	-3.62640	3.05490	6.30600	-6.47540	-3.62640	3.05490	6.30600
18	-4.70490	-5.02720	1.86360	5.64350	-4.70470	-5.02690	1.86360	5.64330	-4.70470	-5.02690	1.86360	5.64330
19	-2.47350	-6.20800	0.62636	4.89170	-2.47340	-6.20770	0.62633	4.89150	-2.47340	-6.20770	0.62633	4.89150
20	0.00000	-7.11760	-0.62636	4.06270	0.00000	-7.11720	-0.62633	4.06250	0.00000	-7.11720	-0.62633	4.06250
21		-7.71610	-1.86360	3.16970		-7.71570	-1.86360	3.16950		-7.71570	-1.86360	3.16950
22		-7.97730	-3.05510	2.22670		-7.97690	-3.05490	2.22660		-7.97690	-3.05490	2.22660
23		-7.88990	-4.17120	1.24850		-7.88950	-4.17100	1.24850		-7.88950	-4.17100	1.24850
24		-7.45770	-5.18470	0.25069		-7.45730	-5.18440	0.25068		-7.45730	-5.18440	0.25068
25		-6.69950	-6.07050	-0.75109		-6.69920	-6.07020	-0.75106		-6.69920	-6.07020	-0.75106
26		-5.64850	-6.80680	-1.74100		-5.64830	-6.80650	-1.74090		-5.64830	-6.80650	-1.74090
27		-4.35070	-7.37550	-2.70350		-4.35050	-7.37520	-2.70340		-4.35050	-7.37520	-2.70340
28		-2.86270	-7.76270	-3.62340		-2.86260	-7.76230	-3.62320		-2.86260	-7.76230	-3.62320
29		-1.24960	-7.95860	-4.48610		-1.24960	-7.95820	-4.48590		-1.24960	-7.95820	-4.48590
30		0.41807	-7.95860	-5.27800		0.41805	-7.95820	-5.27780		0.41805	-7.95820	-5.27780
31			-7.76270	-5.98670			-7.76230	-5.98650			-7.76230	-5.98650
32			-7.37550	-6.60110			-7.37520	-6.60070			-7.37520	-6.60070
33			-6.80680	-7.11130			-6.80650	-7.11090			-6.80650	-7.11090
34			-6.07050	-7.50930			-6.07020	-7.50890			-6.07020	-7.50890
35			-5.18470	-7.78890			-5.18440	-7.78860			-5.18440	-7.78860
36			-4.17120	-7.94570			-4.17100	-7.94530			-4.17100	-7.94530
37			-3.05510	-7.97720			-3.05490	-7.97680			-3.05490	-7.97680
38			-1.86360	-7.88290			-1.86360	-7.88250			-1.86360	-7.88250
39			-0.62636	-7.66420			-0.62633	-7.66390			-0.62633	-7.66390
40			0.62636	-7.32470			0.62633	-7.32440			0.62633	-7.32440
41				-6.86970				-6.86940				-6.86940
42				-6.30630				-6.30600				-6.30600
43				-5.64350				-5.64330				-5.64330
44				-4.89170				-4.89150				-4.89150
45				-4.06270				-4.06250				-4.06250
46				-3.16970				-3.16950				-3.16950
47				-2.22670				-2.22660				-2.22660
48				-1.24850				-1.24850				-1.24850
49				-0.25069				-0.25068				-0.25068
50				0.75109				0.75106				0.75106

Figura 2.7 Estudio de convergencia para modelo de conicidad nula para una rebanada en el 76% de la longitud..

Tabla 2.2 Análisis de convergencia para conicidad nula.

Referencia	Comparación	Var. Máxima (N/mm)	Media (N/mm)	Var. Relativa (%)
50 20	50 30	0.027100	7.990850	0.339138
50 20	50 40	0.045800	7.981500	0.573827
50 20	50 50	0.027200	7.990800	0.340391
50 20	100 20	0.000400	8.004200	0.004997
50 20	100 30	0.027500	7.990650	0.344152
50 20	100 40	0.046200	7.981300	0.578853
50 20	100 50	0.027600	7.990600	0.345406
50 20	150 20	0.000400	8.004200	0.004997
50 20	150 30	0.027500	7.990650	0.344152
50 20	150 40	0.046200	7.981300	0.578853
50 20	150 50	0.027600	7.990600	0.345406

Elemento	50 elementos longitudinales				100 elementos longitudinales				150 elementos longitudinales			
	50 20	50 30	50 40	50 50	100 20	100 30	100 40	100 50	150 20	150 30	150 40	150 50
1	2.81080	2.34940	2.11780	1.97840	2.81970	2.35680	2.12440	1.98470	2.82260	2.35930	2.12660	1.98670
2	5.34640	4.12110	3.47160	3.07210	5.36330	4.13410	3.48250	3.08180	5.36880	4.13830	3.48610	3.08500
3	7.35870	5.71260	4.74000	4.11740	7.38200	5.73060	4.75490	4.13040	7.38960	5.73650	4.75980	4.13460
4	8.65070	7.05450	5.89160	5.09780	8.67800	7.07680	5.91020	5.11380	8.68700	7.08400	5.91630	5.11910
5	9.09590	8.08810	6.89820	5.99770	9.12460	8.11360	6.91990	6.01660	9.13400	8.12190	6.92710	6.02280
6	8.65070	8.76820	7.73500	6.80310	8.67800	8.79580	7.75930	6.82450	8.68700	8.80490	7.76730	6.83150
7	7.35870	9.06500	8.38120	7.50110	7.38200	9.09360	8.40760	7.52470	7.38960	9.10300	8.41630	7.53250
8	5.34640	8.96570	8.82110	8.08090	5.36330	8.99400	8.84890	8.10630	5.36880	9.00320	8.85800	8.11470
9	2.81080	8.47450	9.04380	8.53320	2.81970	8.50130	9.07230	8.56010	2.82260	8.51000	9.08160	8.56890
10	0.00000	7.61300	9.04380	8.85100	0.00000	7.63700	9.07230	8.87880	0.00000	7.64490	9.08160	8.88800
11	-2.81080	6.41870	8.82110	9.02910	-2.81970	6.43900	8.84890	9.05750	-2.82260	6.44560	8.85800	9.06690
12	-5.34640	4.94390	8.38120	9.06490	-5.36330	4.95950	8.40760	9.09340	-5.36880	4.96460	8.41630	9.10280
13	-7.35870	3.25310	7.73500	8.95770	-7.38200	3.26330	7.75930	8.98590	-7.38960	3.26670	7.76730	8.99520
14	-8.65070	1.42000	6.89820	8.70930	-8.67800	1.42450	6.91990	8.73670	-8.68700	1.42600	6.92710	8.74570
15	-9.09590	-0.47508	5.89160	8.32350	-9.12460	-0.47658	5.91020	8.34970	-9.13400	-0.47707	5.91630	8.35830
16	-8.65070	-2.34940	4.74000	7.80640	-8.67800	-2.35680	4.75490	7.83100	-8.68700	-2.35930	4.75980	7.83900
17	-7.35870	-4.12110	3.47160	7.16620	-7.38200	-4.13410	3.48250	7.18880	-7.38960	-4.13830	3.48610	7.19620
18	-5.34640	-5.71260	2.11780	6.41300	-5.36330	-5.73060	2.12440	6.43320	-5.36880	-5.73650	2.12660	6.43980
19	-2.81080	-7.05450	0.71176	5.55870	-2.81970	-7.07680	0.71400	5.57620	-2.82260	-7.08400	0.71474	5.58190
20	0.00000	-8.08810	-0.71176	4.61670	0.00000	-8.11360	-0.71400	4.63120	0.00000	-8.12190	-0.71474	4.63600
21		-8.76820	-2.11780	3.60190		-8.79580	-2.12440	3.61320		-8.80490	-2.12660	3.61690
22		-9.06500	-3.47160	2.53030		-9.09360	-3.48250	2.53820		-9.10300	-3.48610	2.54090
23		-8.96570	-4.74000	1.41880		-8.99400	-4.75490	1.42320		-9.00320	-4.75980	1.42470
24		-8.47450	-5.89160	0.28488		-8.50130	-5.91020	0.28577		-8.51000	-5.91630	0.28607
25		-7.61300	-6.89820	-0.85351		-7.63700	-6.91990	-0.85619		-7.64490	-6.92710	-0.85707
26		-6.41870	-7.73500	-1.97840		-6.43900	-7.75930	-1.98470		-6.44560	-7.76730	-1.98670
27		-4.94390	-8.38120	-3.07210		-4.95950	-8.40760	-3.08180		-4.96460	-8.41630	-3.08500
28		-3.25310	-8.82110	-4.11740		-3.26330	-8.84890	-4.13040		-3.26670	-8.85800	-4.13460
29		-1.42000	-9.04380	-5.09780		-1.42450	-9.07230	-5.11380		-1.42600	-9.08160	-5.11910
30		0.47508	-9.04380	-5.99770		0.47658	-9.07230	-6.01660		0.47707	-9.08160	-6.02280
31			-8.82110	-6.80310			-8.84890	-6.82450			-8.85800	-6.83150
32			-8.38120	-7.50110			-8.40760	-7.52470			-8.41630	-7.53250
33			-7.73500	-8.08090			-7.75930	-8.10630			-7.76730	-8.11470
34			-6.89820	-8.53320			-6.91990	-8.56010			-6.92710	-8.56890
35			-5.89160	-8.85100			-5.91020	-8.87880			-5.91630	-8.88800
36			-4.74000	-9.02910			-4.75490	-9.05750			-4.75980	-9.06690
37			-3.47160	-9.06490			-3.48250	-9.09340			-3.48610	-9.10280
38			-2.11780	-8.95770			-2.12440	-8.98590			-2.12660	-8.99520
39			-0.71176	-8.70930			-0.71400	-8.73670			-0.71474	-8.74570
40			0.71176	-8.32350			0.71400	-8.34970			0.71474	-8.35830
41				-7.80640				-7.83100				-7.83900
42				-7.16620				-7.18880				-7.19620
43				-6.41300				-6.43320				-6.43980
44				-5.55870				-5.57620				-5.58190
45				-4.61670				-4.63120				-4.63600
46				-3.60190				-3.61320				-3.61690
47				-2.53030				-2.53820				-2.54090
48				-1.41880				-1.42320				-1.42470
49				-0.28488				-0.28577				-0.28607
50				0.85351				0.85619				0.85707

Figura 2.8 Estudio de convergencia para modelo de conicidad 0.01 para una rebanada en el 76% de la longitud..

Tabla 2.3 Análisis de convergencia para conicidad 0.01.

Referencia	Comparación	Var. Máxima (N/mm)	Media (N/mm)	Var. Relativa (%)
50 20	50 30	0.030900	9.080450	0.340292
50 20	50 40	0.052100	9.069850	0.574431
50 20	50 50	0.031000	9.080400	0.341395
50 20	100 20	-0.028700	9.110250	-0.315030
50 20	100 30	0.002300	9.094750	0.025289
50 20	100 40	0.023600	9.084100	0.259795
50 20	100 50	0.002500	9.094650	0.027489
50 20	150 20	-0.038100	9.114950	-0.417995
50 20	150 30	-0.007100	9.099450	-0.078027
50 20	150 40	0.014300	9.088750	0.157337
50 20	150 50	-0.006900	9.099350	-0.075830

2.5.2 Comparación con la solución analítica para la geometría de tubo

Queda, por tanto, validar ambos modelos con respecto a la solución analítica que se conoce para el caso de la geometría de tubo y analizar si los modelos son correctos y cuánto se alejan de la referencia. Para ello, se utiliza un tubo de 2 milímetros de espesor y se escoge la rebanada 23 en todos los casos.

Tabla 2.4 Comparativa con la solución analítica.

<i>Rebanada 23</i>					
Elemento radial	Sol. Analítica	Sol. MB	Sol. EF	Error MB	Error EF
1	2.46523189	2.485628071	2.4734	0.827353443	0.331332323
2	4.689149706	4.727768455	4.7047	0.823576803	0.331622891
3	6.454060878	6.507139922	6.4754	0.822413137	0.330630939
4	7.587203603	7.649550246	7.6123	0.82173415	0.330772685
5	7.977657976	8.043182459	8.0041	0.821349863	0.33145096
6	7.587203603	7.649500537	7.6123	0.821078981	0.330772685
7	6.454060878	6.50704537	6.4754	0.820948136	0.330630939
8	4.689149706	4.727638316	4.7047	0.820801463	0.331622891
9	2.46523189	2.485475082	2.4734	0.821147598	0.331332323
10	9.77382E-16	2.11975E-05	9.57E-12	0	0
11	-2.46523189	-2.485424814	-2.4734	0.819108518	0.331332323
12	-4.689149706	-4.727565199	-4.7047	0.819242189	0.331622891
13	-6.454060878	-6.506936666	-6.4754	0.819263855	0.330630939
14	-7.587203603	-7.649346989	-7.6123	0.819055211	0.330772685
15	-7.977657976	-8.042979202	-8.0041	0.818802041	0.33145096
16	-7.587203603	-7.64929728	-7.6123	0.818400042	0.330772685
17	-6.454060878	-6.506842114	-6.4754	0.817798855	0.330630939
18	-4.689149706	-4.727435059	-4.7047	0.81646685	0.331622891
19	-2.46523189	-2.485271826	-2.4734	0.812902673	0.331332323
20	-1.95476E-15	0.000182059	5.16E-12	0	0

Como se puede ver en la gráfica 2.9, los dos modelos numéricos aquí utilizados están muy próximos al analítico, por lo que en principio se dan por buenos. Analizando más a fondo, y como se puede apreciar en la imagen 2.10, el modelo de barras predice valores ligeramente superiores al analítico, mientras que el modelo de elementos finitos, si bien obtiene valores superiores también, dichos valores están por debajo de los conseguidos con el otro modelo y se acercan más al resultado analítico, como se puede ver en la figura 2.11. Todos los datos numéricos concretos se pueden ver en la tabla 2.4. Como detalle, los errores en los valores en los que el flujo de tensiones tangenciales se hace nulo (que corresponde con los laterales del cuerpo), los valores difieren por errores numéricos, por lo que al evaluar el error de los modelo numéricos, resultan valores irreales. Es por ello que aquí se opta por introducir 0 al evaluar el error en dichos elementos (elemento radial 10 y 20).

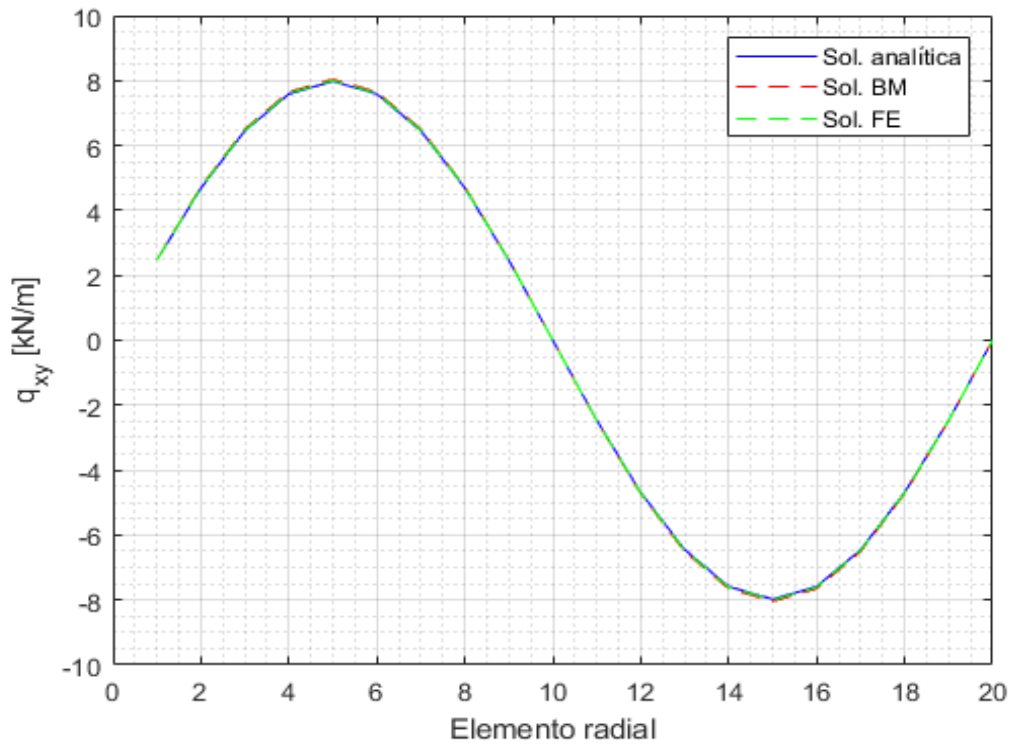


Figura 2.9 Comparativa entre la solución analítica y los modelos numéricos..

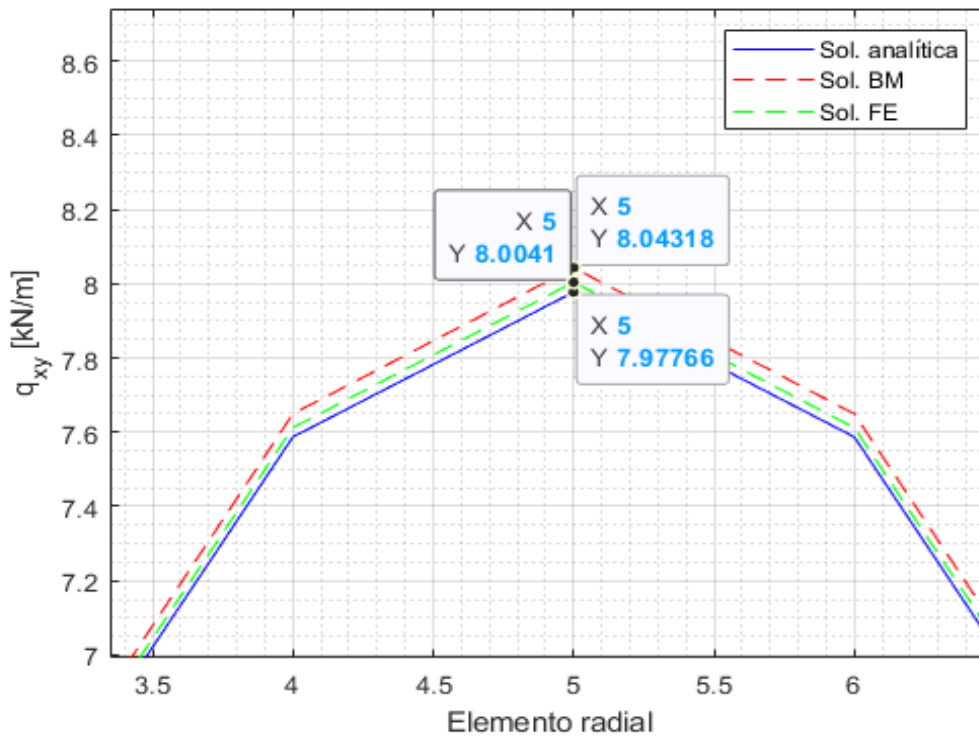


Figura 2.10 Detalle de la comparativa de uno de los máximos..

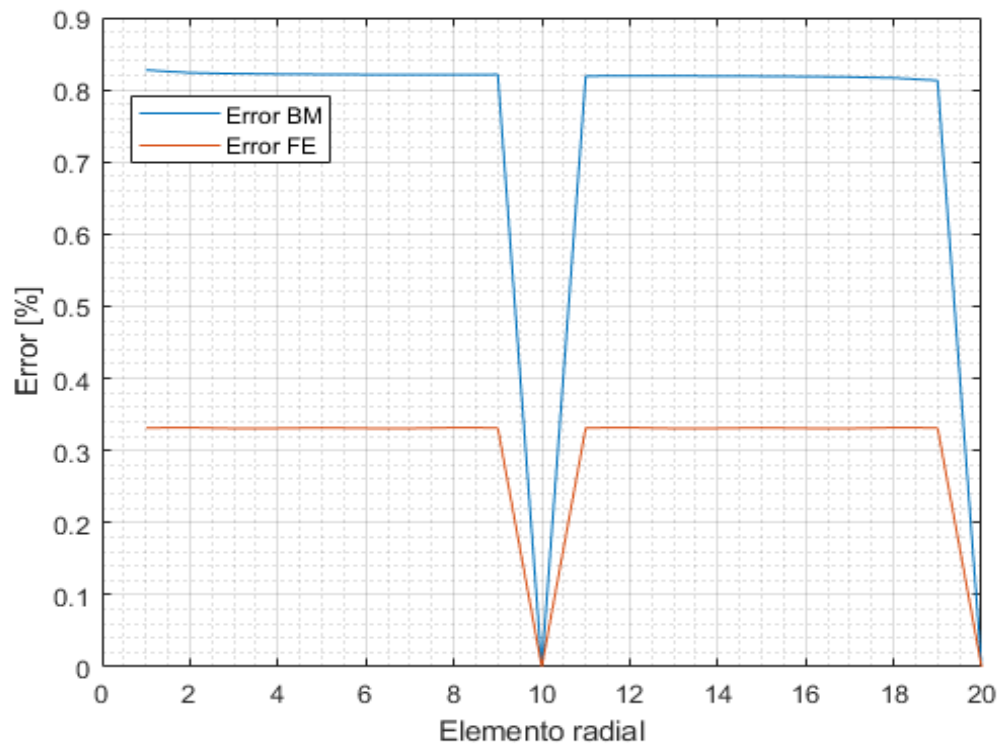


Figura 2.11 Errores entre los modelos numéricos y la solución analítica..

3 Resultados

3.1 Introducción

Con los modelos presentados anteriormente, se pretende obtener los ya mencionados flujos tangenciales. Dichos flujos se pueden calcular una vez obtenidas las tensiones tangenciales multiplicando por el espesor ya que, en los cuerpos utilizados en los cálculos, tienen espesor constante:

$$q = \sigma_{xs} \cdot e \quad [N/mm]$$

Existen diversos programas de elementos finitos, entre los que se destacan *Abaqus* y *ANSYS*. Cada uno ofrece diferentes ventajas e inconvenientes, por lo que resulta una elección en el gusto y/o la posibilidad de cada individuo. Aquí se decanta por la utilización de *ANSYS*, concretamente de su módulo APDL (*ANSYS Parametric Design Language*) debido a la facilidad a la hora de crear la malla ya que, mediante líneas de código, permite situar cada nodo y cada elemento en el sitio requerido por el usuario, además de tener una gran abanico de posibilidades a la hora de manejar los resultados.

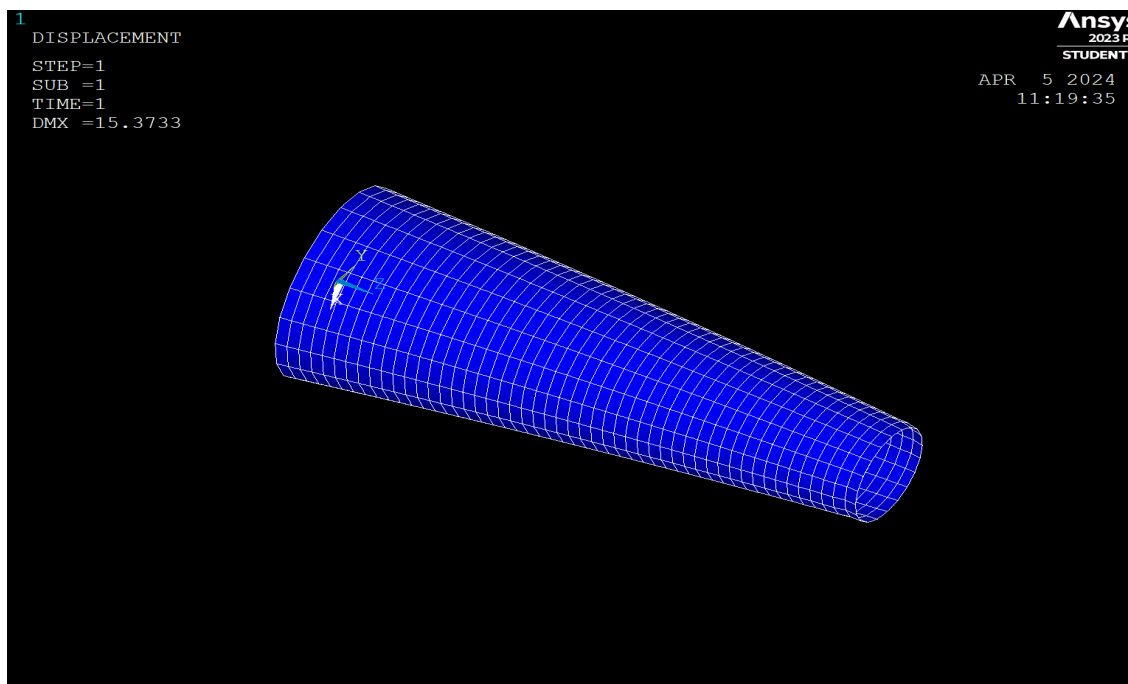


Figura 3.1 Ejemplo de un tronco de cono, cuyo radio exterior en la punta es de 20cm.

Dichos resultados se calculan en el modelo de tronco de cono que pretende simular de forma sencilla una pala de aerogenerador. Para ello, se hace variar la conicidad de dicho cuerpo geométrico:

$$\text{Conicidad} = c = \frac{2(r_1 - r_2)}{L} \Rightarrow \text{Variacion area} = \frac{A_1 - A_2}{L} = c\pi e$$

que será el parámetro con el que se controlará la variación de área a través del objeto. De esta forma, eligiendo los radios de ambos extremos, se tiene seleccionada la conicidad. Aquí se fijará el radio exterior en el empotramiento, mientras que se variará el radio exterior del extremo libre donde se aplica la carga y el espesor del cuerpo. Cabe aclarar que se habla de radio exterior ya que el espesor está aplicado hacia el interior de dicha medida, es decir, que si, por ejemplo, se tuviese un radio exterior de 40 centímetros y un espesor de 1 milímetro, el radio interior sería de 39 centímetros.

Además, se ha impuesto que el primer elemento del modelo esté situado de forma que su vector normal esté situado de forma paralela al eje vertical, con el fin de comparar luego los modelos de elementos finitos y de modelo de barras.

Los resultados se van a analizar por secciones. Todos los modelos, independientemente de sus medidas, presentan 50 elementos en su longitud, mientras que tienen 20 elementos en la dirección radial. De dichas divisiones, se analizan las secciones que contienen a los elementos 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43 y 48 en dirección longitudinal.

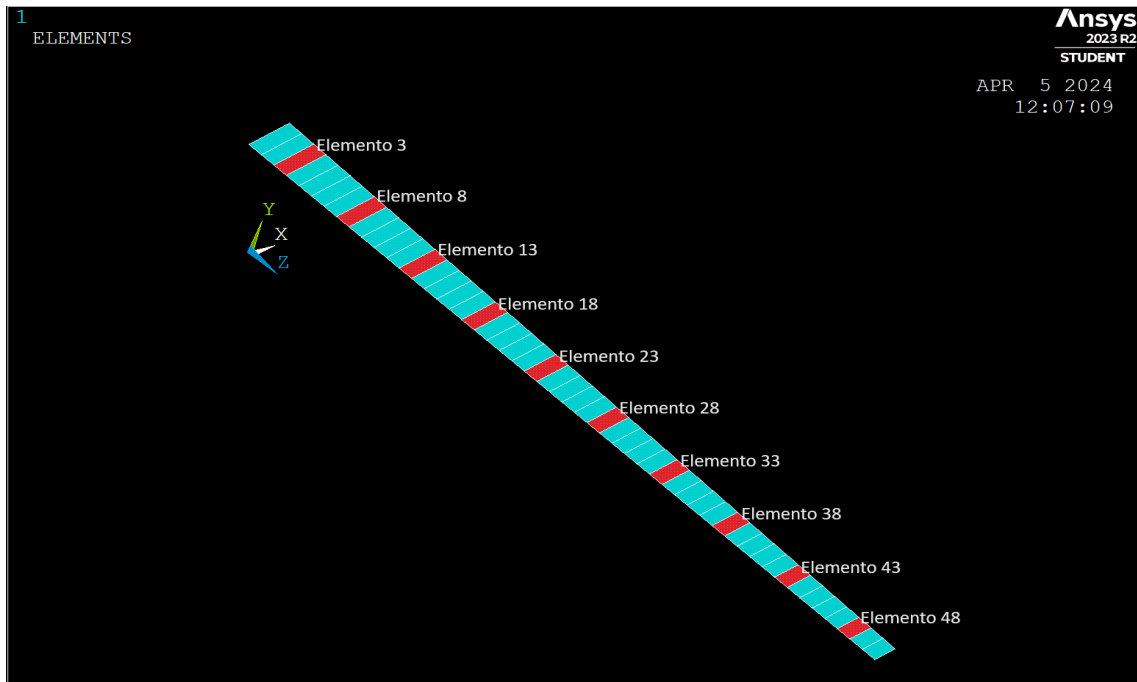


Figura 3.2 Divisiones longitudinales del modelo y secciones destacadas en rojo.

3.2 Resultados de los modelos de elementos finitos

Los resultados se van a mostrar de forma numérica y de forma gráfica, siguiendo la siguiente nomenclatura: ABcmCmm, donde los dígitos "AB" coinciden con el radio exterior en el extremo libre en centímetros, mientras que el dígito "C" especifica el espesor del objeto en milímetros. De esta forma, se va a dividir en subsecciones de mismo radio exterior para presentar los resultados. Todos los cuerpos aquí presentes presentan una longitud de 2 metros.

Las gráficas que aquí se muestran tienen como eje de abscisas el elemento radial perteneciente a la rebanada, siendo el número 1 el elemento perpendicular al eje vertical, mientras que en el eje de

ordenadas se muestra el flujo tangencial 'xy'.

3.2.1 Modelos 40cm

Para el caso de conicidad nula, la geometría de los cuerpos es la de un tubo y los resultados que se deben obtener son los de la solución analítica salvo errores numéricos. Las curvas de los valores de los flujos de tensiones tangenciales coinciden salvo para la última rebanada que se sitúa muy cerca de la zona de aplicación de la carga, por lo que se puede descartar al no cumplir el Principio de Saint-Venant. Los valores que se obtienen son prácticamente constantes en la longitud del cuerpo y el espesor apenas influye, con unos valores máximos en torno a 8 kN/m.

		Elemento radial																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Máx.	Mín.
Rebanada	3	2.4784	4.7142	6.4885	7.6277	8.0203	7.6277	6.4885	4.7142	2.4784	-1.35E-11	-2.4784	-4.7142	-6.4885	-7.6277	-8.0203	-7.6277	-6.4885	-4.7142	-2.4784	-6.87E-12	8.0203	-8.0203
	8	2.4768	4.7112	6.4844	7.6229	8.0152	7.6229	6.4844	4.7112	2.4768	-1.44E-11	-2.4768	-4.7112	-6.4844	-7.6229	-8.0152	-7.6229	-6.4844	-4.7112	-2.4768	-6.63E-12	8.0152	-8.0152
	13	2.4765	4.7105	6.4835	7.6218	8.014	7.6218	6.4835	4.7105	2.4765	-1.55E-11	-2.4765	-4.7105	-6.4835	-7.6218	-8.014	-7.6218	-6.4835	-4.7105	-2.4765	-6.73E-12	8.014	-8.014
	18	2.4765	4.7105	6.4835	7.6218	8.0141	7.6218	6.4835	4.7105	2.4765	-1.64E-11	-2.4765	-4.7105	-6.4835	-7.6218	-8.0141	-7.6218	-6.4835	-4.7105	-2.4765	-6.37E-12	8.0141	-8.0141
	23	2.4765	4.7105	6.4835	7.6218	8.0141	7.6218	6.4835	4.7105	2.4765	-1.67E-11	-2.4765	-4.7105	-6.4835	-7.6218	-8.0141	-7.6218	-6.4835	-4.7105	-2.4765	-7.43E-12	8.0141	-8.0141
	28	2.4765	4.7105	6.4835	7.6218	8.0141	7.6218	6.4835	4.7105	2.4765	-1.69E-11	-2.4765	-4.7105	-6.4835	-7.6218	-8.0141	-7.6218	-6.4835	-4.7105	-2.4765	-5.09E-12	8.0141	-8.0141
	33	2.4765	4.7105	6.4835	7.6218	8.0141	7.6218	6.4835	4.7105	2.4765	-1.66E-11	-2.4765	-4.7105	-6.4835	-7.6218	-8.0141	-7.6218	-6.4835	-4.7105	-2.4765	-2.24E-12	8.0141	-8.0141
	38	2.4765	4.7105	6.4835	7.6218	8.014	7.6218	6.4835	4.7105	2.4765	-1.78E-11	-2.4765	-4.7105	-6.4835	-7.6218	-8.014	-7.6218	-6.4835	-4.7105	-2.4765	-8.64E-13	8.014	-8.014
	43	2.4793	4.7159	6.4908	7.6304	8.0231	7.6304	6.4908	4.7159	2.4793	-1.10E-11	-2.4793	-4.7159	-6.4908	-7.6304	-8.0231	-7.6304	-6.4908	-4.7159	-2.4793	-2.65E-12	8.0231	-8.0231
	48	2.3686	4.5053	6.201	7.2897	7.6649	7.2897	6.201	4.5053	2.3686	-5.54E-12	-2.3686	-4.5053	-6.201	-7.2897	-7.6649	-7.2897	-6.201	-4.5053	-2.3686	-2.07E-12	7.6649	-7.6649
																					8.0231	-8.0231	

Figura 3.3 Resultados numéricos para el tubo 40cm3mm.

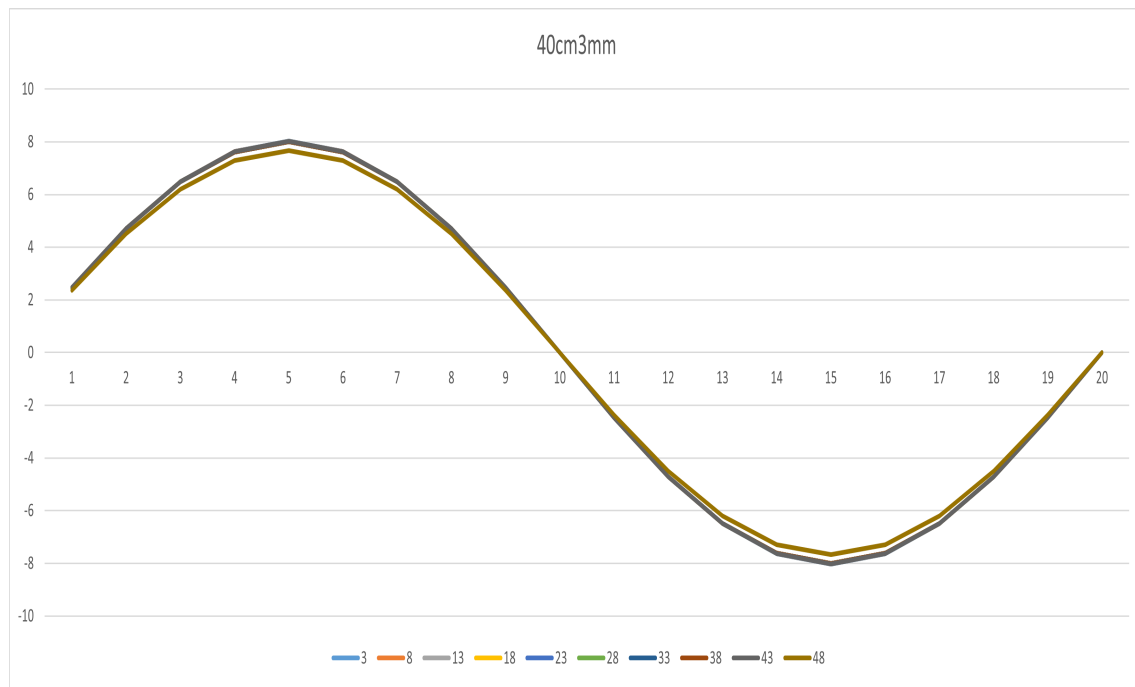


Figura 3.4 Tubo 40cm3mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.4671	4.6927	6.459	7.593	7.9838	7.593	6.459	4.6927	2.4671	2.27E-11	-2.4671	-4.6927	-6.459	-7.593	-7.9838	-7.593	-6.459	-4.6927	-2.4671	8.34E-12	7.9838	-7.9838
	8	2.4737	4.7053	6.4763	7.6134	8.0052	7.6134	6.4763	4.7053	2.4737	2.04E-11	-2.4737	-4.7053	-6.4763	-7.6134	-8.0052	-7.6134	-6.4763	-4.7053	-2.4737	8.33E-12	8.0052	-8.0052
	13	2.4734	4.7047	6.4755	7.6124	8.0041	7.6124	6.4755	4.7047	2.4734	1.69E-11	-2.4734	-4.7047	-6.4755	-7.6124	-8.0041	-7.6124	-6.4755	-4.7047	-2.4734	8.00E-12	8.0041	-8.0041
	18	2.4734	4.7047	6.4754	7.6123	8.0041	7.6123	6.4754	4.7047	2.4734	1.28E-11	-2.4734	-4.7047	-6.4754	-7.6123	-8.0041	-7.6123	-6.4754	-4.7047	-2.4734	7.35E-12	8.0041	-8.0041
	23	2.4734	4.7047	6.4754	7.6123	8.0041	7.6123	6.4754	4.7047	2.4734	9.57E-12	-2.4734	-4.7047	-6.4754	-7.6123	-8.0041	-7.6123	-6.4754	-4.7047	-2.4734	5.16E-12	8.0041	-8.0041
	28	2.4734	4.7047	6.4754	7.6123	8.0041	7.6123	6.4754	4.7047	2.4734	3.71E-12	-2.4734	-4.7047	-6.4754	-7.6123	-8.0041	-7.6123	-6.4754	-4.7047	-2.4734	4.52E-12	8.0041	-8.0041
	33	2.4734	4.7047	6.4754	7.6123	8.0041	7.6123	6.4754	4.7047	2.4734	-1.31E-12	-2.4734	-4.7047	-6.4754	-7.6123	-8.0041	-7.6123	-6.4754	-4.7047	-2.4734	5.17E-12	8.0041	-8.0041
	38	2.4735	4.7049	6.4757	7.6127	8.0044	7.6127	6.4757	4.7049	2.4735	-6.43E-12	-2.4735	-4.7049	-6.4757	-7.6127	-8.0044	-7.6127	-6.4757	-4.7049	-2.4735	5.26E-12	8.0044	-8.0044
	43	2.472	4.702	6.4718	7.6081	7.9996	7.6081	6.4718	4.702	2.472	-5.72E-12	-2.472	-4.702	-6.4718	-7.6081	-7.9996	-7.6081	-6.4718	-4.702	-2.472	2.67E-12	7.9996	-7.9996
	48	2.3195	4.4119	6.0725	7.1386	7.506	7.1386	6.0725	4.4119	2.3195	-1.59E-12	-2.3195	-4.4119	-6.0725	-7.1386	-7.506	-7.1386	-6.0725	-4.4119	-2.3195	1.41E-12	7.506	-7.506
																					8.005	-8.005	

Figura 3.5 Resultados numéricos para el tubo 40cm2mm.

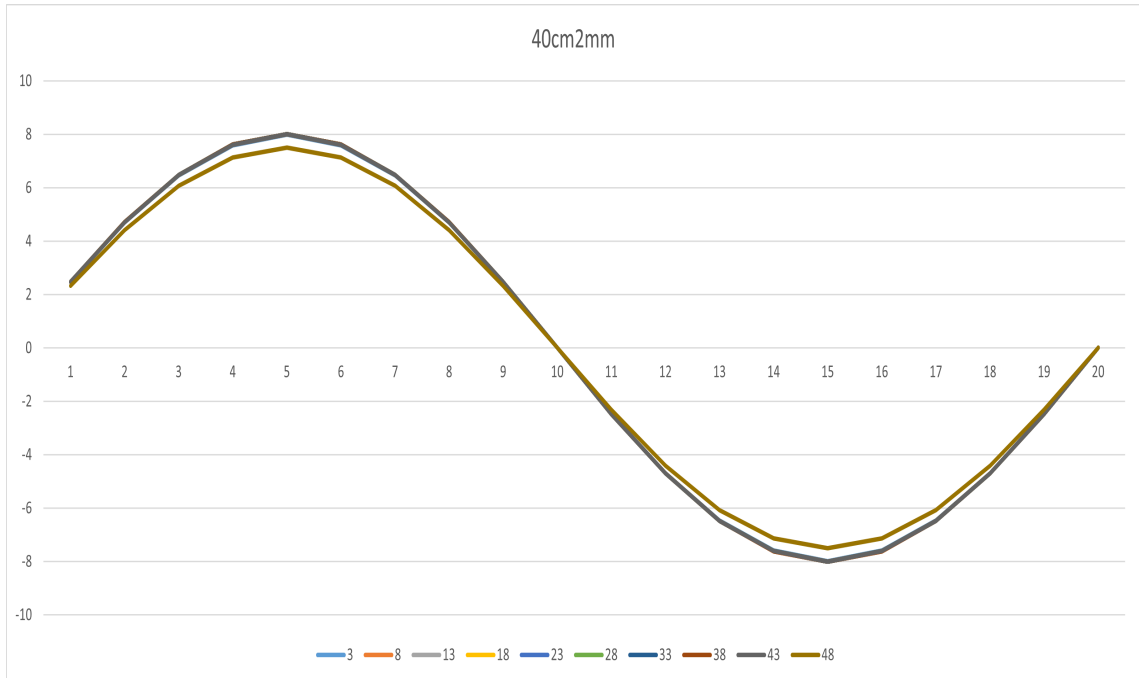


Figura 3.6 Tubo 40cm2mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.4593	4.6779	6.4385	7.5689	7.9584	7.5689	6.4385	4.6779	2.4593	7.22E-12	-2.4593	-4.6779	-6.4385	-7.5689	-7.9584	-7.5689	-6.4385	-4.6779	-2.4593	3.62E-12	7.9584	-7.9584
	8	2.4695	4.6973	6.4653	7.6004	7.9915	7.6004	6.4653	4.6973	2.4695	5.78E-12	-2.4695	-4.6973	-6.4653	-7.6004	-7.9915	-7.6004	-6.4653	-4.6973	-2.4695	3.33E-12	7.9915	-7.9915
	13	2.4703	4.6987	6.4673	7.6027	7.994	7.6027	6.4673	4.6987	2.4703	3.91E-12	-2.4703	-4.6987	-6.4673	-7.6027	-7.994	-7.6027	-6.4673	-4.6987	-2.4703	3.24E-12	7.994	-7.994
	18	2.4703	4.6989	6.4674	7.6029	7.9942	7.6029	6.4674	4.6989	2.4703	4.92E-13	-2.4703	-4.6989	-6.4674	-7.6029	-7.9942	-7.6029	-6.4674	-4.6989	-2.4703	3.41E-12	7.9942	-7.9942
	23	2.4703	4.6989	6.4674	7.6029	7.9942	7.6029	6.4674	4.6989	2.4703	-2.40E-12	-2.4703	-4.6989	-6.4674	-7.6029	-7.9942	-7.6029	-6.4674	-4.6989	-2.4703	3.00E-12	7.9942	-7.9942
	28	2.4703	4.6989	6.4674	7.6029	7.9942	7.6029	6.4674	4.6989	2.4703	-6.00E-12	-2.4703	-4.6989	-6.4674	-7.6029	-7.9942	-7.6029	-6.4674	-4.6989	-2.4703	1.88E-12	7.9942	-7.9942
	33	2.4703	4.6988	6.4674	7.6029	7.9941	7.6029	6.4674	4.6988	2.4703	-7.84E-12	-2.4703	-4.6988	-6.4674	-7.6029	-7.9941	-7.6029	-6.4674	-4.6988	-2.4703	7.03E-13	7.9941	-7.9941
	38	2.4697	4.6977	6.4658	7.601	7.9922	7.601	6.4658	4.6977	2.4697	-1.06E-11	-2.4697	-4.6977	-6.4658	-7.601	-7.9922	-7.601	-6.4658	-4.6977	-2.4697	2.28E-12	7.9922	-7.9922
	43	2.4592	4.6777	6.4382	7.5686	7.9581	7.5686	6.4382	4.6777	2.4592	-1.00E-11	-2.4592	-4.6777	-6.4382	-7.5686	-7.9581	-7.5686	-6.4382	-4.6777	-2.4592	2.72E-12	7.9581	-7.9581
	48	2.2986	4.3723	6.0179	7.0745	7.4386	7.0745	6.0179	4.3723	2.2986	-4.92E-12	-2.2986	-4.3723	-6.0179	-7.0745	-7.4386	-7.0745	-6.0179	-4.3723	-2.2986	2.22E-12	7.4386	-7.4386
																					7.994	-7.994	

Figura 3.7 Resultados numéricos para el tubo 40cm1mm.

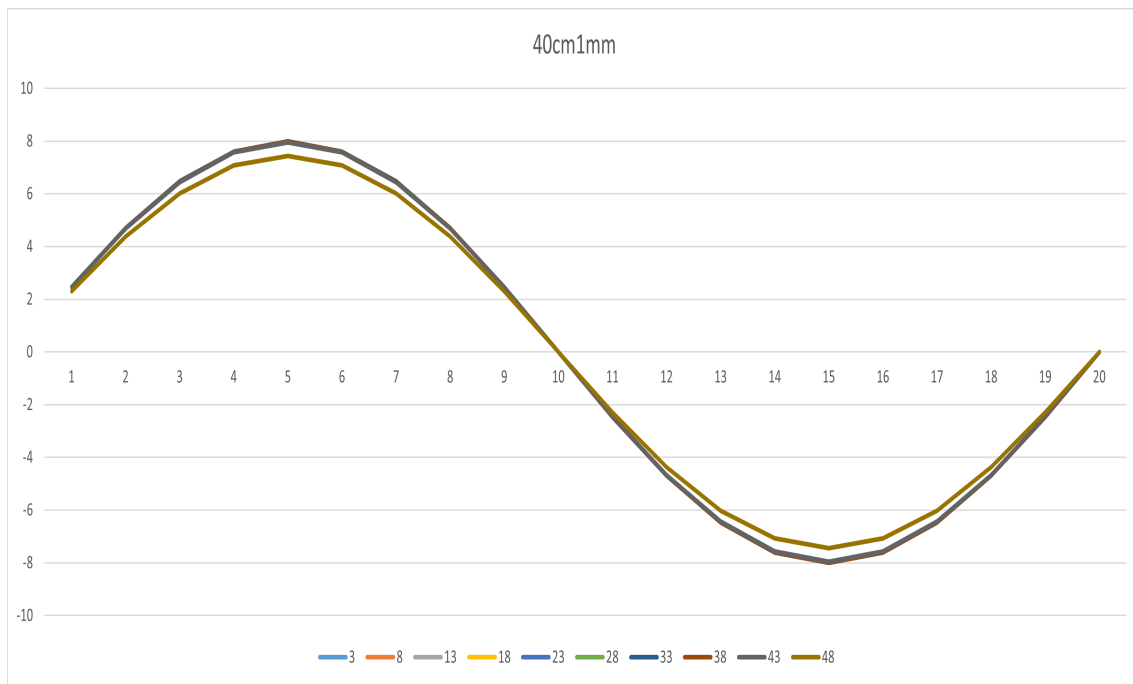


Figura 3.8 Tubo 40cm1mm.

Para este caso, se comprueba fácilmente como los flujos tangenciales en XY solo varían en la última sección, la más cercana a la punta, siendo sus máximos y mínimos menores que en el resto de rebanadas que se analizan, cuyos valores coinciden en todo momento. Además, se aprecia muy poca variación entre diferentes espesores, teniendo el máximo absoluto del flujo en el tubo de mayor espesor como cabría esperar. La diferencia entre los tubos de 3 y 1 milímetros es:

$$\Delta q_{xy_{max}} = \frac{8.0231 - 7.994}{8.0231} \cdot 100 \approx 0.3627\%$$

3.2.2 Modelos 36cm

El conjunto de geometrías de conicidad 0.004 predice unos valores del flujo de tensiones tangenciales cuyas curvas están pegadas unas a otras, por lo que la conicidad es aún pequeña para que se separen. Se presentan diferencias de 1 kN/m entre extremos del cuerpo y unos valores máximos que rondan

Tabla 3.1 Variación del área a lo largo del tronco de cono para los diferentes espesores.

Espesores		
3mm	2mm	1mm
3.7699	2.5133	1.2566

los 8.5 kN/m. El espesor no parece influir en los resultados obtenidos.

		Elemento radial																			Máx.	Min.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.2521	4.2838	5.8961	6.9313	7.288	6.9313	5.8961	4.2838	2.2521	-2.29E-13	-2.2521	-4.2838	-5.8961	-6.9313	-7.288	-6.9313	-5.8961	-4.2838	-2.2521	-1.03E-12	7.288	-7.288
	8	2.297	4.3691	6.0135	7.0693	7.4331	7.0693	6.0135	4.3691	2.297	-1.95E-13	-2.297	-4.3691	-6.0135	-7.0693	-7.4331	-7.0693	-6.0135	-4.3691	-2.297	-1.25E-12	7.4331	-7.4331
	13	2.3441	4.4588	6.137	7.2145	7.5858	7.2145	6.137	4.4588	2.3441	-9.84E-14	-2.3441	-4.4588	-6.137	-7.2145	-7.5858	-7.2145	-6.137	-4.4588	-2.3441	-1.37E-12	7.5858	-7.5858
	18	2.3931	4.552	6.2653	7.3654	7.7444	7.3654	6.2653	4.552	2.3931	-5.34E-13	-2.3931	-4.552	-6.2653	-7.3654	-7.7444	-7.3654	-6.2653	-4.552	-2.3931	-8.96E-13	7.7444	-7.7444
	23	2.4437	4.6482	6.3977	7.521	7.908	7.521	6.3977	4.6482	2.4437	-1.93E-12	-2.4437	-4.6482	-6.3977	-7.521	-7.908	-7.521	-6.3977	-4.6482	-2.4437	-3.23E-13	7.908	-7.908
	28	2.4959	4.7475	6.5344	7.6816	8.0769	7.6816	6.5344	4.7475	2.4959	-8.15E-13	-2.4959	-4.7475	-6.5344	-7.6816	-8.0769	-7.6816	-6.5344	-4.7475	-2.4959	-3.72E-12	8.0769	-8.0769
	33	2.5498	4.85	6.6754	7.8475	8.2513	7.8475	6.6754	4.85	2.5498	-6.11E-13	-2.5498	-4.85	-6.6754	-7.8475	-8.2513	-7.8475	-6.6754	-4.85	-2.5498	-9.77E-13	8.2513	-8.2513
	38	2.6055	4.9559	6.8212	8.0189	8.4315	8.0189	6.8212	4.9559	2.6055	6.81E-13	-2.6055	-4.9559	-6.8212	-8.0189	-8.4315	-8.0189	-6.8212	-4.9559	-2.6055	-2.00E-12	8.4315	-8.4315
	43	2.6656	5.0703	6.9787	8.2039	8.6261	8.2039	6.9787	5.0703	2.6656	5.34E-13	-2.6656	-5.0703	-6.9787	-8.2039	-8.6261	-8.2039	-6.9787	-5.0703	-2.6656	-1.83E-12	8.6261	-8.6261
	48	2.5869	4.9205	6.7726	7.9616	8.3713	7.9616	6.7726	4.9205	2.5869	7.73E-13	-2.5869	-4.9205	-6.7726	-7.9616	-8.3713	-7.9616	-6.7726	-4.9205	-2.5869	1.21E-12	8.3713	-8.3713
																					8.626	-8.626	

Figura 3.9 Resultados numéricos para el tronco de cono 36cm3mm.

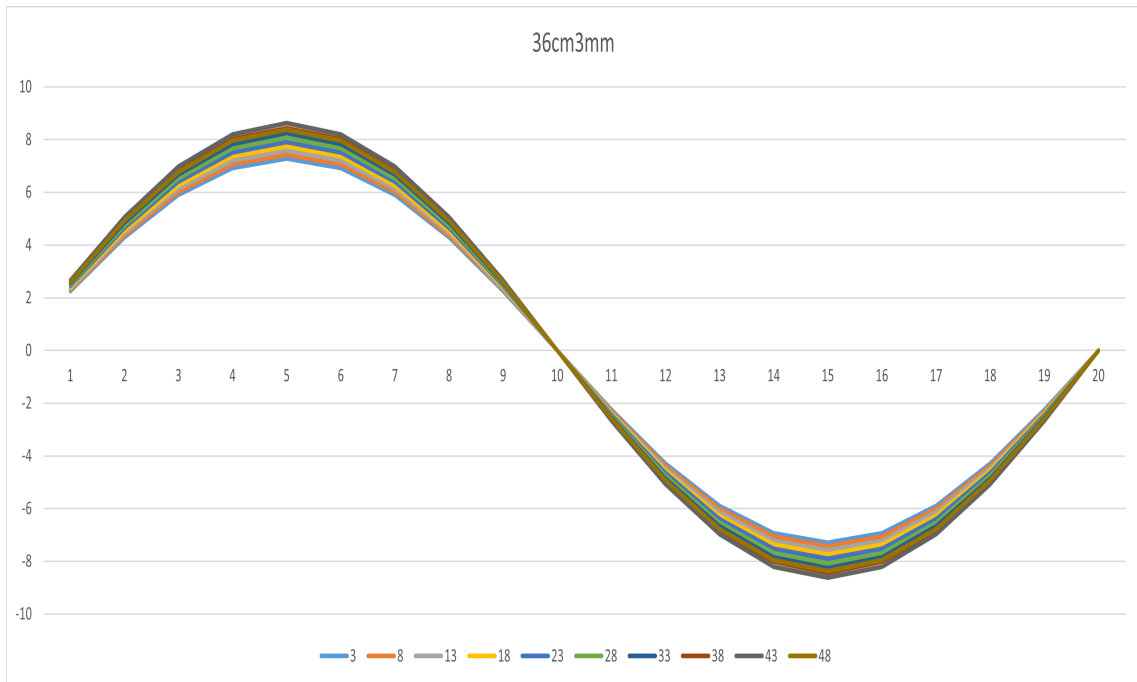


Figura 3.10 Tronco de cono 36cm3mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.2416	4.2639	5.8687	6.8991	7.2541	6.8991	5.8687	4.2639	2.2416	-4.92E-13	-2.2416	-4.2639	-5.8687	-6.8991	-7.2541	-6.8991	-5.8687	-4.2639	-2.2416	-1.17E-12	7.2541	-7.2541
	8	2.2943	4.364	6.0066	7.0612	7.4245	7.0612	6.0066	4.364	2.2943	-3.11E-13	-2.2943	-4.364	-6.0066	-7.0612	-7.4245	-7.0612	-6.0066	-4.364	-2.2943	-1.39E-12	7.4245	-7.4245
	13	2.3414	4.4536	6.1299	7.2061	7.5769	7.2061	6.1299	4.4536	2.3414	-8.85E-13	-2.3414	-4.4536	-6.1299	-7.2061	-7.5769	-7.2061	-6.1299	-4.4536	-2.3414	-7.92E-13	7.5769	-7.5769
	18	2.3903	4.5466	6.2578	7.3565	7.7351	7.3565	6.2578	4.5466	2.3903	-1.38E-12	-2.3903	-4.5466	-6.2578	-7.3565	-7.7351	-7.3565	-6.2578	-4.5466	-2.3903	-1.67E-12	7.7351	-7.7351
	23	2.4407	4.6425	6.3899	7.5118	7.8984	7.5118	6.3899	4.6425	2.4407	-1.85E-12	-2.4407	-4.6425	-6.3899	-7.5118	-7.8984	-7.5118	-6.3899	-4.6425	-2.4407	-7.31E-13	7.8984	-7.8984
	28	2.4928	4.7416	6.5262	7.672	8.0668	7.672	6.5262	4.7416	2.4928	-1.60E-12	-2.4928	-4.7416	-6.5262	-7.672	-8.0668	-7.672	-6.5262	-4.7416	-2.4928	-7.92E-13	8.0668	-8.0668
	33	2.5465	4.8438	6.6669	7.8374	8.2408	7.8374	6.6669	4.8438	2.5465	-1.40E-12	-2.5465	-4.8438	-6.6669	-7.8374	-8.2408	-7.8374	-6.6669	-4.8438	-2.5465	-3.14E-12	8.2408	-8.2408
	38	2.6021	4.9494	6.8123	8.0083	8.4205	8.0083	6.8123	4.9494	2.6021	-3.19E-12	-2.6021	-4.9494	-6.8123	-8.0083	-8.4205	-8.0083	-6.8123	-4.9494	-2.6021	-2.60E-12	8.4205	-8.4205
	43	2.6557	5.0515	6.9528	8.1735	8.5942	8.1735	6.9528	5.0515	2.6557	-3.65E-13	-2.6557	-5.0515	-6.9528	-8.1735	-8.5942	-8.1735	-6.9528	-5.0515	-2.6557	-2.00E-12	8.5942	-8.5942
	48	2.5403	4.832	6.6506	7.8183	8.2206	7.8183	6.6506	4.832	2.5403	6.37E-13	-2.5403	-4.832	-6.6506	-7.8183	-8.2206	-7.8183	-6.6506	-4.832	-2.5403	2.06E-13	8.2206	-8.2206
																					8.594	-8.594	

Figura 3.11 Resultados numéricos para el tronco de cono 36cm2mm.

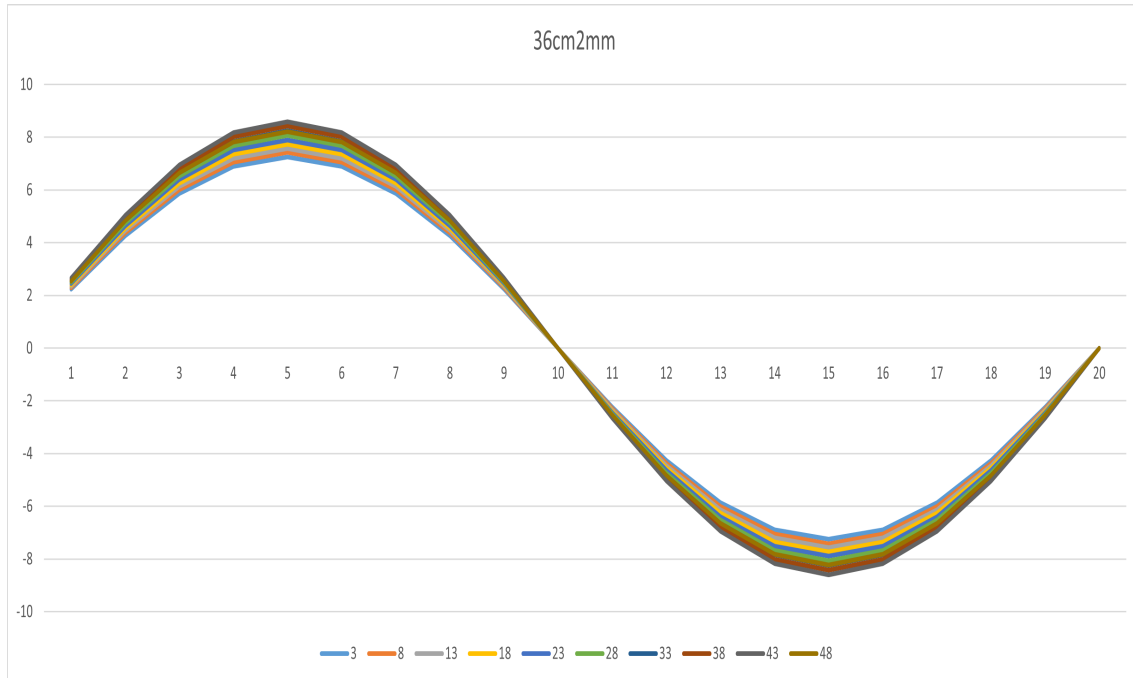


Figura 3.12 Tronco de cono 36cm2mm.

		Elemento radial																			Máx.	Min.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.2346	4.2504	5.8502	6.8773	7.2312	6.8773	5.8502	4.2504	2.2346	-4.32E-13	-2.2346	-4.2504	-5.8502	-6.8773	-7.2312	-6.8773	-5.8502	-4.2504	-2.2346	-2.74E-13	7.2312	-7.2312
	8	2.2905	4.3569	5.9967	7.0495	7.4123	7.0495	5.9967	4.3569	2.2905	-2.72E-13	-2.2905	-4.3569	-5.9967	-7.0495	-7.4123	-7.0495	-5.9967	-4.3569	-2.2905	-1.76E-13	7.4123	-7.4123
	13	2.3386	4.4483	6.1225	7.1975	7.5679	7.1975	6.1225	4.4483	2.3386	-8.76E-13	-2.3386	-4.4483	-6.1225	-7.1975	-7.5679	-7.1975	-6.1225	-4.4483	-2.3386	-9.84E-14	7.5679	-7.5679
	18	2.3874	4.5412	6.2504	7.3478	7.7259	7.3478	6.2504	4.5412	2.3874	-6.56E-13	-2.3874	-4.5412	-6.2504	-7.3478	-7.7259	-7.3478	-6.2504	-4.5412	-2.3874	-9.84E-14	7.7259	-7.7259
	23	2.4378	4.6369	6.3822	7.5027	7.8888	7.5027	6.3822	4.6369	2.4378	-6.84E-13	-2.4378	-4.6369	-6.3822	-7.5027	-7.8888	-7.5027	-6.3822	-4.6369	-2.4378	1.26E-12	7.8888	-7.8888
	28	2.4897	4.7357	6.5181	7.6625	8.0568	7.6625	6.5181	4.7357	2.4897	-9.46E-13	-2.4897	-4.7357	-6.5181	-7.6625	-8.0568	-7.6625	-6.5181	-4.7357	-2.4897	2.62E-13	8.0568	-8.0568
	33	2.5433	4.8377	6.6585	7.8275	8.2303	7.8275	6.6585	4.8377	2.5433	-1.43E-12	-2.5433	-4.8377	-6.6585	-7.8275	-8.2303	-7.8275	-6.6585	-4.8377	-2.5433	2.24E-12	8.2303	-8.2303
	38	2.5982	4.9421	6.8022	7.9964	8.4079	7.9964	6.8022	4.9421	2.5982	2.74E-12	-2.5982	-4.9421	-6.8022	-7.9964	-8.4079	-7.9964	-6.8022	-4.9421	-2.5982	7.40E-13	8.4079	-8.4079
	43	2.6443	5.0297	6.9227	8.1382	8.557	8.1382	6.9227	5.0297	2.6443	-3.26E-12	-2.6443	-5.0297	-6.9227	-8.1382	-8.557	-8.1382	-6.9227	-5.0297	-2.6443	2.15E-12	8.557	-8.557
	48	2.5276	4.8078	6.6174	7.7792	8.1795	7.7792	6.6174	4.8078	2.5276	-2.54E-12	-2.5276	-4.8078	-6.6174	-7.7792	-8.1795	-7.7792	-6.6174	-4.8078	-2.5276	1.47E-12	8.1795	-8.1795
																					8.557	-8.557	

Figura 3.13 Resultados numéricos para el tronco de cono 36cm1mm.

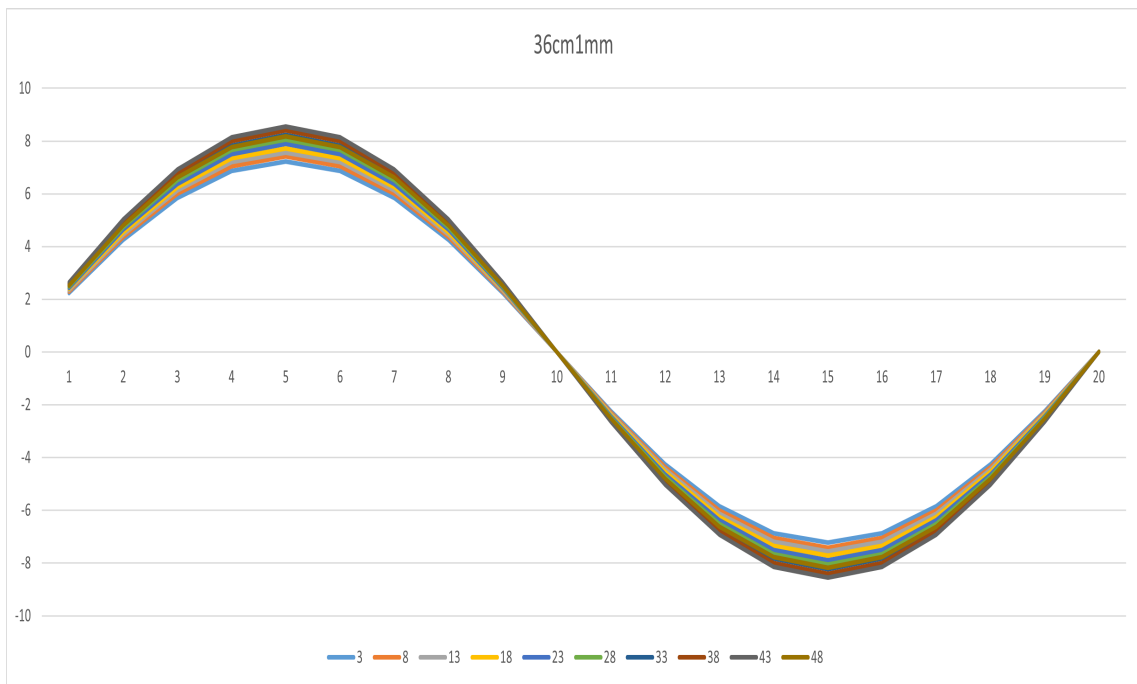


Figura 3.14 Tronco de cono 36cm1mm.

Con respecto al caso anterior, se puede apreciar curvas diferentes para cada sección, haciendo patente la variación de área a lo largo del tronco de cono. Aún así, al ser dicha variación pequeña, las curvas están muy próximas unas a otras, encontrándose la mayor diferencia entre las rebanadas 3 y 43. Además, aunque las variaciones son pequeñas, cabe resaltar que el flujo de tensiones tangenciales crece con la disminución de la sección, que en este caso disminuye desde el empotramiento hasta el extremo donde se aplica la carga. Analizando ahora los valores máximos que presenta el flujo tangencial, la diferencia entre los tubos de 3 y 1 milímetros es:

$$\Delta q_{xy_{max}} = \frac{8.6261 - 8.557}{8.6261} \cdot 100 \approx 0.8011 \%$$

Tabla 3.2 Variación del área a lo largo del tronco de cono para los diferentes espesores.

Espesores		
3mm	2mm	1mm
4.7124	3.1416	1.5708

3.2.3 Modelos 35cm

Los troncos de cono que presentan una conicidad del 0.005 muestran curvas que empiezan a separarse con el fin de captar la variación de área presente al aumentar la conicidad. Entre extremos, existe una diferencia de 1.5 kN/m aproximadamente, mientras que los valores máximos rondan los 8.7 kN/m. Variando el espesor se puede ver como este factor no influye o influye muy poco en los resultados predichos.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.1948	4.1748	5.7461	6.7549	7.1025	6.7549	5.7461	4.1748	2.1948	2.20E-13	-2.1948	-4.1748	-5.7461	-6.7549	-7.1025	-6.7549	-5.7461	-4.1748	-2.1948	-6.50E-14	7.1025	-7.1025
	8	2.2501	4.2799	5.8908	6.925	7.2814	6.925	5.8908	4.2799	2.2501	3.60E-13	-2.2501	-4.2799	-5.8908	-6.925	-7.2814	-6.925	-5.8908	-4.2799	-2.2501	-8.96E-14	7.2814	-7.2814
	13	2.3084	4.3908	6.0434	7.1044	7.47	7.1044	6.0434	4.3908	2.3084	-4.11E-13	-2.3084	-4.3908	-6.0434	-7.1044	-7.47	-7.1044	-6.0434	-4.3908	-2.3084	-9.13E-14	7.47	-7.47
	18	2.3694	4.5068	6.203	7.2921	7.6674	7.2921	6.203	4.5068	2.3694	-1.23E-13	-2.3694	-4.5068	-6.203	-7.2921	-7.6674	-7.2921	-6.203	-4.5068	-2.3694	6.32E-13	7.6674	-7.6674
	23	2.4328	4.6274	6.3691	7.4873	7.8726	7.4873	6.3691	4.6274	2.4328	-7.73E-14	-2.4328	-4.6274	-6.3691	-7.4873	-7.8726	-7.4873	-6.3691	-4.6274	-2.4328	-3.37E-13	7.8726	-7.8726
	28	2.4988	4.753	6.5419	7.6904	8.0862	7.6904	6.5419	4.753	2.4988	2.08E-12	-2.4988	-4.753	-6.5419	-7.6904	-8.0862	-7.6904	-6.5419	-4.753	-2.4988	1.69E-13	8.0862	-8.0862
	33	2.5675	4.8837	6.7218	7.902	8.3086	7.902	6.7218	4.8837	2.5675	5.97E-13	-2.5675	-4.8837	-6.7218	-7.902	-8.3086	-7.902	-6.7218	-4.8837	-2.5675	-7.73E-14	8.3086	-8.3086
	38	2.6392	5.02	6.9094	8.1225	8.5405	8.1225	6.9094	5.02	2.6392	-1.69E-13	-2.6392	-5.02	-6.9094	-8.1225	-8.5405	-8.1225	-6.9094	-5.02	-2.6392	-2.47E-12	8.5405	-8.5405
	43	2.7163	5.1667	7.1114	8.3599	8.7901	8.3599	7.1114	5.1667	2.7163	-4.07E-13	-2.7163	-5.1667	-7.1114	-8.3599	-8.7901	-8.3599	-7.1114	-5.1667	-2.7163	-1.19E-12	8.7901	-8.7901
	48	2.6484	5.0375	6.9336	8.1509	8.5704	8.1509	6.9336	5.0375	2.6484	1.22E-12	-2.6484	-5.0375	-6.9336	-8.1509	-8.5704	-8.1509	-6.9336	-5.0375	-2.6484	-2.07E-12	8.5704	-8.5704
																					8.7901	-8.7901	

Figura 3.15 Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm3mm.

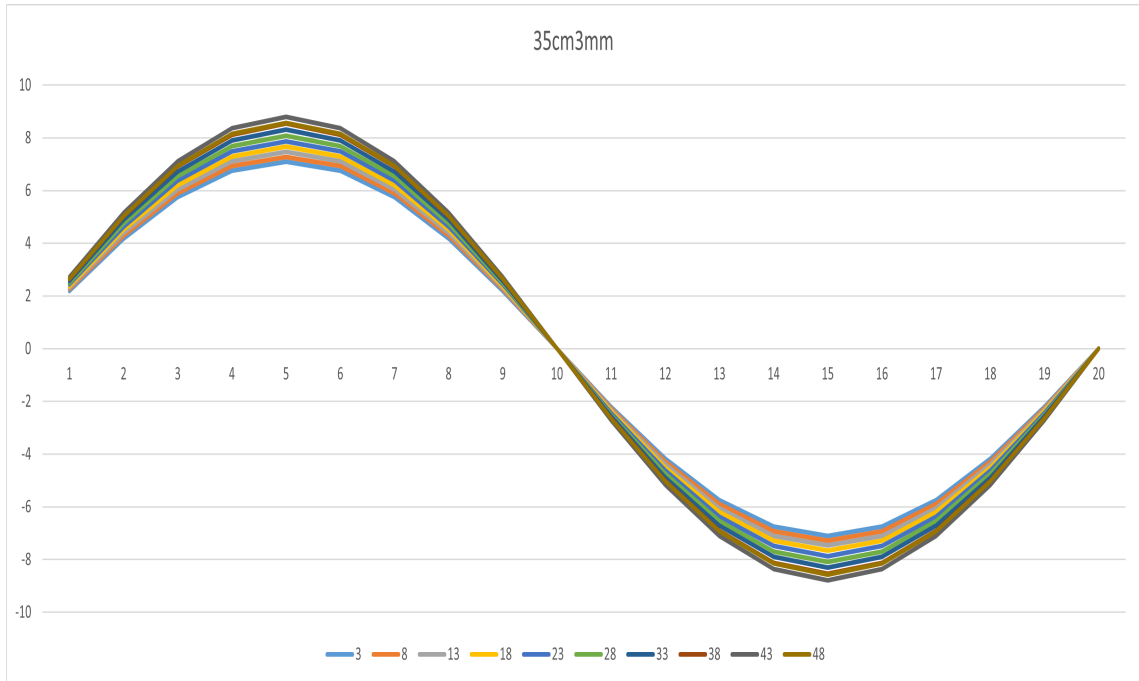


Figura 3.16 Tronco de cono 35cm3mm.

		Elemento radial																				Máx.	Mín.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.1845	4.1553	5.7192	6.7233	7.0693	6.7233	5.7192	4.1553	2.1845	1.08E-12	-2.1845	-4.1553	-5.7192	-6.7233	-7.0693	-6.7233	-5.7192	-4.1553	-2.1845	1.98E-13	7.0693	-7.0693
	8	2.2475	4.2751	5.8841	6.9172	7.2732	6.9172	5.8841	4.2751	2.2475	1.06E-12	-2.2475	-4.2751	-5.8841	-6.9172	-7.2732	-6.9172	-5.8841	-4.2751	-2.2475	2.83E-13	7.2732	-7.2732
	13	2.3057	4.3858	6.0365	7.0963	7.4615	7.0963	6.0365	4.3858	2.3057	8.38E-13	-2.3057	-4.3858	-6.0365	-7.0963	-7.4615	-7.0963	-6.0365	-4.3858	-2.3057	2.81E-13	7.4615	-7.4615
	18	2.3665	4.5014	6.1957	7.2835	7.6583	7.2835	6.1957	4.5014	2.3665	6.70E-13	-2.3665	-4.5014	-6.1957	-7.2835	-7.6583	-7.2835	-6.1957	-4.5014	-2.3665	1.03E-12	7.6583	-7.6583
	23	2.4298	4.6218	6.3613	7.4782	7.863	7.4782	6.3613	4.6218	2.4298	4.64E-13	-2.4298	-4.6218	-6.3613	-7.4782	-7.863	-7.4782	-6.3613	-4.6218	-2.4298	1.86E-12	7.863	-7.863
	28	2.4956	4.747	6.5337	7.6808	8.0761	7.6808	6.5337	4.747	2.4956	1.73E-12	-2.4956	-4.747	-6.5337	-7.6808	-8.0761	-7.6808	-6.5337	-4.747	-2.4956	1.04E-12	8.0761	-8.0761
33	2.5642	4.8774	6.7132	7.8918	8.2979	7.8918	6.7132	4.8774	2.5642	1.80E-12	-2.5642	-4.8774	-6.7132	-7.8918	-8.2979	-7.8918	-6.7132	-4.8774	-2.5642	2.27E-12	8.2979	-8.2979	
38	2.6356	5.0132	6.9001	8.1116	8.529	8.1116	6.9001	5.0132	2.6356	1.17E-12	-2.6356	-5.0132	-6.9001	-8.1116	-8.529	-8.1116	-6.9001	-5.0132	-2.6356	6.84E-13	8.529	-8.529	
43	2.7057	5.1466	7.0837	8.3274	8.756	8.3274	7.0837	5.1466	2.7057	-1.74E-12	-2.7057	-5.1466	-7.0837	-8.3274	-8.756	-8.3274	-7.0837	-5.1466	-2.7057	2.30E-12	8.756	-8.756	
48	2.6026	4.9505	6.8138	8.0101	8.4223	8.0101	6.8138	4.9505	2.6026	-6.46E-13	-2.6026	-4.9505	-6.8138	-8.0101	-8.4223	-8.0101	-6.8138	-4.9505	-2.6026	4.40E-13	8.4223	-8.4223	
																						8.756	-8.756

Figura 3.17 Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm2mm.

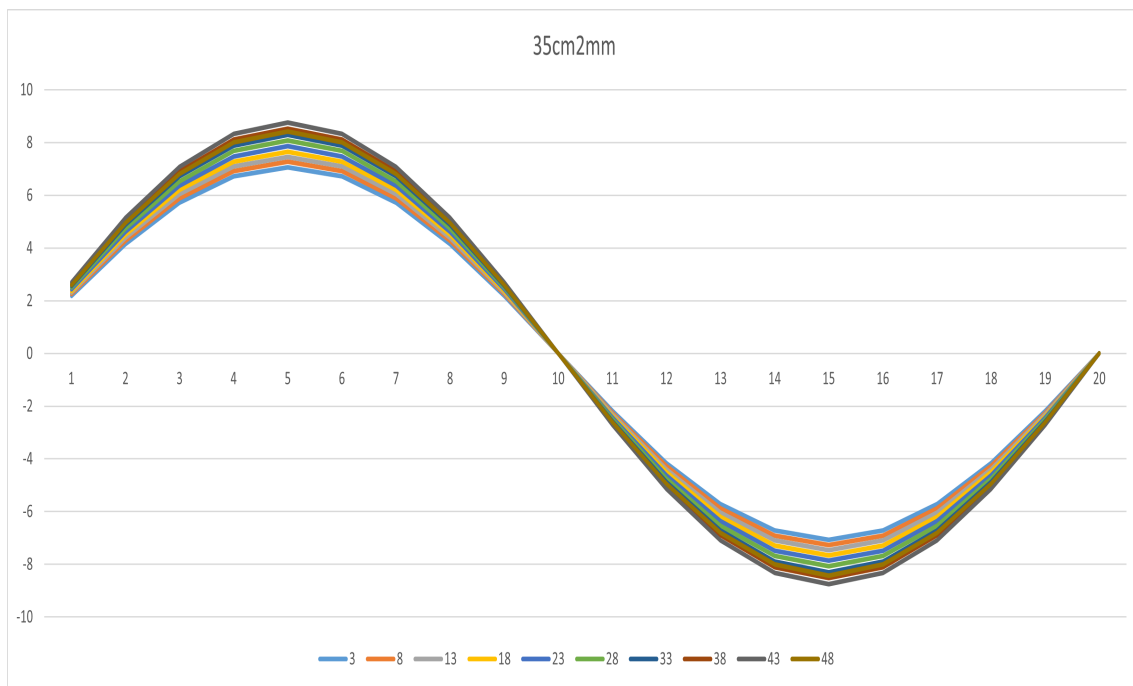


Figura 3.18 Tronco de cono 35cm2mm.

		Elemento radial																			Máx.	Min.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.1777	4.1422	5.7012	6.7022	7.0471	6.7022	5.7012	4.1422	2.1777	-6.41E-13	-2.1777	-4.1422	-5.7012	-6.7022	-7.0471	-6.7022	-5.7012	-4.1422	-2.1777	-1.21E-12	7.0471	-7.0471
	8	2.2439	4.2681	5.8746	6.906	7.2614	6.906	5.8746	4.2681	2.2439	-4.43E-13	-2.2439	-4.2681	-5.8746	-6.906	-7.2614	-6.906	-5.8746	-4.2681	-2.2439	-9.93E-13	7.2614	-7.2614
	13	2.303	4.3806	6.0294	7.088	7.4528	7.088	6.0294	4.3806	2.303	8.48E-13	-2.303	-4.3806	-6.0294	-7.088	-7.4528	-7.088	-6.0294	-4.3806	-2.303	-1.71E-12	7.4528	-7.4528
	18	2.3638	4.4962	6.1884	7.275	7.6493	7.275	6.1884	4.4962	2.3638	-5.06E-13	-2.3638	-4.4962	-6.1884	-7.275	-7.6493	-7.275	-6.1884	-4.4962	-2.3638	-1.42E-12	7.6493	-7.6493
	23	2.4269	4.6162	6.3537	7.4692	7.8536	7.4692	6.3537	4.6162	2.4269	-7.68E-13	-2.4269	-4.6162	-6.3537	-7.4692	-7.8536	-7.4692	-6.3537	-4.6162	-2.4269	-1.20E-12	7.8536	-7.8536
	28	2.4926	4.7411	6.5256	7.6713	8.0661	7.6713	6.5256	4.7411	2.4926	-2.64E-12	-2.4926	-4.7411	-6.5256	-7.6713	-8.0661	-7.6713	-6.5256	-4.7411	-2.4926	-3.30E-12	8.0661	-8.0661
	33	2.5609	4.8712	6.7046	7.8818	8.2874	7.8818	6.7046	4.8712	2.5609	-3.62E-12	-2.5609	-4.8712	-6.7046	-7.8818	-8.2874	-7.8818	-6.7046	-4.8712	-2.5609	-1.39E-12	8.2874	-8.2874
	38	2.6318	5.0059	6.8901	8.0997	8.5166	8.0997	6.8901	5.0059	2.6318	-2.50E-12	-2.6318	-5.0059	-6.8901	-8.0997	-8.5166	-8.0997	-6.8901	-5.0059	-2.6318	-1.91E-12	8.5166	-8.5166
	43	2.6948	5.1259	7.0551	8.2938	8.7206	8.2938	7.0551	5.1259	2.6948	1.08E-12	-2.6948	-5.1259	-7.0551	-8.2938	-8.7206	-8.2938	-7.0551	-5.1259	-2.6948	7.49E-14	8.7206	-8.7206
	48	2.5923	4.9308	6.7867	7.9782	8.3888	7.9782	6.7867	4.9308	2.5923	7.21E-13	-2.5923	-4.9308	-6.7867	-7.9782	-8.3888	-7.9782	-6.7867	-4.9308	-2.5923	-1.19E-12	8.3888	-8.3888
																					8.721	-8.721	

Figura 3.19 Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm1mm.

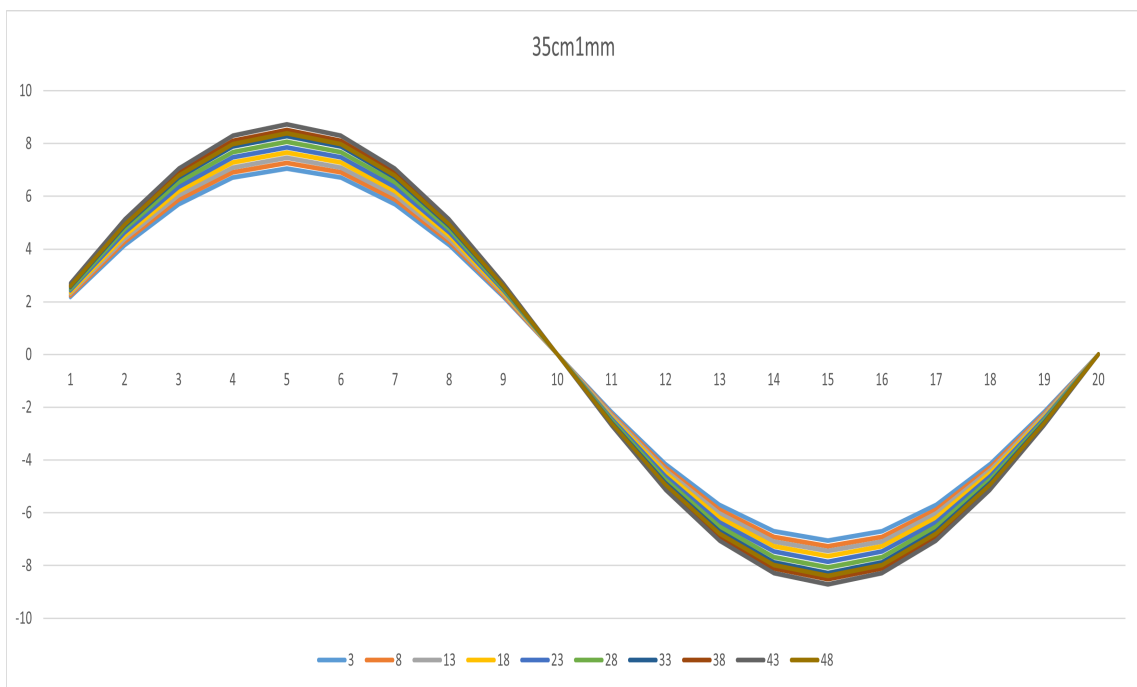


Figura 3.20 Tronco de cono 35cm1mm.

De nuevo, el incremento en la variación del área a lo largo de la longitud del cuerpo provoca una mayor diferencia en el flujo tangencial para las diferentes rebanadas, siendo ahora apreciable el hueco entre cada curva. La tendencia es la misma que la comentada en el apartado anterior. El flujo crece con la disminución de la sección y las variaciones se incrementan con la conicidad. Analizando ahora los valores máximos que presenta el flujo tangencial, la diferencia entre los tubos de 3 y 1 milímetros es:

$$\Delta q_{xy\max} = \frac{8.7901 - 8.7206}{8.7901} \cdot 100 \approx 0.7907\%$$

3.2.4 Modelos 30cm

Para los cuerpos de conicidad 0.01 se empiezan a separar las curvas de los flujos de tensiones tangenciales para cada rebanada, sobre todo en aquellas rebanadas más cercanas al extremo de

Tabla 3.3 Variación del área a lo largo del tronco de cono para los diferentes espesores.

Espesores		
3mm	2mm	1mm
9.4248	6.2832	13.1416

aplicación de la carga. Entre ambos extremos aparecen diferencias de unos 4 kN/m aproximadamente, mientras que los valores máximos se sitúan en torno a los 9.7 kN/m. El espesor, como casos anteriores, no parece afectar a los valores obtenidos.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	1.9038	3.6212	4.9841	5.8592	6.1607	5.8592	4.9841	3.6212	1.9038	-6.14E-13	-1.9038	-3.6212	-4.9841	-5.8592	-6.1607	-5.8592	-4.9841	-3.6212	-1.9038	2.92E-13	6.1607	-6.1607
	8	2.0035	3.8109	5.2453	6.1662	6.4836	6.1662	5.2453	3.8109	2.0035	-6.45E-13	-2.0035	-3.8109	-5.2453	-6.1662	-6.4836	-6.1662	-5.2453	-3.8109	-2.0035	3.32E-13	6.4836	-6.4836
	13	2.1118	4.017	5.5289	6.4996	6.8341	6.4996	5.5289	4.017	2.1118	-3.76E-13	-2.1118	-4.017	-5.5289	-6.4996	-6.8341	-6.4996	-5.5289	-4.017	-2.1118	4.95E-13	6.8341	-6.8341
	18	2.2296	4.241	5.8372	6.8621	7.2152	6.8621	5.8372	4.241	2.2296	-4.18E-13	-2.2296	-4.241	-5.8372	-6.8621	-7.2152	-6.8621	-5.8372	-4.241	-2.2296	2.95E-13	7.2152	-7.2152
	23	2.3575	4.4843	6.1721	7.2557	7.6291	7.2557	6.1721	4.4843	2.3575	-9.77E-13	-2.3575	-4.4843	-6.1721	-7.2557	-7.6291	-7.2557	-6.1721	-4.4843	-2.3575	7.80E-13	7.6291	-7.6291
	28	2.4968	4.7491	6.5366	7.6842	8.0797	7.6842	6.5366	4.7491	2.4968	1.28E-12	-2.4968	-4.7491	-6.5366	-7.6842	-8.0797	-7.6842	-6.5366	-4.7491	-2.4968	8.64E-13	8.0797	-8.0797
	33	2.6487	5.0381	6.9344	8.1519	8.5714	8.1519	6.9344	5.0381	2.6487	1.22E-12	-2.6487	-5.0381	-6.9344	-8.1519	-8.5714	-8.1519	-6.9344	-5.0381	-2.6487	3.37E-13	8.5714	-8.5714
	38	2.8151	5.3546	7.37	8.664	9.1098	8.664	7.37	5.3546	2.8151	1.40E-12	-2.8151	-5.3546	-7.37	-8.664	-9.1098	-8.664	-7.37	-5.3546	-2.8151	-2.63E-12	9.1098	-9.1098
	43	2.9983	5.7032	7.8498	9.2279	9.7028	9.2279	7.8498	5.7032	2.9983	1.43E-12	-2.9983	-5.7032	-7.8498	-9.2279	-9.7028	-9.2279	-7.8498	-5.7032	-2.9983	-1.05E-13	9.7028	-9.7028
	48	3.0098	5.7249	7.8797	9.2632	9.7399	9.2632	7.8797	5.7249	3.0098	-2.53E-13	-3.0098	-5.7249	-7.8797	-9.2632	-9.7399	-9.2632	-7.8797	-5.7249	-3.0098	-1.57E-12	9.7399	-9.7399
																					9.74	-9.74	

Figura 3.21 Resultados numéricos para el tronco de cono 30cm3mm.

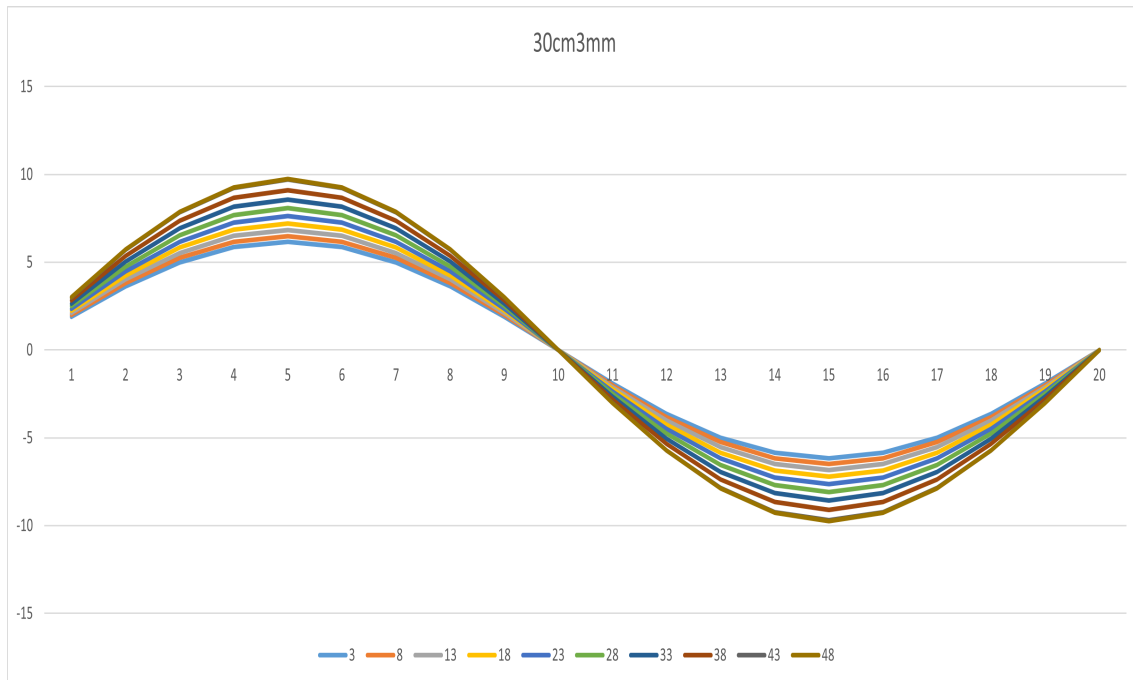


Figura 3.22 Tronco de cono 30cm3mm.

		Elemento radial																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Máx.	Min.
Rebanada	3	1.8946	3.6037	4.96	5.8309	6.1309	5.8309	4.96	3.6037	1.8946	4.85E-13	-1.8946	-3.6037	-4.96	-5.8309	-6.1309	-5.8309	-4.96	-3.6037	-1.8946	5.95E-13	6.1309	-6.1309
	8	2.0016	3.8073	5.2403	6.1603	6.4774	6.1603	5.2403	3.8073	2.0016	4.36E-13	-2.0016	-3.8073	-5.2403	-6.1603	-6.4774	-6.1603	-5.2403	-3.8073	-2.0016	7.49E-13	6.4774	-6.4774
	13	2.1098	4.013	5.5234	6.4932	6.8273	6.4932	5.5234	4.013	2.1098	4.96E-13	-2.1098	-4.013	-5.5234	-6.4932	-6.8273	-6.4932	-5.5234	-4.013	-2.1098	1.34E-12	6.8273	-6.8273
	18	2.2272	4.2365	5.831	6.8547	7.2075	6.8547	5.831	4.2365	2.2272	1.10E-12	-2.2272	-4.2365	-5.831	-6.8547	-7.2075	-6.8547	-5.831	-4.2365	-2.2272	5.15E-14	7.2075	-7.2075
	23	2.3548	4.4791	6.165	7.2474	7.6204	7.2474	6.165	4.4791	2.3548	8.57E-13	-2.3548	-4.4791	-6.165	-7.2474	-7.6204	-7.2474	-6.165	-4.4791	-2.3548	6.14E-13	7.6204	-7.6204
	28	2.4937	4.7433	6.5286	7.6748	8.0698	7.6748	6.5286	4.7433	2.4937	-2.44E-12	-2.4937	-4.7433	-6.5286	-7.6748	-8.0698	-7.6748	-6.5286	-4.7433	-2.4937	4.31E-13	8.0698	-8.0698
	33	2.6452	5.0315	6.9253	8.1412	8.5601	8.1412	6.9253	5.0315	2.6452	-1.06E-12	-2.6452	-5.0315	-6.9253	-8.1412	-8.5601	-8.1412	-6.9253	-5.0315	-2.6452	7.68E-13	8.5601	-8.5601
	38	2.8108	5.3464	7.3587	8.6507	9.0959	8.6507	7.3587	5.3464	2.8108	-3.56E-13	-2.8108	-5.3464	-7.3587	-8.6507	-9.0959	-8.6507	-7.3587	-5.3464	-2.8108	-8.90E-13	9.0959	-9.0959
	43	2.9843	5.6766	7.8131	9.1849	9.6575	9.1849	7.8131	5.6766	2.9843	3.28E-13	-2.9843	-5.6766	-7.8131	-9.1849	-9.6575	-9.1849	-7.8131	-5.6766	-2.9843	-1.98E-12	9.6575	-9.6575
	48	2.9698	5.6488	7.775	9.14	9.6104	9.14	7.775	5.6488	2.9698	-1.43E-12	-2.9698	-5.6488	-7.775	-9.14	-9.6104	-9.14	-7.775	-5.6488	-2.9698	2.54E-12	9.6104	-9.6104
																					9.6575	-9.6575	

Figura 3.23 Resultados numéricos para el tronco de cono 30cm2mm.

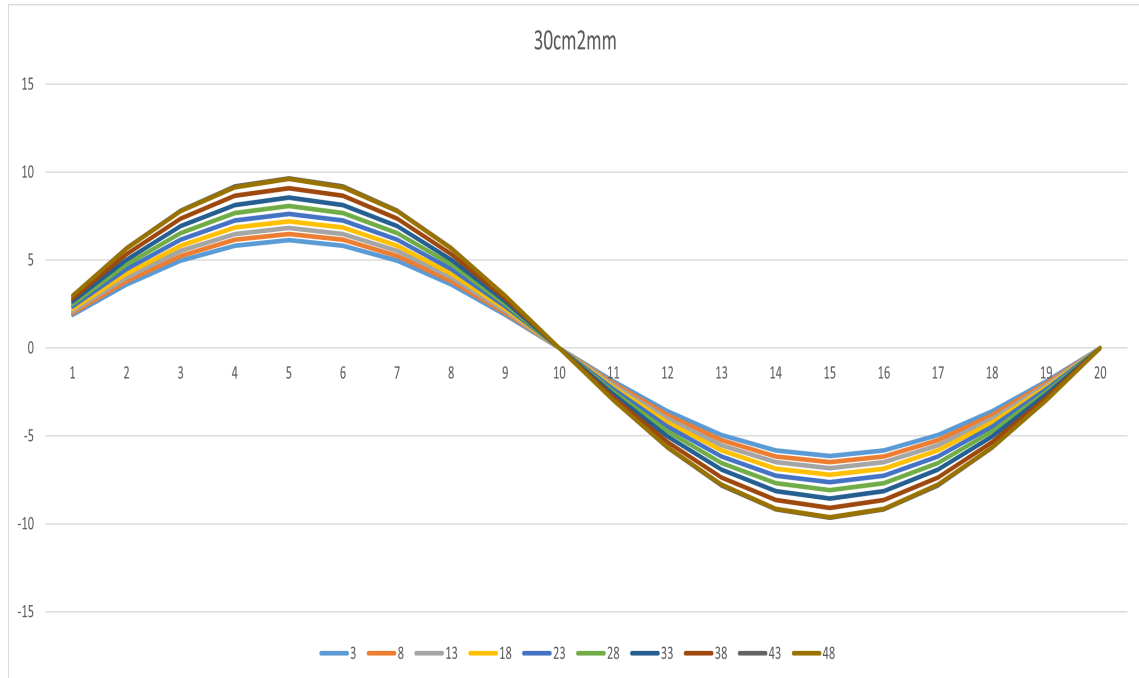


Figura 3.24 Tronco de cono 30cm2mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	1.8887	3.5924	4.9446	5.8127	6.1118	5.8127	4.9446	3.5924	1.8887	-4.92E-14	-1.8887	-3.5924	-4.9446	-5.8127	-6.1118	-5.8127	-4.9446	-3.5924	-1.8887	-3.82E-13	6.1118	-6.1118
	8	1.9986	3.8016	5.2324	6.1511	6.4676	6.1511	5.2324	3.8016	1.9986	3.04E-14	-1.9986	-3.8016	-5.2324	-6.1511	-6.4676	-6.1511	-5.2324	-3.8016	-1.9986	-4.10E-13	6.4676	-6.4676
	13	2.1076	4.0089	5.5178	6.4865	6.8203	6.4865	5.5178	4.0089	2.1076	6.98E-13	-2.1076	-4.0089	-5.5178	-6.4865	-6.8203	-6.4865	-5.5178	-4.0089	-2.1076	-1.69E-13	6.8203	-6.8203
	18	2.2249	4.232	5.8248	6.8475	7.1998	6.8475	5.8248	4.232	2.2249	-2.34E-13	-2.2249	-4.232	-5.8248	-6.8475	-7.1998	-6.8475	-5.8248	-4.232	-2.2249	-1.04E-12	7.1998	-7.1998
	23	2.3521	4.4741	6.158	7.2392	7.6117	7.2392	6.158	4.4741	2.3521	-8.24E-13	-2.3521	-4.4741	-6.158	-7.2392	-7.6117	-7.2392	-6.158	-4.4741	-2.3521	6.09E-14	7.6117	-7.6117
	28	2.4907	4.7375	6.5207	7.6655	8.06	7.6655	6.5207	4.7375	2.4907	-1.56E-12	-2.4907	-4.7375	-6.5207	-7.6655	-8.06	-7.6655	-6.5207	-4.7375	-2.4907	1.18E-12	8.06	-8.06
	33	2.6419	5.0252	6.9166	8.131	8.5494	8.131	6.9166	5.0252	2.6419	6.09E-13	-2.6419	-5.0252	-6.9166	-8.131	-8.5494	-8.131	-6.9166	-5.0252	-2.6419	-1.89E-12	8.5494	-8.5494
	38	2.8075	5.3401	7.35	8.6404	9.0851	8.6404	7.35	5.3401	2.8075	-1.43E-12	-2.8075	-5.3401	-7.35	-8.6404	-9.0851	-8.6404	-7.35	-5.3401	-2.8075	-2.56E-12	9.0851	-9.0851
	43	2.9783	5.6651	7.7973	9.1663	9.638	9.1663	7.7973	5.6651	2.9783	-1.26E-12	-2.9783	-5.6651	-7.7973	-9.1663	-9.638	-9.1663	-7.7973	-5.6651	-2.9783	-2.47E-12	9.638	-9.638
	48	2.9734	5.6557	7.7844	9.1511	9.622	9.1511	7.7844	5.6557	2.9734	-3.64E-12	-2.9734	-5.6557	-7.7844	-9.1511	-9.622	-9.1511	-7.7844	-5.6557	-2.9734	1.24E-12	9.622	-9.622
																					9.638	-9.638	

Figura 3.25 Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm1mm.

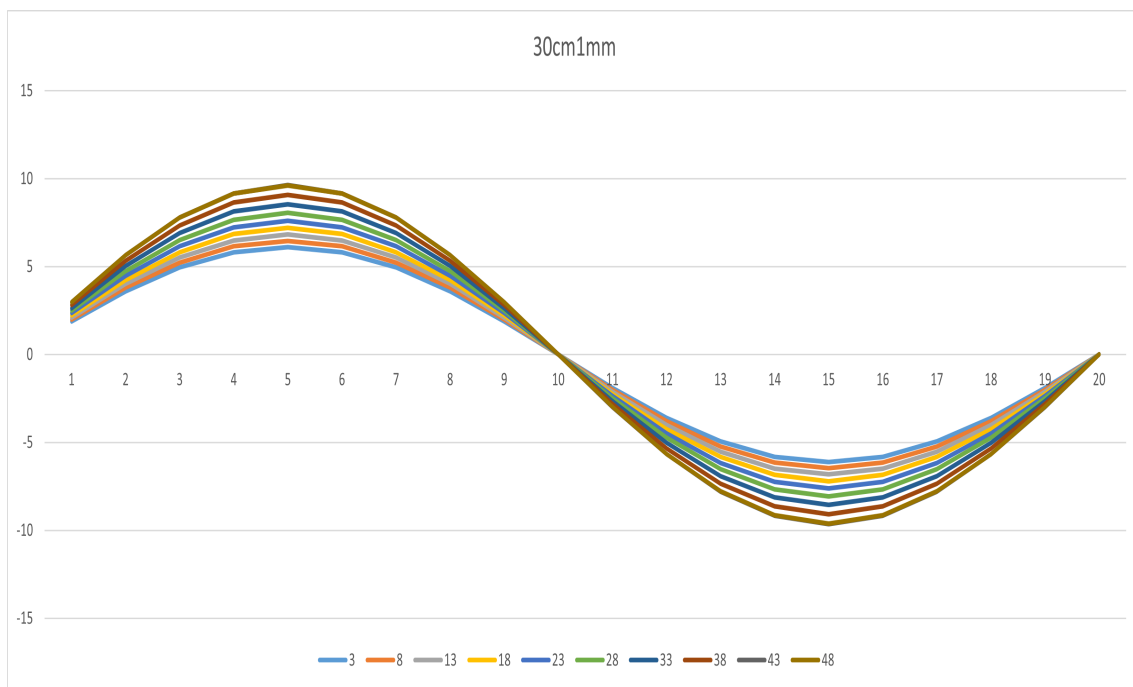


Figura 3.26 Tronco de cono 30cm1mm.

La tendencia es la misma que la comentada en el apartados anteriores. El flujo crece con la disminución de la sección y las variaciones se incrementan con la conicidad. Parece que la tendencia se mantiene con el aumento de la conicidad y, por consiguiente, la reducción del área que conlleva. Las curvas ahora se separan más y el pico llega a crecer hasta casi los 10 kN/m. Analizando ahora los valores máximos que presenta el flujo tangencial, la diferencia entre los tubos de 3 y 1 milímetros es:

$$\Delta q_{xy_{max}} = \frac{9.7400 - 9.6380}{9.7400} \cdot 100 \approx 1.0472 \%$$

3.2.5 Modelos 25cm

Esta gama de troncos de cono correspondientes a conicidad 0.015 presenta curvas de flujos de tensiones tangenciales por rebanada que se separan entre ellas, habiendo diferencias de hasta 6 kN/m entre ambos extremos. La influencia de la variación de área es clara y se obtienen valores

Tabla 3.4 Variación del área a lo largo del tronco de cono para los diferentes espesores.

Espesores		
3mm	2mm	1mm
14.1372	9.4248	4.7124

máximos que rondan los 11.3 kN/m. Con la variación del espesor, no parece que haya cambios significativos de los valores que se obtienen.

		Elemento radial																				Máx.	Min.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	1.6051	3.0531	4.2022	4.94	5.1942	4.94	4.2022	3.0531	1.6051	2.64E-13	-1.6051	-3.0531	-4.2022	-4.94	-5.1942	-4.94	-4.2022	-3.0531	-1.6051	-7.55E-14	5.1942	-5.1942
	8	1.7353	3.3008	4.5432	5.3408	5.6157	5.3408	4.5432	3.3008	1.7353	4.81E-13	-1.7353	-3.3008	-4.5432	-5.3408	-5.6157	-5.3408	-4.5432	-3.3008	-1.7353	-2.11E-14	5.6157	-5.6157
	13	1.8821	3.58	4.9274	5.7925	6.0906	5.7925	4.9274	3.58	1.8821	6.25E-13	-1.8821	-3.58	-4.9274	-5.7925	-6.0906	-5.7925	-4.9274	-3.58	-1.8821	-8.08E-14	6.0906	-6.0906
	18	2.0488	3.897	5.3638	6.3055	6.63	6.3055	5.3638	3.897	2.0488	8.99E-13	-2.0488	-3.897	-5.3638	-6.3055	-6.63	-6.3055	-5.3638	-3.897	-2.0488	6.67E-13	6.63	-6.63
	23	2.2387	4.2582	5.8609	6.8899	7.2444	6.8899	5.8609	4.2582	2.2387	2.28E-12	-2.2387	-4.2582	-5.8609	-6.8899	-7.2444	-6.8899	-5.8609	-4.2582	-2.2387	9.84E-13	7.2444	-7.2444
	28	2.4562	4.6719	6.4304	7.5594	7.9484	7.5594	6.4304	4.6719	2.4562	1.50E-12	-2.4562	-4.6719	-6.4304	-7.5594	-7.9484	-7.5594	-6.4304	-4.6719	-2.4562	2.46E-13	7.9484	-7.9484
	33	2.707	5.1491	7.0871	8.3314	8.7602	8.3314	7.0871	5.1491	2.707	1.37E-12	-2.707	-5.1491	-7.0871	-8.3314	-8.7602	-8.3314	-7.0871	-5.1491	-2.707	4.22E-14	8.7602	-8.7602
	38	2.9985	5.7035	7.8502	9.2285	9.7034	9.2285	7.8502	5.7035	2.9985	1.85E-12	-2.9985	-5.7035	-7.8502	-9.2285	-9.7034	-9.2285	-7.8502	-5.7035	-2.9985	1.41E-14	9.7034	-9.7034
	43	3.3365	6.3463	8.735	10.269	10.797	10.269	8.735	6.3463	3.3365	8.71E-13	-3.3365	-6.3463	-8.735	-10.269	-10.797	-10.269	-8.735	-6.3463	-3.3365	9.70E-13	10.797	-10.797
	48	3.4951	6.6481	9.1504	10.757	11.31	10.757	9.1504	6.6481	3.4951	3.12E-12	-3.4951	-6.6481	-9.1504	-10.757	-11.31	-10.757	-9.1504	-6.6481	-3.4951	-2.05E-12	11.31	-11.31
																						11.31	-11.31

Figura 3.27 Resultados numéricos para el tronco de cono 25cm3mm.

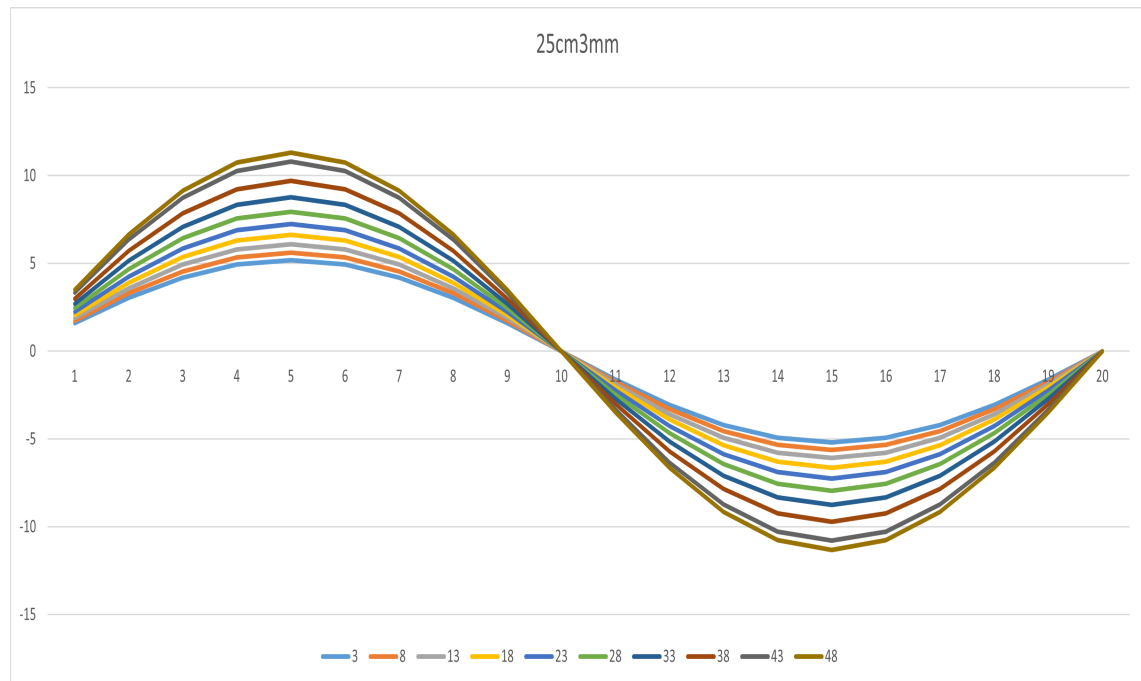


Figura 3.28 Tronco de cono 25cm3mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	1.597	3.0376	4.1809	4.915	5.1679	4.915	4.1809	3.0376	1.597	-6.39E-13	-1.597	-3.0376	-4.1809	-4.915	-5.1679	-4.915	-4.1809	-3.0376	-1.597	-8.95E-13	5.1679	-5.1679
	8	1.7341	3.2985	4.54	5.3371	5.6117	5.3371	4.54	3.2985	1.7341	-6.11E-13	-1.7341	-3.2985	-4.54	-5.3371	-5.6117	-5.3371	-4.54	-3.2985	-1.7341	-1.00E-12	5.6117	-5.6117
	13	1.8807	3.5773	4.9237	5.7882	6.0861	5.7882	4.9237	3.5773	1.8807	-6.65E-13	-1.8807	-3.5773	-4.9237	-5.7882	-6.0861	-5.7882	-4.9237	-3.5773	-1.8807	-8.48E-13	6.0861	-6.0861
	18	2.047	3.8936	5.3591	6.3	6.6242	6.3	5.3591	3.8936	2.047	-8.62E-13	-2.047	-3.8936	-5.3591	-6.3	-6.6242	-6.3	-5.3591	-3.8936	-2.047	-1.05E-12	6.6242	-6.6242
	23	2.2364	4.2539	5.855	6.8829	7.2372	6.8829	5.855	4.2539	2.2364	-2.46E-12	-2.2364	-4.2539	-5.855	-6.8829	-7.2372	-6.8829	-5.855	-4.2539	-2.2364	-1.15E-12	7.2372	-7.2372
	28	2.4534	4.6666	6.423	7.5507	7.9393	7.5507	6.423	4.6666	2.4534	-3.56E-13	-2.4534	-4.6666	-6.423	-7.5507	-7.9393	-7.5507	-6.423	-4.6666	-2.4534	-1.45E-12	7.9393	-7.9393
	33	2.7035	5.1423	7.0778	8.3205	8.7486	8.3205	7.0778	5.1423	2.7035	-1.57E-12	-2.7035	-5.1423	-7.0778	-8.3205	-8.7486	-8.3205	-7.0778	-5.1423	-2.7035	-1.70E-12	8.7486	-8.7486
	38	2.9933	5.6936	7.8366	9.2125	9.6866	9.2125	7.8366	5.6936	2.9933	-1.90E-12	-2.9933	-5.6936	-7.8366	-9.2125	-9.6866	-9.2125	-7.8366	-5.6936	-2.9933	6.46E-13	9.6866	-9.6866
	43	3.32	6.3149	8.6918	10.218	10.744	10.218	8.6918	6.3149	3.32	-6.65E-13	-3.32	-6.3149	-8.6918	-10.218	-10.744	-10.218	-8.6918	-6.3149	-3.32	-3.00E-13	10.744	-10.744
	48	3.4644	6.5897	9.0699	10.662	11.211	10.662	9.0699	6.5897	3.4644	3.00E-13	-3.4644	-6.5897	-9.0699	-10.662	-11.211	-10.662	-9.0699	-6.5897	-3.4644	3.84E-13	11.211	-11.211
																					11.21	-11.21	

Figura 3.29 Resultados numéricos para el tronco de cono 25cm2mm.

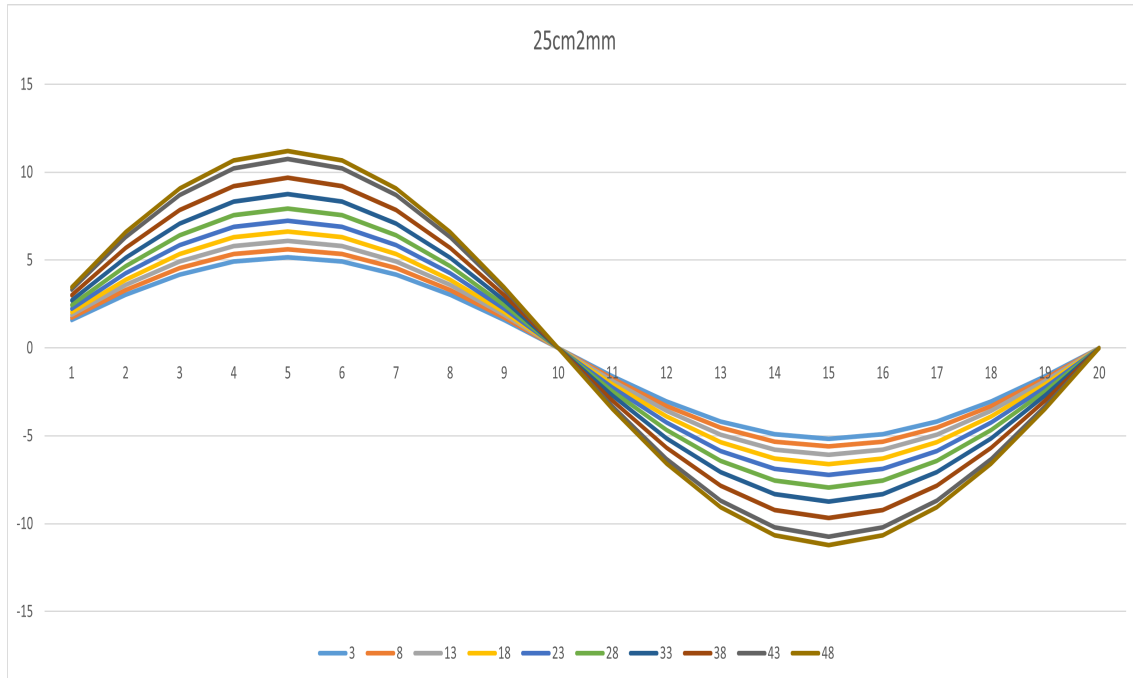


Figura 3.30 Tronco de cono 25cm2mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
Rebanada	3	1.5921	3.0283	4.1681	4.8999	5.1521	4.8999	4.1681	3.0283	1.5921	-1.22E-12	-1.5921	-3.0283	-4.1681	-4.8999	-5.1521	-4.8999	-4.1681	-3.0283	-1.5921	-1.04E-12	5.1521	-5.1521
	8	1.7318	3.2942	4.534	5.3301	5.6044	5.3301	4.534	3.2942	1.7318	-1.68E-12	-1.7318	-3.2942	-4.534	-5.3301	-5.6044	-5.3301	-4.534	-3.2942	-1.7318	-9.06E-13	5.6044	-5.6044
	13	1.8792	3.5745	4.9198	5.7836	6.0812	5.7836	4.9198	3.5745	1.8792	-1.69E-12	-1.8792	-3.5745	-4.9198	-5.7836	-6.0812	-5.7836	-4.9198	-3.5745	-1.8792	-1.98E-12	6.0812	-6.0812
	18	2.0452	3.8903	5.3545	6.2946	6.6185	6.2946	5.3545	3.8903	2.0452	-9.13E-13	-2.0452	-3.8903	-5.3545	-6.2946	-6.6185	-6.2946	-5.3545	-3.8903	-2.0452	-9.46E-13	6.6185	-6.6185
	23	2.2342	4.2497	5.8492	6.8761	7.23	6.8761	5.8492	4.2497	2.2342	-1.50E-13	-2.2342	-4.2497	-5.8492	-6.8761	-7.23	-6.8761	-5.8492	-4.2497	-2.2342	-2.36E-12	7.23	-7.23
	28	2.4506	4.6613	6.4158	7.5422	7.9303	7.5422	6.4158	4.6613	2.4506	-2.51E-12	-2.4506	-4.6613	-6.4158	-7.5422	-7.9303	-7.5422	-6.4158	-4.6613	-2.4506	-1.04E-12	7.9303	-7.9303
	33	2.7003	5.1363	7.0695	8.3107	8.7384	8.3107	7.0695	5.1363	2.7003	-1.70E-12	-2.7003	-5.1363	-7.0695	-8.3107	-8.7384	-8.3107	-7.0695	-5.1363	-2.7003	-2.13E-12	8.7384	-8.7384
	38	2.9915	5.6902	7.8319	9.207	9.6808	9.207	7.8319	5.6902	2.9915	-5.28E-12	-2.9915	-5.6902	-7.8319	-9.207	-9.6808	-9.207	-7.8319	-5.6902	-2.9915	-4.68E-14	9.6808	-9.6808
	43	3.3234	6.3215	8.7008	10.228	10.755	10.228	8.7008	6.3215	3.3234	-3.46E-12	-3.3234	-6.3215	-8.7008	-10.228	-10.755	-10.228	-8.7008	-6.3215	-3.3234	-3.27E-12	10.755	-10.755
	48	3.4867	6.6321	9.1283	10.731	11.283	10.731	9.1283	6.6321	3.4867	-3.01E-12	-3.4867	-6.6321	-9.1283	-10.731	-11.283	-10.731	-9.1283	-6.6321	-3.4867	6.84E-13	11.283	-11.283
																					11.28	-11.28	

Figura 3.31 Resultados numéricos para el tronco de cono 25cm1mm.

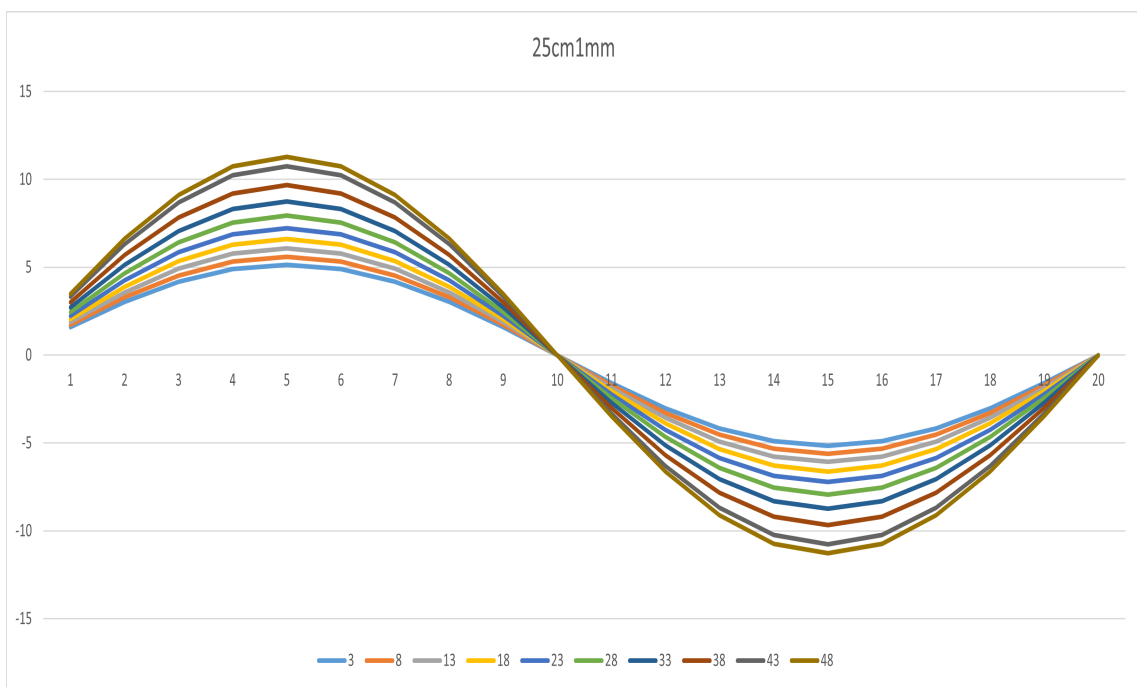


Figura 3.32 Tronco de cono 25cm1mm.

La tendencia del flujo de tensiones tangenciales es la misma comentada anteriormente. Ahora, el pico máximo sobrepasa los 10 kN/m, mientras que desaparece el patrón que hasta ahora se tenía en los casos anteriores en el que los máximos iban decayendo conforme decaía el espesor, siendo el máximo del espesor 1 milímetro mayor que el de 2 milímetros, aunque se mantiene menor que el caso de 3 milímetros. Analizando ahora los valores máximos que presenta el flujo tangencial, la diferencia entre los tubos de 3 y 1 milímetros es:

$$\Delta q_{xy_{max}} = \frac{11.31 - 11.283}{11.31} \cdot 100 \approx 0.2387\%$$

3.2.6 Modelos 20cm

Los modelos de 20 centímetros presentan una conicidad de 0.02, constante con el espesor como se obtuvo en la ecuación de la misma. Las curvas presentan una separación enorme, sobre todo si se

Tabla 3.5 Variación del área a lo largo del tronco de cono para los diferentes espesores.

Espesores		
3mm	2mm	1mm
18.8496	12.5664	6.2832

compara entre las rebanadas cerca del empotramiento y rebanas cerca de la zona de aplicación de la carga, habiendo diferencia de hasta 8 kN/m entre los valores máximos de cada gráfica. Los valores máximos se sitúan en torno a los 13.5 kN/m y el espesor no parece influir en los valores.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	1.2985	2.47	3.3996	3.9965	4.2021	3.9965	3.3996	2.47	1.2985	5.18E-14	-1.2985	-2.47	-3.3996	-3.9965	-4.2021	-3.9965	-3.3996	-2.47	-1.2985	8.85E-13	4.2021	-4.2021
	8	1.4434	2.7455	3.7789	4.4424	4.671	4.4424	3.7789	2.7455	1.4434	-3.34E-14	-1.4434	-2.7455	-3.7789	-4.4424	-4.671	-4.4424	-3.7789	-2.7455	-1.4434	1.03E-12	4.671	-4.671
	13	1.6134	3.0688	4.2239	4.9654	5.221	4.9654	4.2239	3.0688	1.6134	-2.07E-13	-1.6134	-3.0688	-4.2239	-4.9654	-5.221	-4.9654	-4.2239	-3.0688	-1.6134	1.76E-12	5.221	-5.221
	18	1.8158	3.4538	4.7537	5.5883	5.8759	5.5883	4.7537	3.4538	1.8158	7.03E-15	-1.8158	-3.4538	-4.7537	-5.5883	-5.8759	-5.5883	-4.7537	-3.4538	-1.8158	1.62E-12	5.8759	-5.8759
	23	2.0588	3.916	5.3899	6.3362	6.6623	6.3362	5.3899	3.916	2.0588	4.92E-13	-2.0588	-3.916	-5.3899	-6.3362	-6.6623	-6.3362	-5.3899	-3.916	-2.0588	1.91E-12	6.6623	-6.6623
	28	2.354	4.4776	6.1629	7.245	7.6178	7.245	6.1629	4.4776	2.354	1.41E-14	-2.354	-4.4776	-6.1629	-7.245	-7.6178	-7.245	-6.1629	-4.4776	-2.354	6.18E-13	7.6178	-7.6178
	33	2.7177	5.1694	7.1151	8.3643	8.7947	8.3643	7.1151	5.1694	2.7177	-8.29E-13	-2.7177	-5.1694	-7.1151	-8.3643	-8.7947	-8.3643	-7.1151	-5.1694	-2.7177	-1.97E-13	8.7947	-8.7947
	38	3.1726	6.0346	8.3059	9.7642	10.267	9.7642	8.3059	6.0346	3.1726	1.12E-13	-3.1726	-6.0346	-8.3059	-9.7642	-10.267	-9.7642	-8.3059	-6.0346	-3.1726	1.93E-12	10.267	-10.267
	43	3.742	7.1177	9.7967	11.517	12.109	11.517	9.7967	7.1177	3.742	8.43E-14	-3.742	-7.1177	-9.7967	-11.517	-12.109	-11.517	-9.7967	-7.1177	-3.742	9.55E-13	12.109	-12.109
	48	4.1815	7.9536	10.947	12.869	13.532	12.869	10.947	7.9536	4.1815	2.32E-12	-4.1815	-7.9536	-10.947	-12.869	-13.532	-12.869	-10.947	-7.9536	-4.1815	-3.88E-12	13.532	-13.532
																					13.53	-13.53	

Figura 3.33 Resultados numéricos para el tronco de cono 200cm3mm.

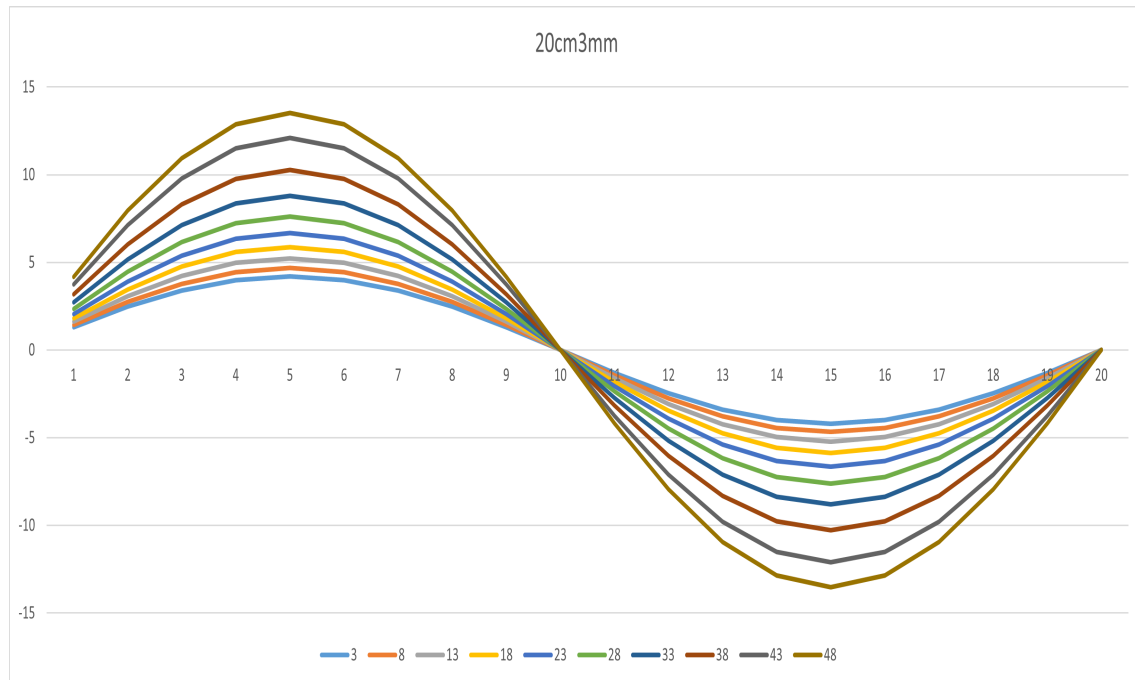


Figura 3.34 Tronco de cono 20cm3mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	1.2915	2.4566	3.3813	3.9749	4.1795	3.9749	3.3813	2.4566	1.2915	1.62E-13	-1.2915	-2.4566	-3.3813	-3.9749	-4.1795	-3.9749	-3.3813	-2.4566	-1.2915	-5.78E-13	4.1795	-4.1795
	8	1.443	2.7448	3.7778	4.4411	4.6696	4.4411	3.7778	2.7448	1.443	1.03E-13	-1.443	-2.7448	-3.7778	-4.4411	-4.6696	-4.4411	-3.7778	-2.7448	-1.443	-5.46E-13	4.6696	-4.6696
	13	1.6128	3.0678	4.2224	4.9638	5.2192	4.9638	4.2224	3.0678	1.6128	4.82E-13	-1.6128	-3.0678	-4.2224	-4.9638	-5.2192	-4.9638	-4.2224	-3.0678	-1.6128	-1.12E-13	5.2192	-5.2192
	18	1.8148	3.452	4.7512	5.5854	5.8728	5.5854	4.7512	3.452	1.8148	7.17E-13	-1.8148	-3.452	-4.7512	-5.5854	-5.8728	-5.5854	-4.7512	-3.452	-1.8148	-5.20E-13	5.8728	-5.8728
	23	2.0573	3.9132	5.386	6.3316	6.6575	6.3316	5.386	3.9132	2.0573	1.14E-12	-2.0573	-3.9132	-5.386	-6.3316	-6.6575	-6.3316	-5.386	-3.9132	-2.0573	9.37E-15	6.6575	-6.6575
	28	2.3518	4.4734	6.1571	7.2381	7.6106	7.2381	6.1571	4.4734	2.3518	8.43E-14	-2.3518	-4.4734	-6.1571	-7.2381	-7.6106	-7.2381	-6.1571	-4.4734	-2.3518	-2.00E-12	7.6106	-7.6106
	33	2.7144	5.1631	7.1064	8.3541	8.784	8.3541	7.1064	5.1631	2.7144	-1.66E-12	-2.7144	-5.1631	-7.1064	-8.3541	-8.784	-8.3541	-7.1064	-5.1631	-2.7144	-1.69E-13	8.784	-8.784
	38	3.1669	6.0238	8.2911	9.7468	10.248	9.7468	8.2911	6.0238	3.1669	1.59E-13	-3.1669	-6.0238	-8.2911	-9.7468	-10.248	-9.7468	-8.2911	-6.0238	-3.1669	-1.11E-12	10.248	-10.248
	43	3.7263	7.0879	9.7556	11.468	12.059	11.468	9.7556	7.0879	3.7263	-8.99E-13	-3.7263	-7.0879	-9.7556	-11.468	-12.059	-11.468	-9.7556	-7.0879	-3.7263	2.71E-12	12.059	-12.059
	48	4.1654	7.9231	10.905	12.82	13.48	12.82	10.905	7.9231	4.1654	-5.25E-13	-4.1654	-7.9231	-10.905	-12.82	-13.48	-12.82	-10.905	-7.9231	-4.1654	-1.27E-12	13.48	-13.48
																					13.48	-13.48	

Figura 3.35 Resultados numéricos para el tronco de cono 20cm2mm.

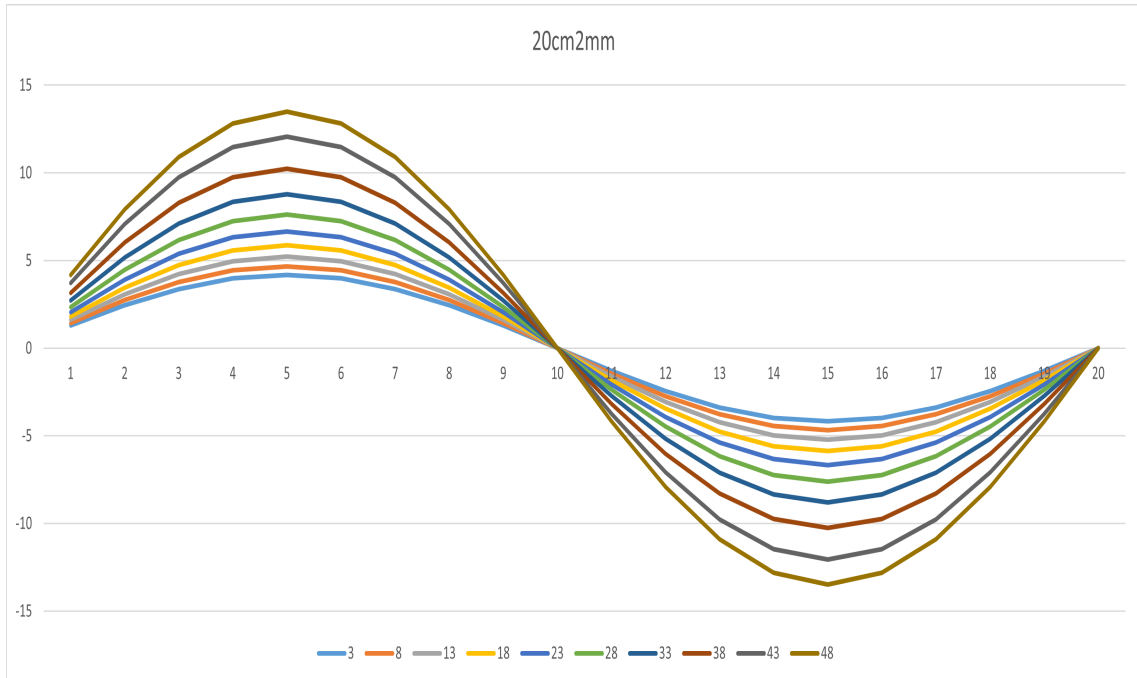


Figura 3.36 Tronco de cono 20cm2mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	1.2877	2.4493	3.3712	3.9631	4.167	3.9631	3.3712	2.4493	1.2877	1.23E-12	-1.2877	-2.4493	-3.3712	-3.9631	-4.167	-3.9631	-3.3712	-2.4493	-1.2877	1.36E-12	4.167	-4.167
	8	1.4416	2.742	3.774	4.4366	4.665	4.4366	3.774	2.742	1.4416	1.02E-12	-1.4416	-2.742	-3.774	-4.4366	-4.665	-4.4366	-3.774	-2.742	-1.4416	1.00E-12	4.665	-4.665
	13	1.6122	3.0665	4.2207	4.9618	5.2171	4.9618	4.2207	3.0665	1.6122	2.15E-12	-1.6122	-3.0665	-4.2207	-4.9618	-5.2171	-4.9618	-4.2207	-3.0665	-1.6122	1.56E-12	5.2171	-5.2171
	18	1.8139	3.4502	4.7487	5.5825	5.8698	5.5825	4.7487	3.4502	1.8139	1.06E-12	-1.8139	-3.4502	-4.7487	-5.5825	-5.8698	-5.5825	-4.7487	-3.4502	-1.8139	1.58E-12	5.8698	-5.8698
	23	2.0558	3.9104	5.3822	6.3271	6.6527	6.3271	5.3822	3.9104	2.0558	1.54E-12	-2.0558	-3.9104	-5.3822	-6.3271	-6.6527	-6.3271	-5.3822	-3.9104	-2.0558	1.85E-12	6.6527	-6.6527
	28	2.3496	4.4692	6.1514	7.2314	7.6035	7.2314	6.1514	4.4692	2.3496	2.77E-12	-2.3496	-4.4692	-6.1514	-7.2314	-7.6035	-7.2314	-6.1514	-4.4692	-2.3496	-1.97E-12	7.6035	-7.6035
	33	2.7117	5.158	7.0993	8.3458	8.7753	8.3458	7.0993	5.158	2.7117	1.60E-12	-2.7117	-5.158	-7.0993	-8.3458	-8.7753	-8.3458	-7.0993	-5.158	-2.7117	1.47E-12	8.7753	-8.7753
	38	3.168	6.0259	8.2939	9.7501	10.252	9.7501	8.2939	6.0259	3.168	1.00E-12	-3.168	-6.0259	-8.2939	-9.7501	-10.252	-9.7501	-8.2939	-6.0259	-3.168	4.55E-12	10.252	-10.252
	43	3.7458	7.1249	9.8066	11.528	12.122	11.528	9.8066	7.1249	3.7458	3.00E-12	-3.7458	-7.1249	-9.8066	-11.528	-12.122	-11.528	-9.8066	-7.1249	-3.7458	4.34E-12	12.122	-12.122
	48	4.213	8.0135	11.03	12.966	13.633	12.966	11.03	8.0135	4.213	-7.40E-13	-4.213	-8.0135	-11.03	-12.966	-13.633	-12.966	-11.03	-8.0135	-4.213	3.43E-12	13.633	-13.633
																					13.63	-13.63	

Figura 3.37 Resultados numéricos para el tronco de cono 20cm1mm.

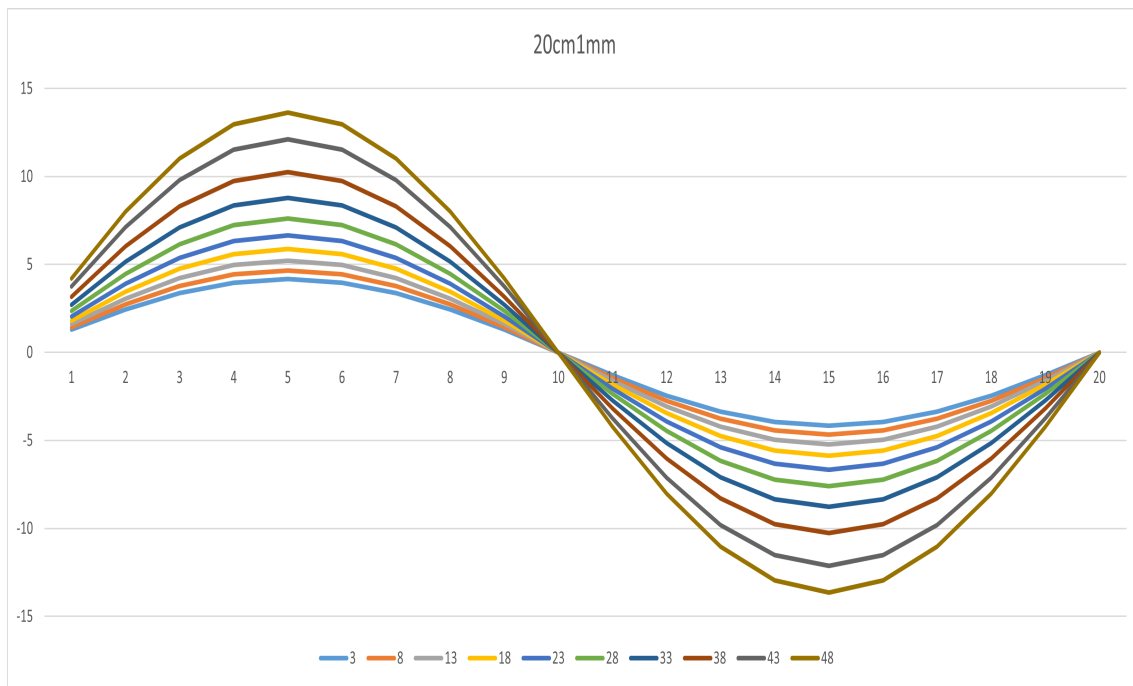


Figura 3.38 Tronco de cono 20cm1mm.

La tendencia de los flujos de tensiones tangenciales es la misma comentada anteriormente. Tres de las curvas superan los 10 kN/m, y se invierte el patrón de máximos: para el espesor más pequeño se tiene el flujo tangencial máximo de mayor valor, mientras que para el mayor espesor se tiene el máximo de menor valor. Analizando ahora los valores máximos que presenta el flujo tangencial, la diferencia entre los tubos de 1 y 3 milímetros es:

$$\Delta q_{xy_{max}} = \frac{13.633 - 13.532}{13.633} \cdot 100 \approx 0.7408\%$$

3.3 Resultados de los modelos de barras

Los resultados obtenidos mediante modelos de barras se presentan de la misma forma que los modelos de elementos finitos.

3.3.1 Modelos 40cm

Estos modelos de conicidad nula muestran como todas las curvas del flujo de tensiones tangenciales para cada rebanada se encuentran superpuestas, lo que indica que, para la geometría tubo, el cuerpo se ve sometido en toda su longitud a los mismos valores para las condiciones de contorno y carga impuestas. Además, presentan un valor máximo que ronda los 8 kN/, como se puede apreciar en las gráficas 3.40, 3.42 y 3.44.

		Elemento radial																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Máx.	Min.
Rebanada	3	2.4887	4.7337	6.5153	7.6591	8.0532	7.659	6.5152	4.73353	2.4886	2.13E-05	-2.4885	-4.7335	-6.515	-7.6589	-8.053	-7.6588	-6.515	-4.7333	-2.4884	1.82E-04	8.0532	-8.053
	8	2.4887	4.7337	6.5153	7.6591	8.0532	7.659	6.5152	4.73353	2.4886	2.13E-05	-2.4885	-4.7335	-6.515	-7.6589	-8.053	-7.6588	-6.515	-4.7333	-2.4884	1.82E-04	8.0532	-8.053
	13	2.4887	4.7337	6.5153	7.6591	8.0532	7.659	6.5152	4.73353	2.4886	2.13E-05	-2.4885	-4.7335	-6.515	-7.6589	-8.053	-7.6588	-6.515	-4.7333	-2.4884	1.82E-04	8.0532	-8.053
	18	2.4887	4.7337	6.5153	7.6591	8.0532	7.659	6.5152	4.73353	2.4886	2.13E-05	-2.4885	-4.7335	-6.515	-7.6589	-8.053	-7.6588	-6.515	-4.7333	-2.4884	1.82E-04	8.0532	-8.053
	23	2.4887	4.7337	6.5153	7.6591	8.0532	7.659	6.5152	4.73353	2.4886	2.13E-05	-2.4885	-4.7335	-6.515	-7.6589	-8.053	-7.6588	-6.515	-4.7333	-2.4884	1.82E-04	8.0532	-8.053
	28	2.4887	4.7337	6.5153	7.6591	8.0532	7.659	6.5152	4.73353	2.4886	2.13E-05	-2.4885	-4.7335	-6.515	-7.6589	-8.053	-7.6588	-6.515	-4.7333	-2.4884	1.82E-04	8.0532	-8.053
	33	2.4887	4.7337	6.5153	7.6591	8.0532	7.659	6.5152	4.73353	2.4886	2.13E-05	-2.4885	-4.7335	-6.515	-7.6589	-8.053	-7.6588	-6.515	-4.7333	-2.4884	1.82E-04	8.0532	-8.053
	38	2.4887	4.7337	6.5153	7.6591	8.0532	7.659	6.5152	4.73353	2.4886	2.13E-05	-2.4885	-4.7335	-6.515	-7.6589	-8.053	-7.6588	-6.515	-4.7333	-2.4884	1.82E-04	8.0532	-8.053
	43	2.4887	4.7337	6.5153	7.6591	8.0532	7.659	6.5152	4.73353	2.4886	2.13E-05	-2.4885	-4.7335	-6.515	-7.6589	-8.053	-7.6588	-6.515	-4.7333	-2.4884	1.82E-04	8.0532	-8.053
	48	2.4887	4.7337	6.5153	7.6591	8.0532	7.659	6.5152	4.73353	2.4886	2.13E-05	-2.4885	-4.7335	-6.515	-7.6589	-8.053	-7.6588	-6.515	-4.7333	-2.4884	1.82E-04	8.0532	-8.053
																					8.053	-8.053	

Figura 3.39 Resultados numéricos para el tubo 40cm3mm.

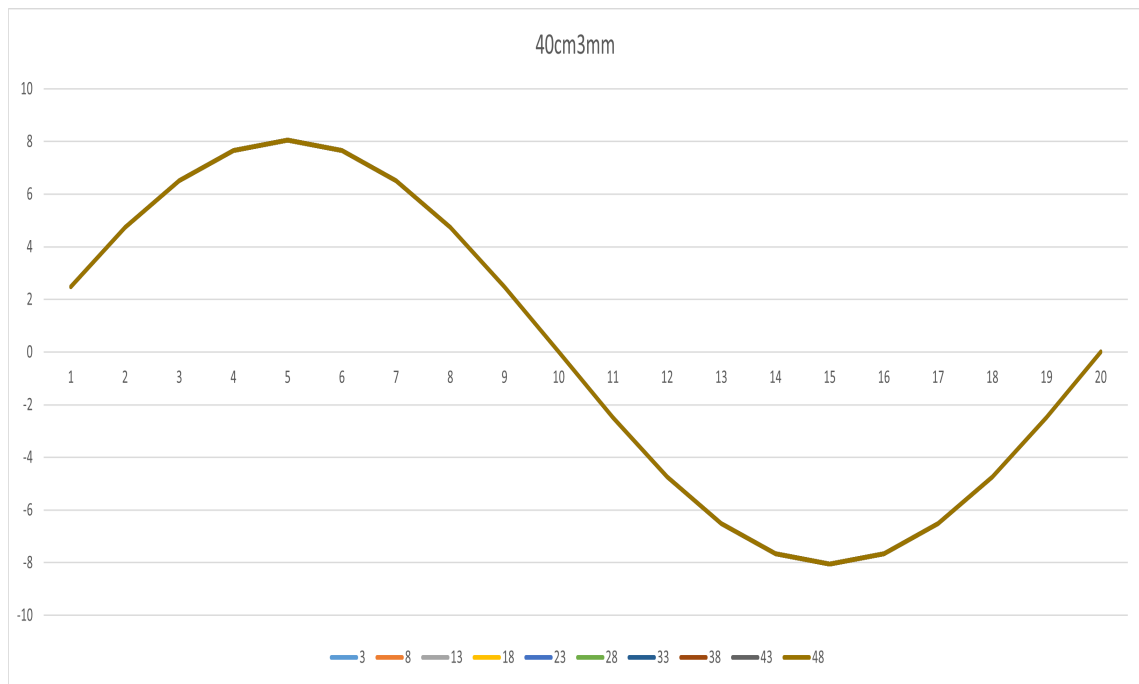


Figura 3.40 Tubo 40cm3mm.

		Elemento radial																			Máx.	Min.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.4856	4.7278	6.5071	7.6496	8.0432	7.6495	6.507	4.7276	2.4855	2.12E-05	-2.4854	-4.7276	-6.5069	-7.6493	-8.043	-7.6493	-6.5068	-4.7274	-2.4853	1.82E-04	8.0432	-8.043
	8	2.4856	4.7278	6.5071	7.6496	8.0432	7.6495	6.507	4.7276	2.4855	2.12E-05	-2.4854	-4.7276	-6.5069	-7.6493	-8.043	-7.6493	-6.5068	-4.7274	-2.4853	1.82E-04	8.0432	-8.043
	13	2.4856	4.7278	6.5071	7.6496	8.0432	7.6495	6.507	4.7276	2.4855	2.12E-05	-2.4854	-4.7276	-6.5069	-7.6493	-8.043	-7.6493	-6.5068	-4.7274	-2.4853	1.82E-04	8.0432	-8.043
	18	2.4856	4.7278	6.5071	7.6496	8.0432	7.6495	6.507	4.7276	2.4855	2.12E-05	-2.4854	-4.7276	-6.5069	-7.6493	-8.043	-7.6493	-6.5068	-4.7274	-2.4853	1.82E-04	8.0432	-8.043
	23	2.4856	4.7278	6.5071	7.6496	8.0432	7.6495	6.507	4.7276	2.4855	2.12E-05	-2.4854	-4.7276	-6.5069	-7.6493	-8.043	-7.6493	-6.5068	-4.7274	-2.4853	1.82E-04	8.0432	-8.043
	28	2.4856	4.7278	6.5071	7.6496	8.0432	7.6495	6.507	4.7276	2.4855	2.12E-05	-2.4854	-4.7276	-6.5069	-7.6493	-8.043	-7.6493	-6.5068	-4.7274	-2.4853	1.82E-04	8.0432	-8.043
	33	2.4856	4.7278	6.5071	7.6496	8.0432	7.6495	6.507	4.7276	2.4855	2.12E-05	-2.4854	-4.7276	-6.5069	-7.6493	-8.043	-7.6493	-6.5068	-4.7274	-2.4853	1.82E-04	8.0432	-8.043
	38	2.4856	4.7278	6.5071	7.6496	8.0432	7.6495	6.507	4.7276	2.4855	2.12E-05	-2.4854	-4.7276	-6.5069	-7.6493	-8.043	-7.6493	-6.5068	-4.7274	-2.4853	1.82E-04	8.0432	-8.043
	43	2.4856	4.7278	6.5071	7.6496	8.0432	7.6495	6.507	4.7276	2.4855	2.12E-05	-2.4854	-4.7276	-6.5069	-7.6493	-8.043	-7.6493	-6.5068	-4.7274	-2.4853	1.82E-04	8.0432	-8.043
	48	2.4856	4.7278	6.5071	7.6496	8.0432	7.6495	6.507	4.7276	2.4855	2.12E-05	-2.4854	-4.7276	-6.5069	-7.6493	-8.043	-7.6493	-6.5068	-4.7274	-2.4853	1.82E-04	8.0432	-8.043
																					8.043	-8.043	

Figura 3.41 Resultados numéricos para el tubo 40cm2mm.

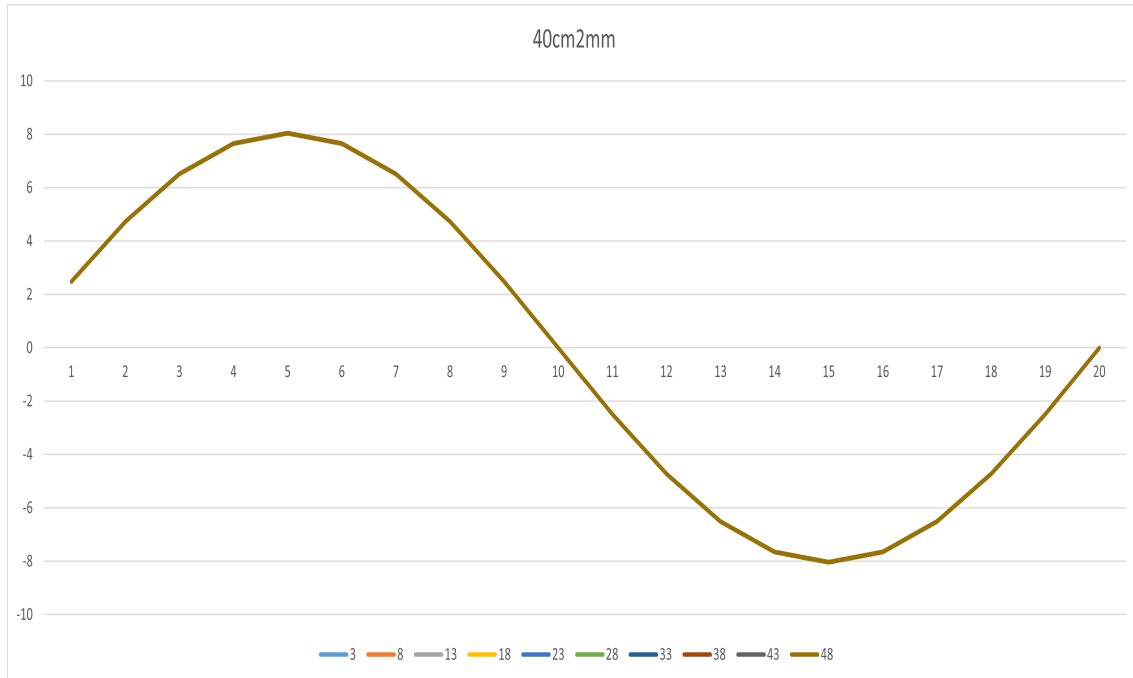


Figura 3.42 Tubo 40cm2mm.

		Elemento radial																			Máx.	Min.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
Rebanada	3	2.4825	4.7219	6.499	7.64	8.0332	7.64	6.4989	4.7218	2.4824	2.10E-05	-2.4823	-4.7217	-6.4988	-7.6398	-8.033	-7.6398	-6.4987	-4.7216	-2.4822	1.82E-04	8.0332	-8.033
	8	2.4825	4.7219	6.499	7.64	8.0332	7.64	6.4989	4.7218	2.4824	2.10E-05	-2.4823	-4.7217	-6.4988	-7.6398	-8.033	-7.6398	-6.4987	-4.7216	-2.4822	1.82E-04	8.0332	-8.033
	13	2.4825	4.7219	6.499	7.64	8.0332	7.64	6.4989	4.7218	2.4824	2.10E-05	-2.4823	-4.7217	-6.4988	-7.6398	-8.033	-7.6398	-6.4987	-4.7216	-2.4822	1.82E-04	8.0332	-8.033
	18	2.4825	4.7219	6.499	7.64	8.0332	7.64	6.4989	4.7218	2.4824	2.10E-05	-2.4823	-4.7217	-6.4988	-7.6398	-8.033	-7.6398	-6.4987	-4.7216	-2.4822	1.82E-04	8.0332	-8.033
	23	2.4825	4.7219	6.499	7.64	8.0332	7.64	6.4989	4.7218	2.4824	2.10E-05	-2.4823	-4.7217	-6.4988	-7.6398	-8.033	-7.6398	-6.4987	-4.7216	-2.4822	1.82E-04	8.0332	-8.033
	28	2.4825	4.7219	6.499	7.64	8.0332	7.64	6.4989	4.7218	2.4824	2.10E-05	-2.4823	-4.7217	-6.4988	-7.6398	-8.033	-7.6398	-6.4987	-4.7216	-2.4822	1.82E-04	8.0332	-8.033
	33	2.4825	4.7219	6.499	7.64	8.0332	7.64	6.4989	4.7218	2.4824	2.10E-05	-2.4823	-4.7217	-6.4988	-7.6398	-8.033	-7.6398	-6.4987	-4.7216	-2.4822	1.82E-04	8.0332	-8.033
	38	2.4825	4.7219	6.499	7.64	8.0332	7.64	6.4989	4.7218	2.4824	2.10E-05	-2.4823	-4.7217	-6.4988	-7.6398	-8.033	-7.6398	-6.4987	-4.7216	-2.4822	1.82E-04	8.0332	-8.033
	43	2.4825	4.7219	6.499	7.64	8.0332	7.64	6.4989	4.7218	2.4824	2.10E-05	-2.4823	-4.7217	-6.4988	-7.6398	-8.033	-7.6398	-6.4987	-4.7216	-2.4822	1.82E-04	8.0332	-8.033
	48	2.4825	4.7219	6.499	7.64	8.0332	7.64	6.4989	4.7218	2.4824	2.10E-05	-2.4823	-4.7217	-6.4988	-7.6398	-8.033	-7.6398	-6.4987	-4.7216	-2.4822	1.82E-04	8.0332	-8.033
																					8.033	-8.033	

Figura 3.43 Resultados numéricos para el tubo 40cm1mm.

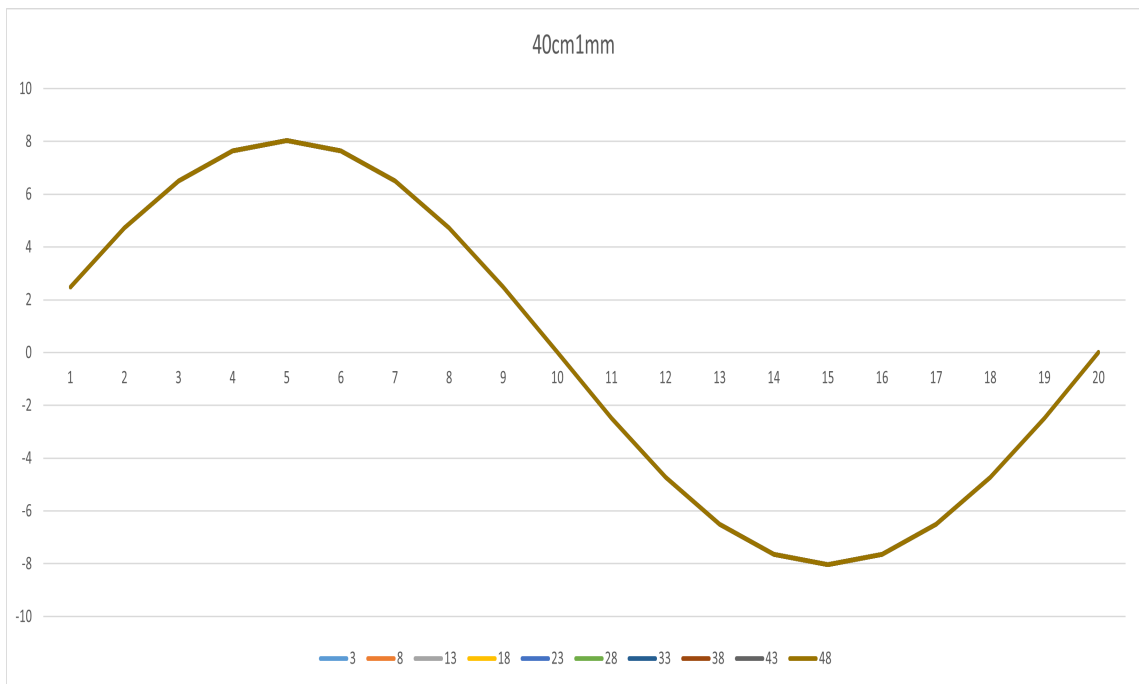


Figura 3.44 Tubo 40cm1mm.

La diferencia entre los valores entre los cuerpos de 1mm y 3mm es de:

$$\Delta q_{xy_{max}} = \frac{8.053 - 8.033}{8.053} \cdot 100 \approx 0.2483 \%$$

3.3.2 Modelos 36cm

Para esta gama de cuerpos de conicidad 0.004, se puede observar como las curvas de flujo de tensiones tangenciales para cada rebanada empiezan a separarse unas de otras, con el fin de captar la variación de área de la geometría. Se aprecia como los valores máximos para cada rebanada tienden a aumentar conforme dichas rebanadas se alejan del empotramiento, o lo que es lo mismo, se acercan a la zona de aplicación de carga. Los valores máximos se encuentran entre 8 kN/m y 9 kN/m.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.5013	4.7575	6.5481	7.6977	8.0938	7.6977	6.548	4.7574	2.50113	2.20E-05	-2.5011	-4.7573	-6.5479	-7.6975	-8.0936	-7.6975	-6.5478	-4.7572	-2.5009	1.84E-04	8.0938	-8.0936
	8	2.5268	4.806	6.6149	7.7762	8.1763	7.7761	6.6148	4.8059	2.52662	2.33E-05	-2.5266	-4.8058	-6.6146	-7.776	-8.1761	-7.7759	-6.6145	-4.8057	-2.5264	1.87E-04	8.1763	-8.1761
	13	2.5528	4.8555	6.683	7.8562	8.2605	7.8562	6.6829	4.8554	2.55264	2.46E-05	-2.5526	-4.8553	-6.6827	-7.856	-8.2603	-7.856	-6.6826	-4.8552	-2.5524	1.90E-04	8.2605	-8.2603
	18	2.5793	4.906	6.7525	7.938	8.3464	7.9379	6.7524	4.9059	2.57919	2.60E-05	-2.5791	-4.9058	-6.7523	-7.9377	-8.3462	-7.9377	-6.7522	-4.9057	-2.579	1.93E-04	8.3464	-8.3462
	23	2.6065	4.9576	6.8235	8.0214	8.4342	8.0214	6.8234	4.9575	2.60629	2.74E-05	-2.6062	-4.9574	-6.8232	-8.0212	-8.434	-8.0211	-6.8231	-4.9572	-2.6061	1.96E-04	8.4342	-8.434
	28	2.6341	5.0103	6.896	8.1066	8.5238	8.1066	6.8959	5.0101	2.63399	2.89E-05	-2.6339	-5.01	-6.8957	-8.1064	-8.5236	-8.1064	-6.8956	-5.0099	-2.6338	1.99E-04	8.5238	-8.5236
	33	2.6624	5.0641	6.97	8.1937	8.6153	8.1936	6.9699	5.0639	2.66227	3.04E-05	-2.6622	-5.0638	-6.9698	-8.1934	-8.6151	-8.1934	-6.9697	-5.0637	-2.662	2.03E-04	8.6153	-8.6151
	38	2.6913	5.119	7.0457	8.2826	8.7088	8.2826	7.0456	5.1189	2.69117	3.21E-05	-2.6911	-5.1188	-7.0454	-8.2824	-8.7086	-8.2823	-7.0453	-5.1187	-2.6909	2.06E-04	8.7088	-8.7086
	43	2.7209	5.1752	7.123	8.3735	8.8044	8.3735	7.1229	5.1751	2.7207	3.37E-05	-2.7206	-5.175	-7.1227	-8.3733	-8.8042	-8.3732	-7.1226	-5.1748	-2.7205	2.10E-04	8.8044	-8.8042
	48	2.7511	5.2326	7.202	8.4664	8.9021	8.4664	7.2019	5.2325	2.7509	3.55E-05	-2.7508	-5.2324	-7.2018	-8.4662	-8.9018	-8.4661	-7.2017	-5.2322	-2.7507	2.14E-04	8.9021	-8.9018
																					8.902	-8.902	

Figura 3.45 Resultados numéricos para el tronco de cono 36cm3mm.

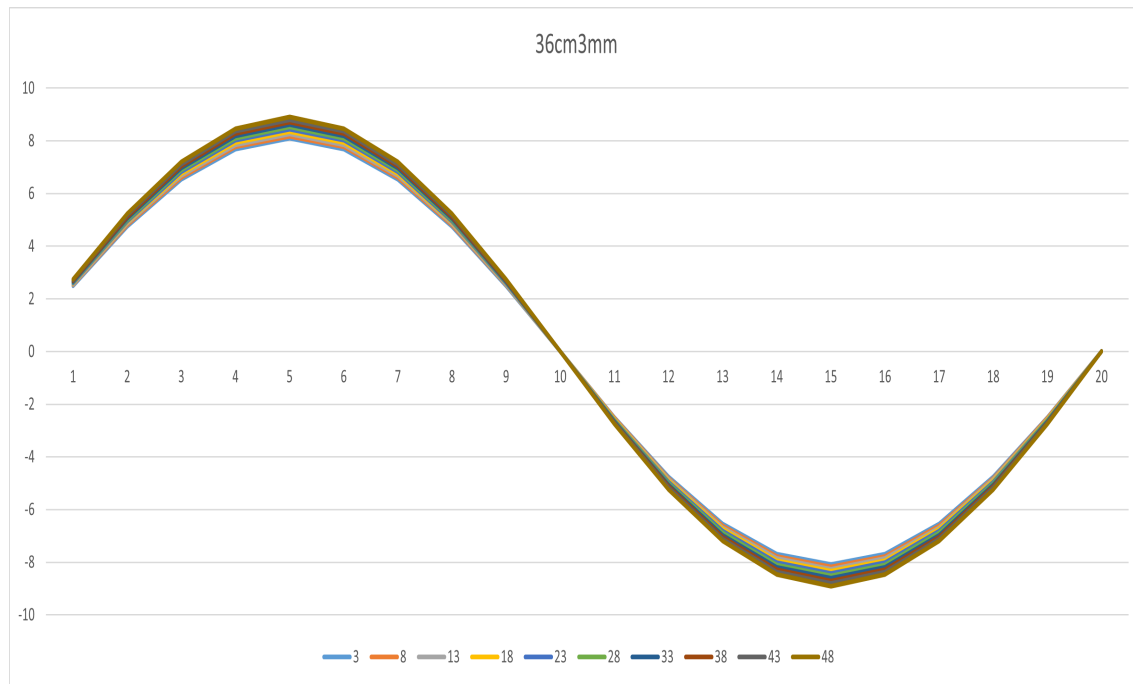


Figura 3.46 Tronco de cono 36cm3mm.

		Elemento radial																				Máx.	Mín.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.4982	4.7516	6.5399	7.6881	8.0837	7.688	6.5398	4.75146	2.498	2.18E-05	-2.50E+00	-4.7514	-6.5397	-7.6879	-8.0835	-7.6878	-6.5396	-4.7513	-2.4978	1.83E-04	8.0837	-8.0835
	8	2.5236	4.7999	6.6065	7.7663	8.166	7.7663	6.6064	4.79981	2.5234	2.31E-05	-2.52337534	-4.7997	-6.6063	-7.7661	-8.1658	-7.7661	-6.6062	-4.7996	-2.5232	1.86E-04	8.166	-8.1658
	13	2.5495	4.8493	6.6744	7.8462	8.25	7.8461	6.6743	4.84917	2.5494	2.44E-05	-2.54931971	-4.8491	-6.6742	-7.846	-8.2497	-7.8459	-6.6741	-4.849	-2.5492	1.89E-04	8.25	-8.2497
	18	2.576	4.8997	6.7438	7.9277	8.3357	7.9277	6.7437	4.89955	2.5759	2.58E-05	-2.57580312	-4.8995	-6.7435	-7.9275	-8.3354	-7.9274	-6.7434	-4.8993	-2.5756	1.93E-04	8.3357	-8.3354
	23	2.6031	4.9511	6.8146	8.011	8.4232	8.0109	6.8145	4.95101	2.6029	2.72E-05	-2.60283019	-4.9509	-6.8143	-8.0107	-8.423	-8.0107	-6.8142	-4.9508	-2.6027	1.96E-04	8.4232	-8.423
	28	2.6307	5.0037	6.8869	8.096	8.5126	8.0959	6.8868	5.00354	2.6305	2.87E-05	-2.63045093	-5.0034	-6.8866	-8.0957	-8.5123	-8.0957	-6.8865	-5.0033	-2.6303	1.99E-04	8.5126	-8.5123
	33	2.6589	5.0573	6.9607	8.1828	8.6038	8.1827	6.9606	5.0572	2.6587	3.03E-05	-2.65865614	-5.0571	-6.9605	-8.1825	-8.6036	-8.1825	-6.9604	-5.057	-2.6585	2.02E-04	8.6038	-8.6036
	38	2.6877	5.1122	7.0362	8.2715	8.6971	8.2714	7.0361	5.11202	2.6875	3.19E-05	-2.68747276	-5.1119	-7.0359	-8.2712	-8.6969	-8.2712	-7.0358	-5.1118	-2.6873	2.06E-04	8.6971	-8.6969
	43	2.7172	5.1682	7.1133	8.3621	8.7924	8.3621	7.1132	5.16803	2.717	3.35E-05	-2.71692614	-5.1679	-7.113	-8.3619	-8.7922	-8.3618	-7.1129	-5.1678	-2.7168	2.09E-04	8.7924	-8.7922
	48	2.7473	5.2254	7.1921	8.4548	8.8898	8.4547	7.192	5.2253	2.7471	3.53E-05	-2.74703549	-5.2252	-7.1919	-8.4545	-8.8896	-8.4545	-7.1918	-5.225	-2.7469	2.13E-04	8.8898	-8.8896
																						8.89	-8.89

Figura 3.47 Resultados numéricos para el tronco de cono 36cm2mm.

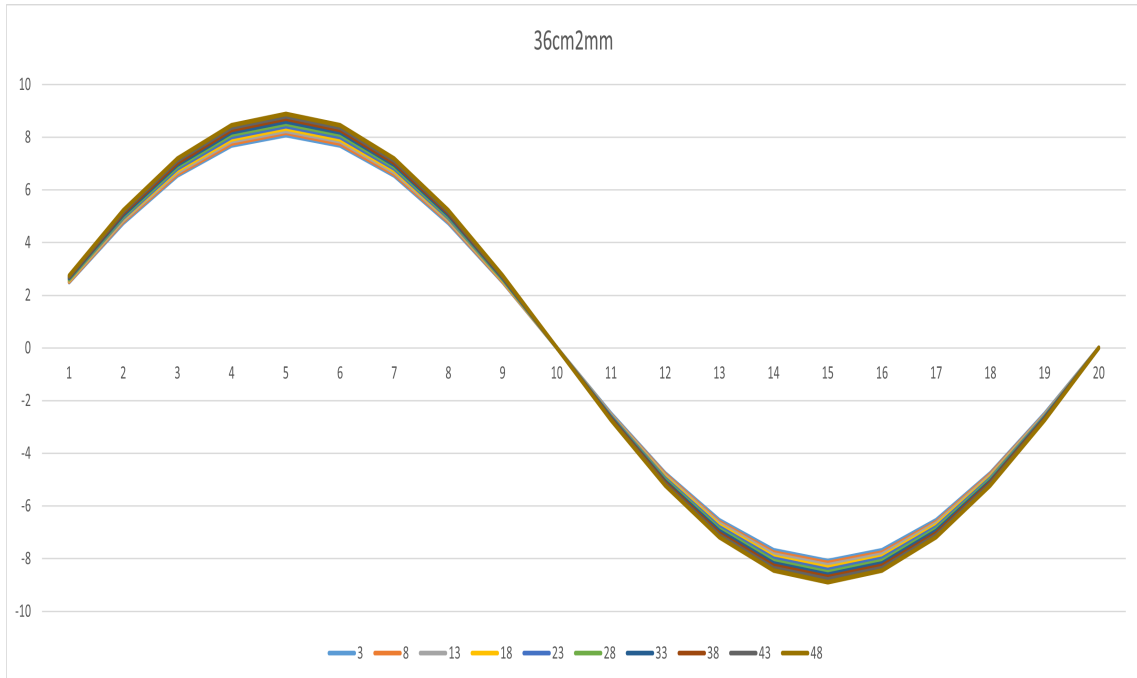


Figura 3.48 Tronco de cono 36cm2mm.

		Elemento radial																				Máx.	Mín.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.495	4.7456	6.5317	7.6785	8.0736	7.6784	6.5316	4.7455	2.49488	2.17E-05	-2.4948	-4.7454	-6.5315	-7.6783	-8.0734	-7.6782	-6.5314	-4.7453	-2.4947	1.83E-04	8.0736	-8.0734
	8	2.5204	4.7939	6.5981	7.7565	8.1557	7.7565	6.5981	4.7937	2.52024	2.29E-05	-2.5202	-4.7937	-6.5979	-7.7563	-8.1555	-7.7563	-6.5978	-4.7935	-2.52	1.86E-04	8.1557	-8.1555
	13	2.5463	4.8431	6.6659	7.8362	8.2394	7.8361	6.6658	4.843	2.54612	2.43E-05	-2.5461	-4.8429	-6.6657	-7.836	-8.2392	-7.8359	-6.6656	-4.8428	-2.5459	1.89E-04	8.2394	-8.2392
	18	2.5727	4.8934	6.7351	7.9175	8.3249	7.9174	6.735	4.8932	2.57254	2.56E-05	-2.5725	-4.8931	-6.7349	-7.9173	-8.3247	-7.9172	-6.7348	-4.893	-2.5723	1.92E-04	8.3249	-8.3247
	23	2.5997	4.9447	6.8057	8.0005	8.4122	8.0005	6.8056	4.9446	2.5995	2.70E-05	-2.5994	-4.9445	-6.8055	-8.0003	-8.412	-8.0002	-6.8054	-4.9443	-2.5993	1.95E-04	8.4122	-8.412
	28	2.6272	4.9971	6.8778	8.0853	8.5013	8.0852	6.8777	4.9969	2.62705	2.85E-05	-2.627	-4.9969	-6.8776	-8.0851	-8.5011	-8.085	-6.8775	-4.9967	-2.6268	1.99E-04	8.5013	-8.5011
	33	2.6553	5.0506	6.9515	8.1719	8.5924	8.1718	6.9514	5.0505	2.65519	3.01E-05	-2.6551	-5.0504	-6.9512	-8.1716	-8.5922	-8.1716	-6.9511	-5.0502	-2.655	2.02E-04	8.5924	-8.5922
	38	2.6841	5.1053	7.0267	8.2603	8.6854	8.2603	7.0266	5.1051	2.68393	3.17E-05	-2.6839	-5.105	-7.0265	-8.2601	-8.6852	-8.2601	-7.0264	-5.1049	-2.6837	2.05E-04	8.6854	-8.6852
	43	2.7135	5.1611	7.1036	8.3507	8.7805	8.3507	7.1035	5.161	2.71331	3.33E-05	-2.7132	-5.1609	-7.1034	-8.3505	-8.7802	-8.3504	-7.1033	-5.1608	-2.7131	2.09E-04	8.7805	-8.7802
	48	2.7435	5.2183	7.1822	8.4431	8.8776	8.4431	7.1821	5.2181	2.74334	3.50E-05	-2.7433	-5.218	-7.182	-8.4429	-8.8774	-8.4428	-7.1819	-5.2179	-2.7431	2.13E-04	8.8776	-8.8774
																						8.878	-8.877

Figura 3.49 Resultados numéricos para el tronco de cono 36cm1mm.

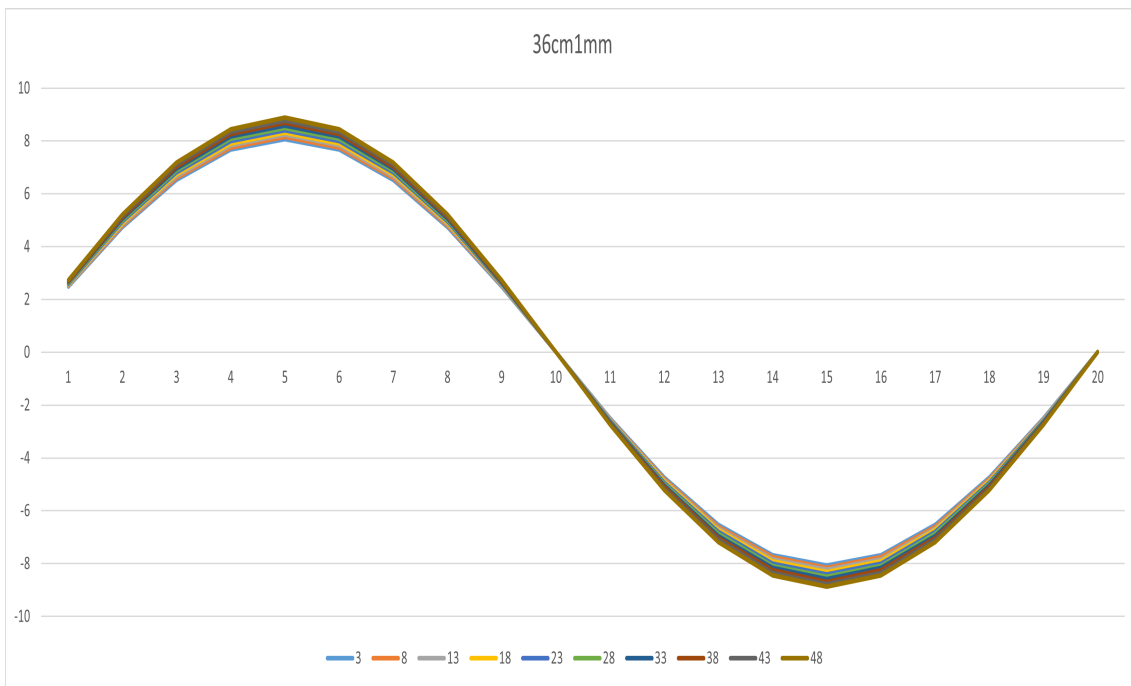


Figura 3.50 Tronco de cono 36cm1mm.

La diferencia entre los valores entre los cuerpos de 1mm y 3mm es de:

$$\Delta q_{xy_{max}} = \frac{8.902 - 8.878}{8.902} \cdot 100 \approx 0.2696\%$$

3.3.3 Modelos 35cm

Estos cuerpos de conicidad 0.005 presentan un valor máximo del flujo de tensiones tangenciales que supera los 9 kN/m en los diferentes espesores aquí evaluados. Las curvas, por su parte, siguen juntas pese al aumento de la conicidad, lo cual era de esperar ya que el aumento de la conicidad es pequeño respecto al caso anterior. El espesor, de nuevo, afecta muy poco a los valores que se obtienen.

		Elemento radial																			Máx.	Min.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.5044	4.7636	6.5564	7.7074	8.1041	7.7074	6.5563	4.7634	2.5043	2.21E-05	-2.5042	-4.7634	-6.5562	-7.7072	-8.1038	-7.7072	-6.5561	-4.7632	-2.5041	1.84E-04	8.1041	-8.1038
	8	2.5365	4.8245	6.6402	7.806	8.2077	7.806	6.6401	4.8243	2.5363	2.38E-05	-2.5362	-4.8243	-6.64	-7.8058	-8.2075	-7.8057	-6.6399	-4.8241	-2.5361	1.88E-04	8.2077	-8.2075
	13	2.5693	4.887	6.7262	7.9071	8.314	7.9071	6.7261	4.8868	2.5692	2.54E-05	-2.5691	-4.8867	-6.726	-7.9069	-8.3138	-7.9068	-6.7259	-4.8866	-2.5689	1.92E-04	8.314	-8.3138
	18	2.603	4.9511	6.8145	8.0109	8.4231	8.0108	6.8144	4.951	2.6029	2.72E-05	-2.6028	-4.9509	-6.8143	-8.0107	-8.4229	-8.0106	-6.8142	-4.9507	-2.6027	1.96E-04	8.4231	-8.4229
	23	2.6377	5.0169	6.9051	8.1174	8.5351	8.1174	6.905	5.0168	2.6375	2.91E-05	-2.6374	-5.0167	-6.9049	-8.1172	-8.5349	-8.1171	-6.9048	-5.0166	-2.6373	2.00E-04	8.5351	-8.5349
	28	2.6732	5.0845	6.9982	8.2268	8.6501	8.2267	6.9981	5.0844	2.673	3.10E-05	-2.673	-5.0843	-6.9979	-8.2266	-8.6499	-8.2265	-6.9978	-5.0842	-2.6728	2.04E-04	8.6501	-8.6499
	33	2.7097	5.154	7.0938	8.3392	8.7683	8.3391	7.0937	5.1539	2.7096	3.31E-05	-2.7095	-5.1538	-7.0935	-8.3389	-8.7681	-8.3389	-7.0934	-5.1536	-2.7093	2.08E-04	8.7683	-8.7681
	38	2.7473	5.2254	7.192	8.4547	8.8897	8.4546	7.1919	5.2252	2.7471	3.52E-05	-2.747	-5.2251	-7.1918	-8.4544	-8.8895	-8.4544	-7.1917	-5.225	-2.7468	2.13E-04	8.8897	-8.8895
	43	2.7858	5.2988	7.293	8.5734	9.0146	8.5734	7.2929	5.2986	2.7857	3.75E-05	-2.7856	-5.2985	-7.2928	-8.5732	-9.0143	-8.5731	-7.2927	-5.2984	-2.7854	2.18E-04	9.0146	-9.0143
48	2.8255	5.3743	7.3969	8.6956	9.143	8.6955	7.3968	5.3741	2.8254	3.99E-05	-2.8253	-5.374	-7.3967	-8.6953	-9.1428	-8.6953	-7.3966	-5.3739	-2.8251	2.23E-04	9.143	-9.1428	
																					9.143	-9.143	

Figura 3.51 Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm3mm.

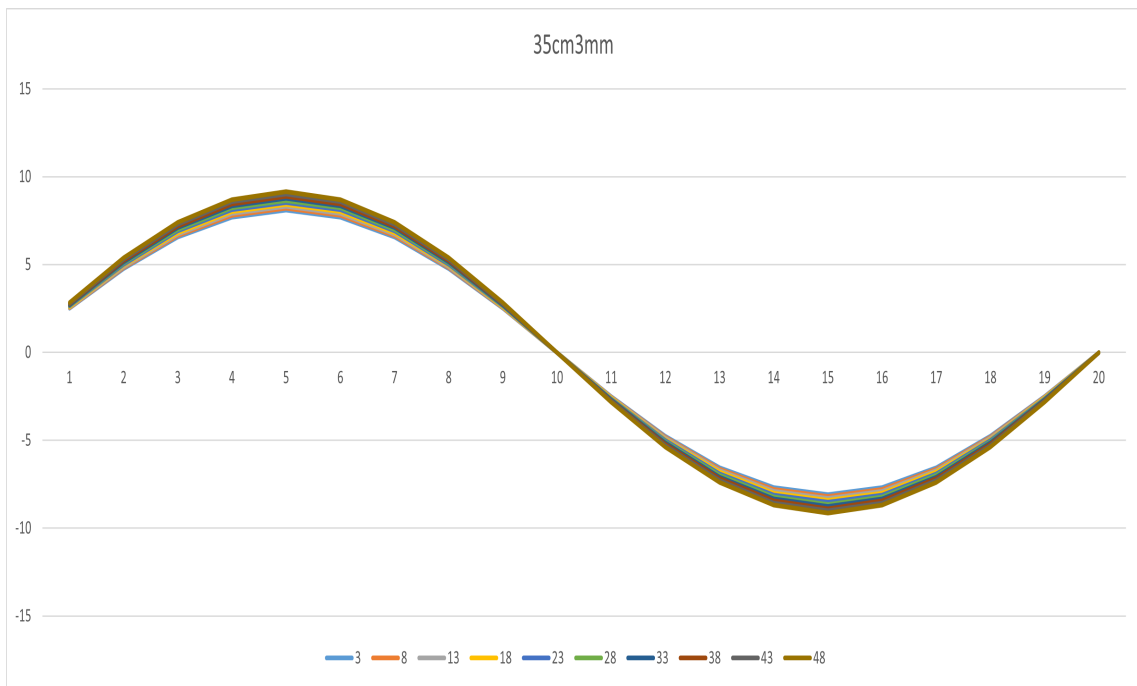


Figura 3.52 Tronco de cono 35cm3mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.5013	4.7576	6.5482	7.6978	8.0939	7.6977	6.5481	4.7575	2.5011	2.20E-05	#####	-4.7574	-6.548	-7.6976	-8.0937	-7.6975	-6.5479	-4.7573	-2.5009	1.84E-04	8.0939	-8.0937
	8	2.5332	4.8183	6.6318	7.7961	8.1973	7.796	6.6317	4.8182	2.5331	2.36E-05	-2.533	-4.8181	-6.6316	-7.7959	-8.1971	-7.7958	-6.6315	-4.818	-2.5329	1.88E-04	8.1973	-8.1971
	13	2.566	4.8807	6.7176	7.897	8.3033	7.8969	6.7175	4.8805	2.5659	2.53E-05	-2.5658	-4.8805	-6.7174	-7.8967	-8.3031	-7.8967	-6.7173	-4.8803	-2.5656	1.91E-04	8.3033	-8.3031
	18	2.5997	4.9446	6.8056	8.0005	8.4121	8.0004	6.8055	4.9445	2.5995	2.70E-05	-2.5994	-4.9444	-6.8054	-8.0002	-8.4119	-8.0002	-6.8053	-4.9443	-2.5993	1.95E-04	8.4121	-8.4119
	23	2.6342	5.0103	6.896	8.1067	8.5239	8.1066	6.8959	5.0102	2.634	2.89E-05	-2.6339	-5.0101	-6.8958	-8.1065	-8.5236	-8.1064	-6.8957	-5.0099	-2.6338	1.99E-04	8.5239	-8.5236
	28	2.6696	5.0777	6.9888	8.2158	8.6386	8.2157	6.9887	5.0776	2.6695	3.08E-05	-2.6694	-5.0775	-6.9886	-8.2156	-8.6383	-8.2155	-6.9885	-5.0774	-2.6692	2.04E-04	8.6386	-8.6383
	33	2.7061	5.147	7.0842	8.3279	8.7564	8.3278	7.0841	5.1469	2.7059	3.29E-05	-2.7058	-5.1468	-7.0839	-8.3276	-8.7562	-8.3276	-7.0838	-5.1466	-2.7057	2.08E-04	8.7564	-8.7562
	38	2.7435	5.2182	7.1822	8.4431	8.8775	8.443	7.1821	5.2181	2.7433	3.50E-05	-2.7432	-5.218	-7.1819	-8.4428	-8.8773	-8.4428	-7.1818	-5.2178	-2.7431	2.13E-04	8.8775	-8.8773
	43	2.782	5.2914	7.2829	8.5615	9.002	8.5614	7.2828	5.2912	2.7818	3.73E-05	-2.7817	-5.2911	-7.2826	-8.5612	-9.0018	-8.5612	-7.2825	-5.291	-2.7815	2.17E-04	9.002	-9.0018
	48	2.8215	5.3667	7.3865	8.6833	9.1301	8.6832	7.3864	5.3665	2.8214	3.97E-05	-2.8213	-5.3664	-7.3862	-8.683	-9.1298	-8.683	-7.3861	-5.3663	-2.8211	2.22E-04	9.1301	-9.1298
																					9.13	-9.13	

Figura 3.53 Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm2mm.

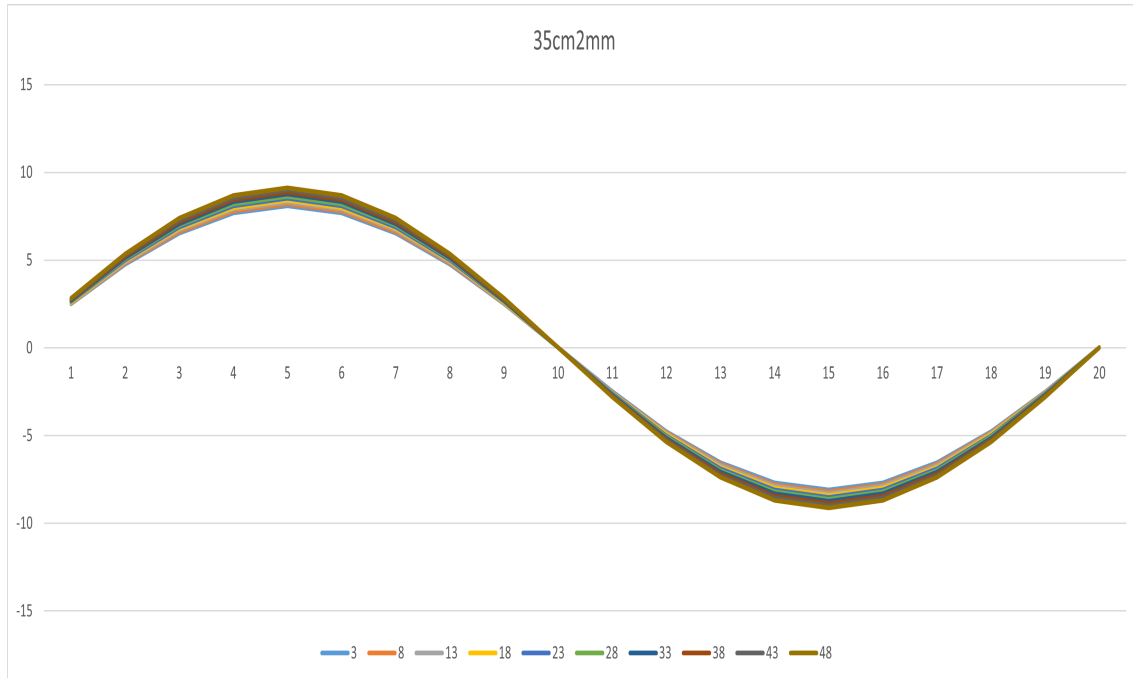


Figura 3.54 Tronco de cono 35cm2mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
Rebanada	3	2.4982	4.7516	6.54	7.6881	8.0838	7.6881	6.5399	4.7515	2.498	2.18E-05	-2.498	-4.7514	-6.5398	-7.6879	-8.0836	-7.6879	-6.5397	-4.7513	-2.4978	1.83E-04	8.0838	-8.0836
	8	2.53	4.8122	6.6234	7.7862	8.1869	7.7862	6.6233	4.8121	2.5299	2.34E-05	-2.5298	-4.812	-6.6232	-7.786	-8.1867	-7.7859	-6.6231	-4.8119	-2.5297	1.87E-04	8.1869	-8.1867
	13	2.5627	4.8744	6.709	7.8868	8.2927	7.8868	6.7089	4.8743	2.5626	2.51E-05	-2.5625	-4.8742	-6.7087	-7.8866	-8.2924	-7.8865	-6.7086	-4.8741	-2.5623	1.91E-04	8.2927	-8.2924
	18	2.5963	4.9382	6.7968	7.99	8.4012	7.99	6.7967	4.9381	2.5961	2.69E-05	-2.596	-4.938	-6.7966	-7.9898	-8.401	-7.9898	-6.7965	-4.9379	-2.5959	1.95E-04	8.4012	-8.401
	23	2.6307	5.0037	6.8869	8.096	8.5126	8.096	6.8868	5.0036	2.6305	2.87E-05	-2.6305	-5.0035	-6.8867	-8.0958	-8.5124	-8.0957	-6.8866	-5.0033	-2.6303	1.99E-04	8.5126	-8.5124
	28	2.6661	5.071	6.9795	8.2048	8.627	8.2048	6.9794	5.0708	2.6659	3.07E-05	-2.6658	-5.0707	-6.9793	-8.2046	-8.6268	-8.2045	-6.9791	-5.0706	-2.6657	2.03E-04	8.627	-8.6268
	33	2.7024	5.14	7.0746	8.3166	8.7446	8.3166	7.0745	5.1399	2.7022	3.27E-05	-2.7022	-5.1398	-7.0743	-8.3164	-8.7443	-8.3163	-7.0742	-5.1397	-2.702	2.08E-04	8.7446	-8.7443
	38	2.7397	5.211	7.1723	8.4315	8.8653	8.4314	7.1722	5.2109	2.7395	3.48E-05	-2.7395	-5.2108	-7.172	-8.4312	-8.8651	-8.4312	-7.1719	-5.2106	-2.7393	2.12E-04	8.8653	-8.8651
	43	2.7781	5.284	7.2727	8.5496	8.9895	8.5495	7.2726	5.2839	2.7779	3.71E-05	-2.7778	-5.2838	-7.2725	-8.5493	-8.9893	-8.5493	-7.2724	-5.2836	-2.7777	2.17E-04	8.9895	-8.9893
	48	2.8175	5.3591	7.3761	8.671	9.1172	8.671	7.376	5.3589	2.8174	3.94E-05	-2.8173	-5.3588	-7.3758	-8.6708	-9.117	-8.6707	-7.3757	-5.3587	-2.8171	2.22E-04	9.1172	-9.117
																					9.117	-9.117	

Figura 3.55 Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm1mm.

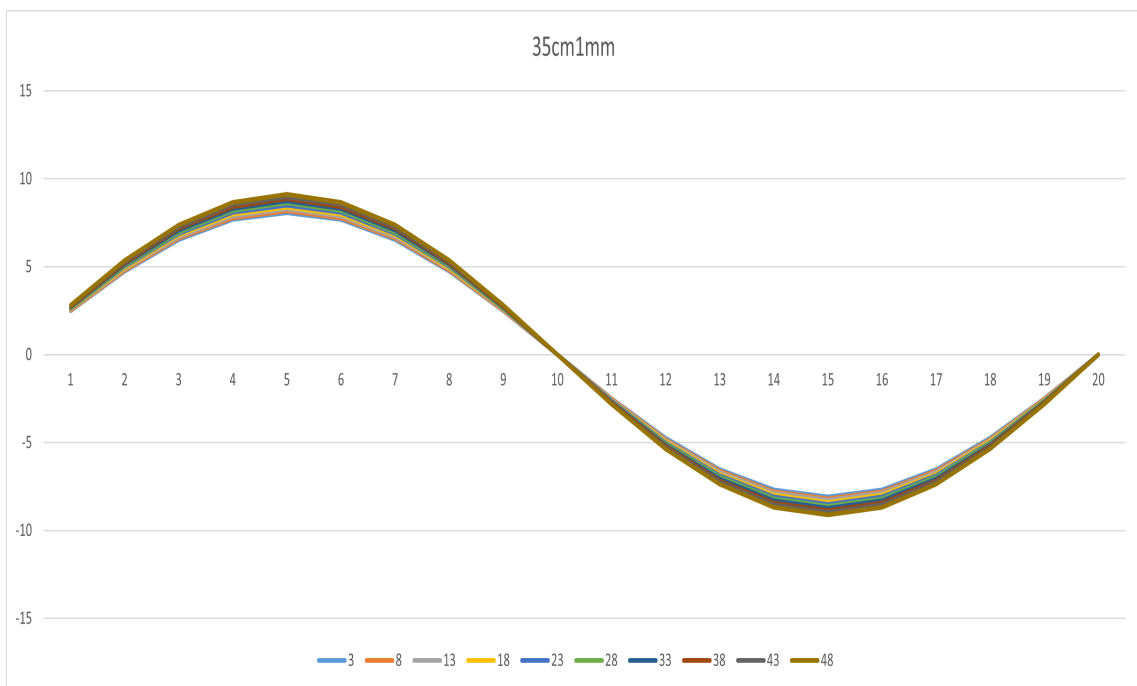


Figura 3.56 Tronco de cono 35cm1mm.

La diferencia entre los valores entre los cuerpos de 1mm y 3mm es de:

$$\Delta q_{xy_{max}} = \frac{9.143 - 9.117}{9.143} \cdot 100 \approx 0.2844\%$$

3.3.4 Modelos 30cm

Este conjunto de troncos de cono de conicidad 0.01 muestran curvas que, en las últimas rebanadas, se empiezan a separar unas de otras. Los valores máximos del flujo de tensiones tangenciales ronda los 10.5 kN/m, lo que indica que el aumento de la conicidad aumenta dichos valores del flujo. Como el caso anterior, el espesor no tiene apenas influencia en dichos valores.

		Elemento radial																			Máx.	Min.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.5204	4.7938	6.598	7.7564	8.1555	7.7564	6.5979	4.7937	2.5202	2.29E-05	-2.5201	-4.7936	-6.5978	-7.7562	-8.1553	-7.7561	-6.5977	-4.7935	-2.52	1.86E-04	8.1555	-8.1553
	8	2.5861	4.9188	6.7701	7.9587	8.3682	7.9586	6.77	4.9187	2.5859	2.63E-05	-2.5859	-4.9186	-6.7699	-7.9584	-8.368	-7.9584	-6.7698	-4.9184	-2.5857	1.94E-04	8.3682	-8.368
	13	2.6553	5.0505	6.9514	8.1717	8.5922	8.1717	6.9512	5.0504	2.6551	3.01E-05	-2.6551	-5.0503	-6.9511	-8.1715	-8.592	-8.1715	-6.951	-5.0501	-2.6549	2.02E-04	8.5922	-8.592
	18	2.7284	5.1895	7.1426	8.3965	8.8286	8.3965	7.1425	5.1893	2.7282	3.42E-05	-2.7281	-5.1892	-7.1423	-8.3963	-8.8284	-8.3962	-7.1422	-5.1891	-2.7279	2.11E-04	8.8286	-8.8284
	23	2.8055	5.3363	7.3446	8.6341	9.0784	8.634	7.3445	5.3361	2.8054	3.87E-05	-2.8053	-5.336	-7.3444	-8.6338	-9.0781	-8.6338	-7.3443	-5.3358	-2.8051	2.20E-04	9.0784	-9.0781
	28	2.8872	5.4916	7.5584	8.8854	9.3426	8.8854	7.5583	5.4914	2.887	4.37E-05	-2.887	-5.4913	-7.5582	-8.8851	-9.3424	-8.8851	-7.5581	-5.4912	-2.8868	2.31E-04	9.3426	-9.3424
	33	2.9738	5.6563	7.7851	9.1518	9.6228	9.1518	7.785	5.6561	2.9736	4.92E-05	-2.9735	-5.656	-7.7848	-9.1515	-9.6225	-9.1515	-7.7847	-5.6558	-2.9733	2.42E-04	9.6228	-9.6225
	38	3.0657	5.8311	8.0257	9.4347	9.9202	9.4347	8.0256	5.8309	3.0655	5.54E-05	-3.0654	-5.8308	-8.0254	-9.4344	-9.9199	-9.4344	-8.0253	-5.8306	-3.0652	2.54E-04	9.9202	-9.9199
	43	3.1635	6.0171	8.2817	9.7357	10.237	9.7356	8.2816	6.0169	3.1633	6.22E-05	-3.1632	-6.0168	-8.2814	-9.7354	-10.236	-9.7353	-8.2813	-6.0166	-3.163	2.67E-04	10.237	-10.236
	48	3.2677	6.2154	8.5546	10.056	10.574	10.056	8.5545	6.2152	3.2675	6.99E-05	-3.2674	-6.215	-8.5542	-10.056	-10.574	-10.056	-8.5541	-6.2149	-3.2672	2.81E-04	10.574	-10.574
																					10.57	-10.57	

Figura 3.57 Resultados numéricos para el tronco de cono 30cm3mm.

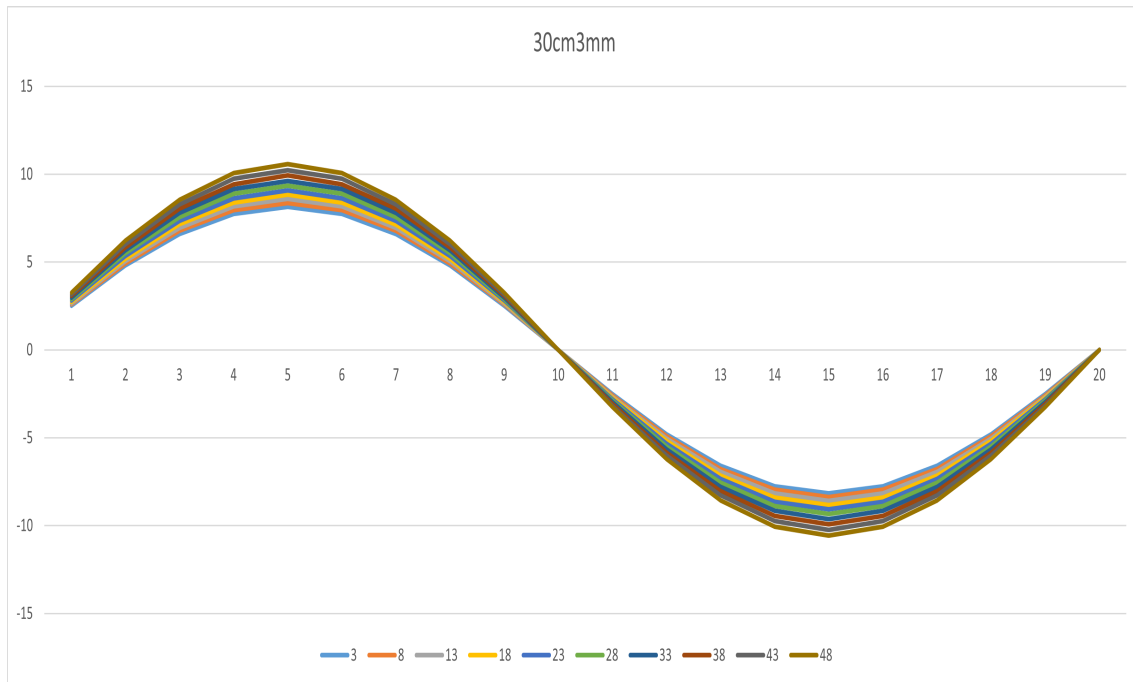


Figura 3.58 Tronco de cono 30cm3mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.5172	4.7878	6.5897	7.7466	8.1453	7.7466	6.5896	4.7876	2.517	2.28E-05	-2.517	-4.7876	-6.5895	-7.7464	-8.145	-7.7464	-6.5894	-4.7874	-2.5168	1.86E-04	8.1453	-8.145
	8	2.5827	4.9124	6.7613	7.9484	8.3574	7.9483	6.7612	4.9123	2.5826	2.62E-05	-2.5825	-4.9122	-6.7611	-7.9481	-8.3571	-7.9481	-6.761	-4.9121	-2.5824	1.93E-04	8.3574	-8.3571
	13	2.6518	5.0438	6.9421	8.1609	8.5808	8.1608	6.942	5.0437	2.6516	2.99E-05	-2.6516	-5.0436	-6.9419	-8.1607	-8.5806	-8.1606	-6.9418	-5.0434	-2.6514	2.01E-04	8.5808	-8.5806
	18	2.7246	5.1824	7.1328	8.3851	8.8166	8.385	7.1327	5.1822	2.7245	3.39E-05	-2.7244	-5.1821	-7.1326	-8.3848	-8.8163	-8.3848	-7.1325	-5.182	-2.7242	2.10E-04	8.8166	-8.8163
	23	2.8016	5.3288	7.3343	8.622	9.0656	8.6219	7.3342	5.3286	2.8014	3.85E-05	-2.8013	-5.3285	-7.3341	-8.6217	-9.0654	-8.6216	-7.334	-5.3284	-2.8012	2.20E-04	9.0656	-9.0654
	28	2.8831	5.4837	7.5475	8.8726	9.3292	8.8725	7.5474	5.4835	2.8829	4.34E-05	-2.8828	-5.4834	-7.5473	-8.8723	-9.3289	-8.8723	-7.5471	-5.4832	-2.8826	2.30E-04	9.3292	-9.3289
	33	2.9694	5.6478	7.7735	9.1382	9.6085	9.1382	7.7734	5.6477	2.9692	4.89E-05	-2.9691	-5.6476	-7.7732	-9.1379	-9.6082	-9.1379	-7.7731	-5.6474	-2.9689	2.41E-04	9.6085	-9.6082
	38	3.061	5.8222	8.0134	9.4203	9.905	9.4202	8.0133	5.822	3.0608	5.51E-05	-3.0607	-5.8219	-8.0131	-9.42	-9.9047	-9.4199	-8.013	-5.8217	-3.0605	2.53E-04	9.905	-9.9047
	43	3.1585	6.0076	8.2686	9.7203	10.22	9.7202	8.2685	6.0074	3.1583	6.19E-05	-3.1582	-6.0073	-8.2683	-9.72	-10.22	-9.7199	-8.2682	-6.0071	-3.158	2.66E-04	10.22	-10.22
	48	3.2624	6.2052	8.5406	10.04	10.557	10.04	8.5405	6.2051	3.2622	6.95E-05	-3.2621	-6.2049	-8.5403	-10.04	-10.556	-10.04	-8.5401	-6.2047	-3.2619	2.81E-04	10.557	-10.556
		10.557	-10.556																				

Figura 3.59 Resultados numéricos para el tronco de cono 30cm2mm.

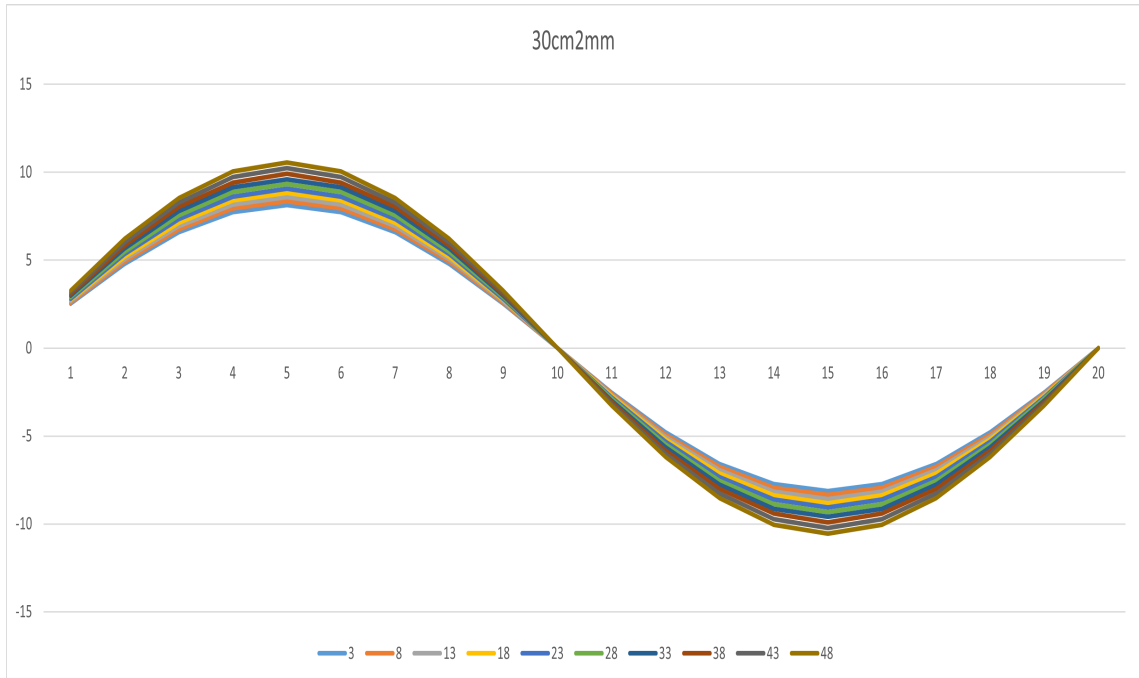


Figura 3.60 Tronco de cono 30cm2mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.514	4.7817	6.5814	7.7369	8.135	7.7368	6.5813	4.7816	2.5139	2.26E-05	-2.5138	-4.7815	-6.5812	-7.7367	-8.1348	-7.7366	-6.5811	-4.7814	-2.5136	1.85E-04	8.135	-8.1348
	8	2.5794	4.9061	6.7526	7.9381	8.3466	7.938	6.7525	4.906	2.5792	2.60E-05	-2.5792	-4.9059	-6.7524	-7.9379	-8.3463	-7.9378	-6.7523	-4.9057	-2.579	1.93E-04	8.3466	-8.3463
	13	2.6483	5.0371	6.9329	8.1501	8.5694	8.15	6.9328	5.037	2.6481	2.97E-05	-2.648	-5.0369	-6.9327	-8.1498	-8.5692	-8.1498	-6.9326	-5.0367	-2.6479	2.01E-04	8.5694	-8.5692
	18	2.7209	5.1753	7.1231	8.3737	8.8045	8.3736	7.123	5.1752	2.7207	3.37E-05	-2.7207	-5.1751	-7.1228	-8.3734	-8.8043	-8.3734	-7.1227	-5.1749	-2.7205	2.10E-04	8.8045	-8.8043
	23	2.7977	5.3213	7.324	8.6099	9.0529	8.6098	7.3239	5.3212	2.7975	3.82E-05	-2.7974	-5.321	-7.3238	-8.6096	-9.0527	-8.6096	-7.3237	-5.3209	-2.7972	2.19E-04	9.0529	-9.0527
	28	2.8789	5.4758	7.5366	8.8598	9.3157	8.8597	7.5365	5.4756	2.8787	4.32E-05	-2.8786	-5.4755	-7.5364	-8.8595	-9.3154	-8.8595	-7.5363	-5.4753	-2.8784	2.29E-04	9.3157	-9.3154
	33	2.965	5.6395	7.762	9.1247	9.5942	9.1246	7.7618	5.6393	2.9648	4.87E-05	-2.9647	-5.6392	-7.7617	-9.1244	-9.5939	-9.1243	-7.7615	-5.639	-2.9645	2.41E-04	9.5942	-9.5939
	38	3.0563	5.8132	8.0012	9.4058	9.8899	9.4058	8.001	5.8131	3.0562	5.48E-05	-3.056	-5.8129	-8.0009	-9.4055	-9.8895	-9.4055	-8.0007	-5.8128	-3.0559	2.53E-04	9.8899	-9.8895
	43	3.1535	5.9981	8.2556	9.7049	10.204	9.7049	8.2554	5.9979	3.1533	6.15E-05	-3.1532	-5.9978	-8.2552	-9.7046	-10.204	-9.7045	-8.2551	-5.9976	-3.153	2.66E-04	10.204	-10.204
	48	3.2571	6.1951	8.5267	10.024	10.539	10.024	8.5266	6.1949	3.2569	6.91E-05	-3.2567	-6.1947	-8.5263	-10.023	-10.539	-10.023	-8.5262	-6.1946	-3.2565	2.80E-04	10.539	-10.539
																					10.54	-10.54	

Figura 3.61 Resultados numéricos para el tronco de cono 30cm1mm.

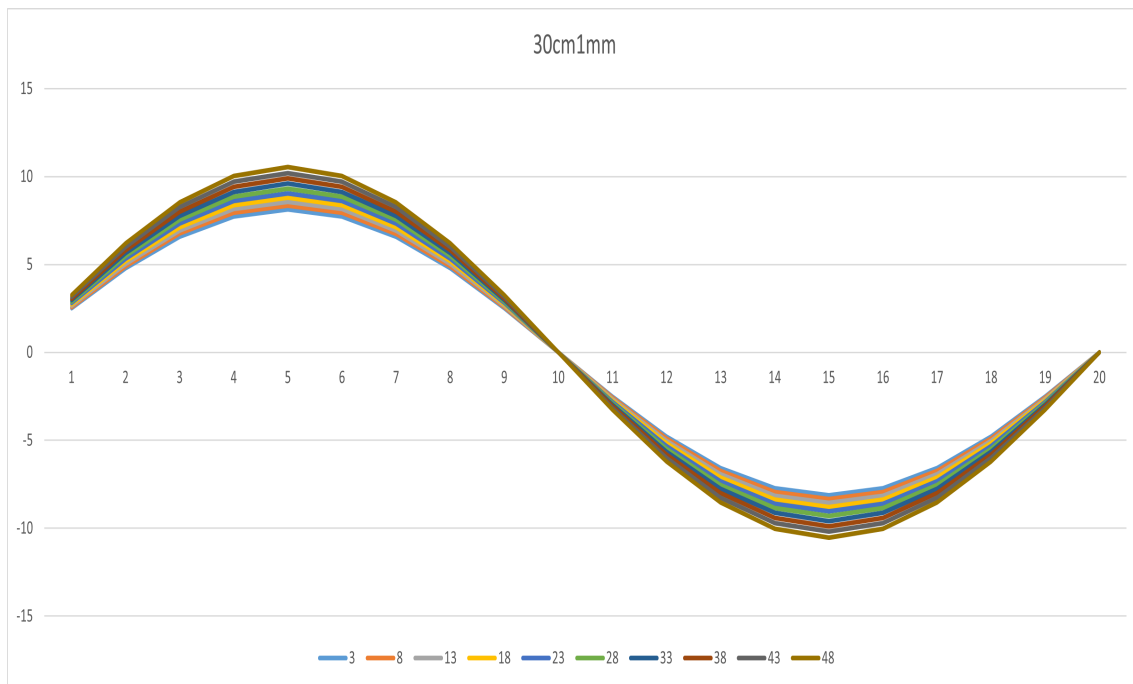


Figura 3.62 Tronco de cono 30cm1mm.

La diferencia entre los valores entre los cuerpos de 1mm y 3mm es de:

$$\Delta q_{xy_{max}} = \frac{10.570 - 10.540}{10.570} \cdot 100 \approx 0.2838\%$$

3.3.5 Modelos 25cm

Los casos de conicidad 0.015 ya presentan curvas que están separadas unas de otras para todas las rebanadas aquí estudiadas y aumentado esta diferencia conforme las rebanadas se alejan del empotramiento. Los valores máximos siguen aumentando con la conicidad y llegan entorno a 12.5 kN/m. El espesor, como casos anteriores, no parece ser un factor influyente en dichos valores.

		Elemento radial																			Máx.	Min.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.5365	4.8245	6.6402	7.806	8.2077	7.806	6.6401	4.8243	2.5363	2.38E-05	-2.5362	-4.8243	-6.64	-7.8058	-8.2075	-7.8057	-6.6399	-4.8241	-2.5361	1.88E-04	8.2077	-8.2075
	8	2.6377	5.0169	6.9051	8.1174	8.5351	8.1174	6.905	5.0168	2.6375	2.91E-05	-2.6374	-5.0167	-6.9049	-8.1172	-8.5349	-8.1171	-6.9048	-5.0166	-2.6373	2.00E-04	8.5351	-8.5349
	13	2.7473	5.2254	7.192	8.4547	8.8897	8.4546	7.1919	5.2252	2.7471	3.52E-05	-2.747	-5.2251	-7.1918	-8.4544	-8.8895	-8.4544	-7.1917	-5.225	-2.7468	2.13E-04	8.8897	-8.8895
	18	2.8664	5.4519	7.5038	8.8212	9.2751	8.8212	7.5037	5.4518	2.8662	4.24E-05	-2.8661	-5.4517	-7.5036	-8.821	-9.2749	-8.8209	-7.5035	-5.4515	-2.8659	2.28E-04	9.2751	-9.2749
	23	2.9963	5.699	7.8439	9.221	9.6955	9.2209	7.8438	5.6988	2.9961	5.07E-05	-2.996	-5.6987	-7.8436	-9.2207	-9.6952	-9.2206	-7.8435	-5.6985	-2.9958	2.45E-04	9.6955	-9.6952
	28	3.1385	5.9695	8.2162	9.6587	10.156	9.6586	8.2161	5.9693	3.1383	6.05E-05	-3.1382	-5.9692	-8.2159	-9.6583	-10.155	-9.6583	-8.2158	-5.969	-3.138	2.64E-04	10.156	-10.155
	33	3.2949	6.267	8.6256	10.14	10.662	10.14	8.6255	6.2668	3.2947	7.20E-05	-3.2945	-6.2666	-8.6253	-10.14	-10.661	-10.14	-8.6252	-6.2664	-3.2943	2.85E-04	10.662	-10.661
	38	3.4677	6.5957	9.078	10.672	11.221	10.672	9.0779	6.5955	3.4675	8.56E-05	-3.4673	-6.5953	-9.0776	-10.671	-11.221	-10.671	-9.0775	-6.5951	-3.4671	3.10E-04	11.221	-11.221
	43	3.6596	6.9607	9.5805	11.262	11.842	11.262	9.5804	6.9605	3.6594	1.02E-04	-3.6592	-6.9603	-9.5801	-11.262	-11.842	-11.262	-9.5799	-6.9601	-3.659	3.39E-04	11.842	-11.842
	48	3.8741	7.3686	10.142	11.922	12.536	11.922	10.142	7.3684	3.8738	1.22E-04	-3.8736	-7.3681	-10.141	-11.922	-12.535	-11.922	-10.141	-7.3679	-3.8733	3.72E-04	12.536	-12.535
																					12.54	-12.54	

Figura 3.63 Resultados numéricos para el tronco de cono 25cm3mm.

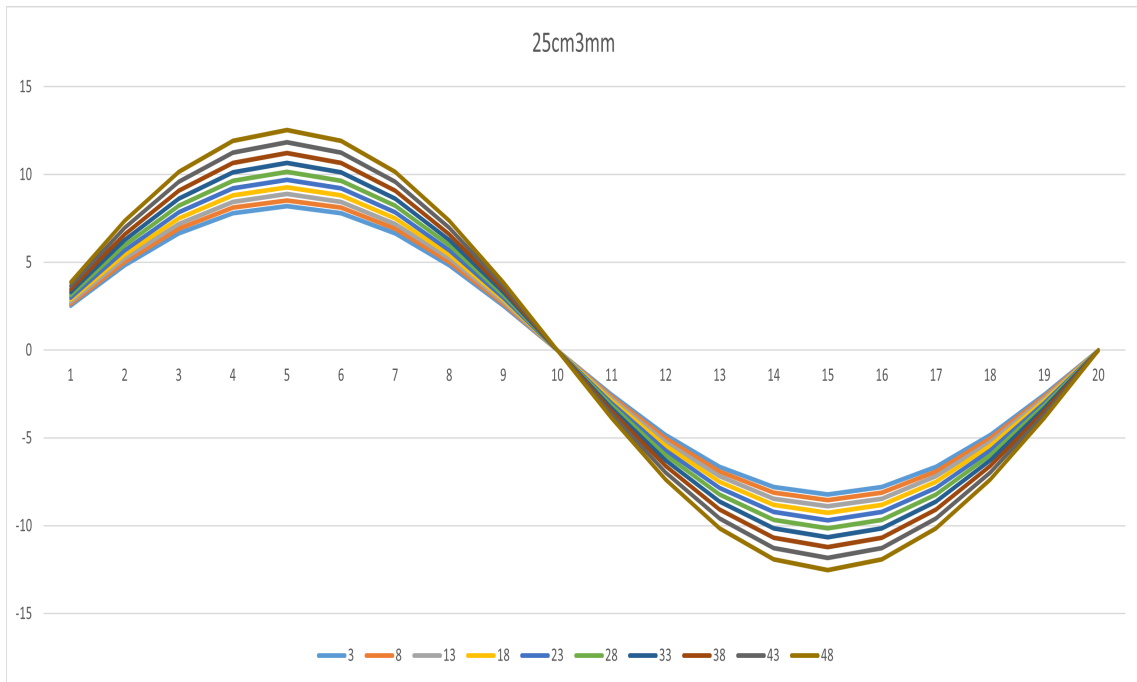


Figura 3.64 Tronco de cono 25cm3mm.

		Elemento radial																				Máx.	Mín.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.5332	4.8183	6.6318	7.7961	8.1973	7.796	6.6317	4.8182	2.5331	2.36E-05	-2.533	-4.8181	-6.6316	-7.7959	-8.1971	-7.7958	-6.6315	-4.818	-2.5329	1.88E-04	8.1973	-8.1971
	8	2.6342	5.0103	6.896	8.1067	8.5239	8.1066	6.8959	5.0102	2.634	2.89E-05	-2.6339	-5.0101	-6.8958	-8.1065	-8.5236	-8.1064	-6.8957	-5.0099	-2.6338	1.99E-04	8.5239	-8.5236
	13	2.7435	5.2182	7.1822	8.4431	8.8775	8.443	7.1821	5.2181	2.7433	3.50E-05	-2.7432	-5.218	-7.1819	-8.4428	-8.8773	-8.4428	-7.1818	-5.2178	-2.7431	2.13E-04	8.8775	-8.8773
	18	2.8622	5.4441	7.4931	8.8086	9.2619	8.8085	7.493	5.444	2.8621	4.21E-05	-2.862	-5.4438	-7.4928	-8.8083	-9.2616	-8.8083	-7.4927	-5.4437	-2.8618	2.27E-04	9.2619	-9.2616
	23	2.9918	5.6905	7.8321	9.2072	9.6809	9.2071	7.832	5.6903	2.9916	5.04E-05	-2.9915	-5.6902	-7.8318	-9.2069	-9.6806	-9.2068	-7.8317	-5.69	-2.9913	2.44E-04	9.6809	-9.6806
	28	3.1336	5.9601	8.2033	9.6435	10.14	9.6434	8.2032	5.96	3.1334	6.01E-05	-3.1332	-5.9598	-8.203	-9.6432	-10.139	-9.6431	-8.2029	-5.9597	-3.1331	2.63E-04	10.14	-10.139
	33	3.2895	6.2567	8.6114	10.123	10.644	10.123	8.6113	6.2565	3.2893	7.15E-05	-3.2891	-6.2563	-8.6111	-10.123	-10.644	-10.123	-8.611	-6.2561	-3.2889	2.84E-04	10.644	-10.644
	38	3.4617	6.5843	9.0623	10.653	11.201	10.653	9.0622	6.5841	3.4615	8.51E-05	-3.4613	-6.5839	-9.0619	-10.653	-11.201	-10.653	-9.0618	-6.5837	-3.4611	3.09E-04	11.201	-11.201
	43	3.653	6.948	9.563	11.242	11.82	11.242	9.5629	6.9478	3.6527	1.01E-04	-3.6525	-6.9476	-9.5626	-11.241	-11.82	-11.241	-9.5624	-6.9474	-3.6523	3.38E-04	11.82	-11.82
	48	3.8666	7.3543	10.122	11.899	12.512	11.899	10.122	7.3541	3.8663	1.21E-04	-3.8661	-7.3538	-10.122	-11.899	-12.511	-11.899	-10.122	-7.3536	-3.8659	3.71E-04	12.512	-12.511
																						12.51	-12.51

Figura 3.65 Resultados numéricos para el tronco de cono 25cm2mm.

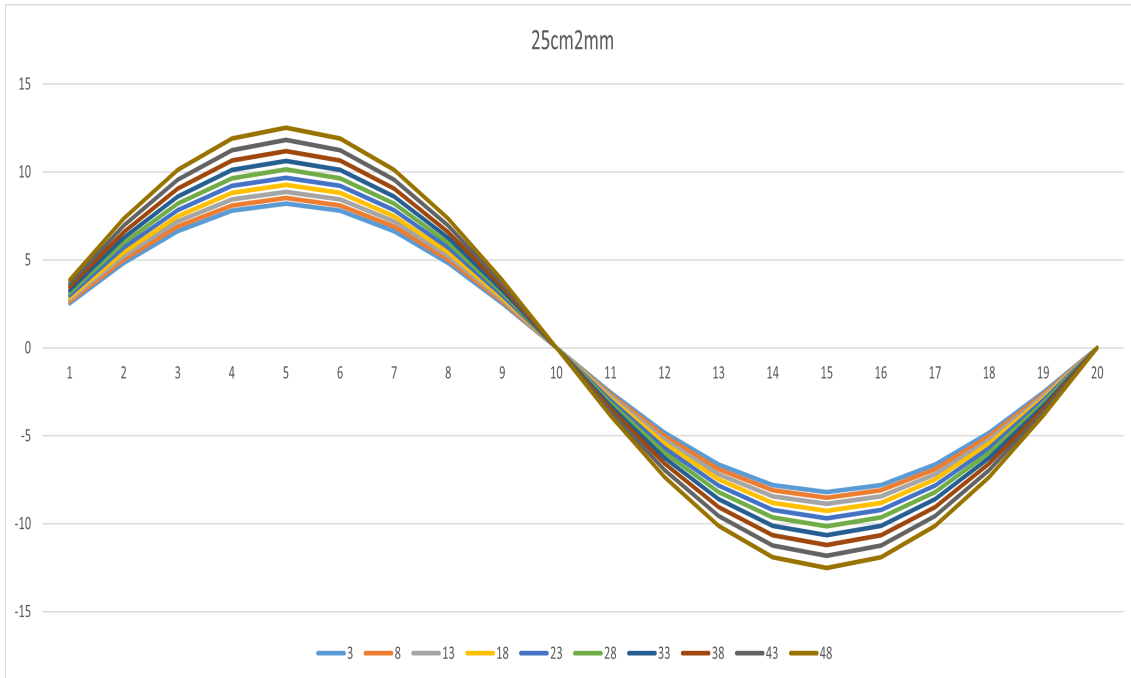


Figura 3.66 Tronco de cono 25cm2mm.

		Elemento radial																			Máx.	Min.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.53	4.8122	6.6234	7.7862	8.1869	7.7862	6.6233	4.8121	2.5299	2.34E-05	-2.5298	-4.812	-6.6232	-7.786	-8.1867	-7.7859	-6.6231	-4.8119	-2.5297	1.87E-04	8.1869	-8.1867
	8	2.6307	5.0037	6.8869	8.096	8.5126	8.096	6.8868	5.0036	2.6305	2.87E-05	-2.6305	-5.0035	-6.8867	-8.0958	-8.5124	-8.0957	-6.8866	-5.0033	-2.6303	1.99E-04	8.5126	-8.5124
	13	2.7397	5.211	7.1723	8.4315	8.8653	8.4314	7.1722	5.2109	2.7395	3.48E-05	-2.7395	-5.2108	-7.172	-8.4312	-8.8651	-8.4312	-7.1719	-5.2106	-2.7393	2.12E-04	8.8653	-8.8651
	18	2.8581	5.4363	7.4823	8.796	9.2486	8.7959	7.4822	5.4362	2.858	4.19E-05	-2.8579	-5.436	-7.4821	-8.7957	-9.2483	-8.7956	-7.482	-5.4359	-2.8577	2.27E-04	9.2486	-9.2483
	23	2.9873	5.6819	7.8204	9.1934	9.6664	9.1933	7.8203	5.6818	2.9871	5.01E-05	-2.987	-5.6816	-7.8201	-9.1931	-9.6661	-9.193	-7.82	-5.6815	-2.9868	2.43E-04	9.6664	-9.6661
	28	3.1287	5.9508	8.1905	9.6284	10.124	9.6283	8.1903	5.9506	3.1285	5.98E-05	-3.1283	-5.9505	-8.1901	-9.6281	-10.124	-9.628	-8.19	-5.9503	-3.1281	2.62E-04	10.124	-10.124
	33	3.2841	6.2464	8.5973	10.107	10.627	10.107	8.5971	6.2462	3.2839	7.11E-05	-3.2837	-6.246	-8.5969	-10.106	-10.626	-10.106	-8.5968	-6.2458	-3.2835	2.84E-04	10.627	-10.626
	38	3.4557	6.5729	9.0466	10.635	11.182	10.635	9.0465	6.5727	3.4555	8.46E-05	-3.4553	-6.5725	-9.0462	-10.634	-11.182	-10.634	-9.0461	-6.5723	-3.4551	3.08E-04	11.182	-11.182
	43	3.6463	6.9353	9.5455	11.221	11.799	11.221	9.5454	6.9351	3.6461	1.01E-04	-3.6458	-6.9349	-9.5451	-11.221	-11.798	-11.221	-9.5449	-6.9347	-3.6456	3.37E-04	11.799	-11.798
	48	3.8591	7.3401	10.103	11.876	12.487	11.876	10.102	7.3399	3.8589	1.20E-04	-3.8586	-7.3396	-10.102	-11.876	-12.487	-11.876	-10.102	-7.3394	-3.8584	3.70E-04	12.487	-12.487
																					12.49	-12.49	

Figura 3.67 Resultados numéricos para el tronco de cono 25cm1mm.

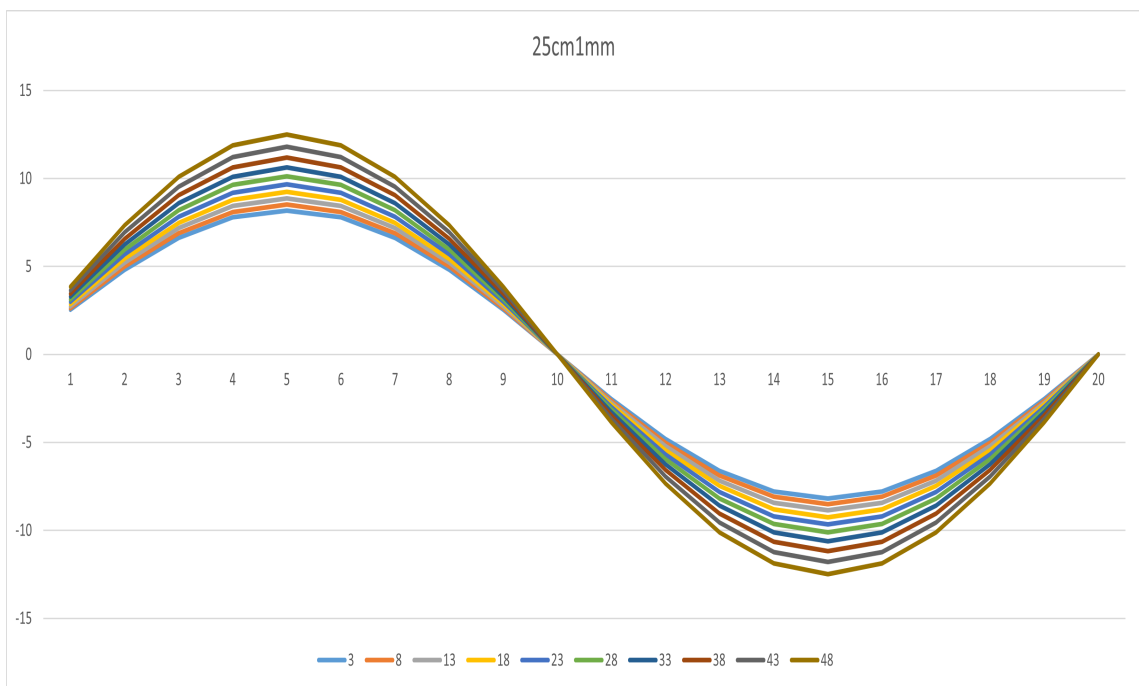


Figura 3.68 Tronco de cono 25cm1mm.

La diferencia entre los valores entre los cuerpos de 1mm y 3mm es de:

$$\Delta q_{xy_{max}} = \frac{12.540 - 12.490}{12.590} \cdot 100 \approx 0.3987 \%$$

3.3.6 Modelos 20cm

El último conjunto de cuerpos que se analiza aquí, de conicidad 0.02, muestra curvas que se separan unas de otras, siendo ya bastante notable si cabe la separación entre las últimas rebanadas y las primeras. Los valores máximos que se llegan a alcanzar se encuentran alrededor de los 15.3 kN/m y, como el resto de conicidades aquí estudiadas, el espesor afecta muy poco a los valores del flujo de tensiones tangenciales.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.5528	4.8555	6.683	7.8562	8.2605	7.8562	6.6829	4.8554	2.5526	2.46E-05	-2.5526	-4.8553	-6.6827	-7.856	-8.2603	-7.856	-6.6826	-4.8552	-2.5524	1.90E-04	8.2605	-8.2603
	8	2.6913	5.119	7.0457	8.2826	8.7088	8.2826	7.0456	5.1189	2.6912	3.21E-05	-2.6911	-5.1188	-7.0454	-8.2824	-8.7086	-8.2823	-7.0453	-5.1187	-2.6909	2.06E-04	8.7088	-8.7086
	13	2.8458	5.4128	7.45	8.7579	9.2086	8.7579	7.4499	5.4127	2.8456	4.11E-05	-2.8455	-5.4125	-7.4497	-8.7577	-9.2083	-8.7576	-7.4496	-5.4124	-2.8454	2.25E-04	9.2086	-9.2083
	18	3.0191	5.7423	7.9036	9.2911	9.7692	9.2911	7.9035	5.7422	3.0189	5.22E-05	-3.0188	-5.742	-7.9033	-9.2908	-9.7689	-9.2908	-7.9032	-5.7419	-3.0186	2.48E-04	9.7692	-9.7689
	23	3.2148	6.1146	8.4159	9.8935	10.403	9.8934	8.4158	6.1145	3.2146	6.60E-05	-3.2144	-6.1143	-8.4156	-9.8931	-10.402	-9.8931	-8.4155	-6.1141	-3.2142	2.74E-04	10.403	-10.402
	28	3.4377	6.5385	8.9994	10.579	11.124	10.579	8.9992	6.5383	3.4374	8.31E-05	-3.4373	-6.5381	-8.999	-10.579	-11.123	-10.579	-8.9988	-6.5379	-3.4371	3.06E-04	11.124	-11.123
	33	3.6937	7.0255	9.6697	11.367	11.952	11.367	9.6696	7.0253	3.6935	1.05E-04	-3.6933	-7.0251	-9.6692	-11.367	-11.952	-11.367	-9.6691	-7.0249	-3.6931	3.44E-04	11.952	-11.952
	38	3.991	7.591	10.448	12.282	12.914	12.282	10.448	7.5908	3.9908	1.33E-04	-3.9905	-7.5905	-10.447	-12.282	-12.914	-12.282	-10.447	-7.5902	-3.9902	3.91E-04	12.914	-12.914
	43	4.3403	8.2554	11.362	13.357	14.044	13.357	11.362	8.2552	4.3401	1.69E-04	-4.3397	-8.2548	-11.362	-13.357	-14.044	-13.356	-11.362	-8.2545	-4.3394	4.50E-04	14.044	-14.044
	48	4.7567	9.0472	12.452	14.638	15.392	14.638	12.452	9.047	4.7564	2.18E-04	-4.7559	-9.0465	-12.451	-14.638	-15.391	-14.638	-12.451	-9.0462	-4.7557	5.26E-04	15.392	-15.391
																					15.39	-15.39	

Figura 3.69 Resultados numéricos para el tronco de cono 20cm3mm.

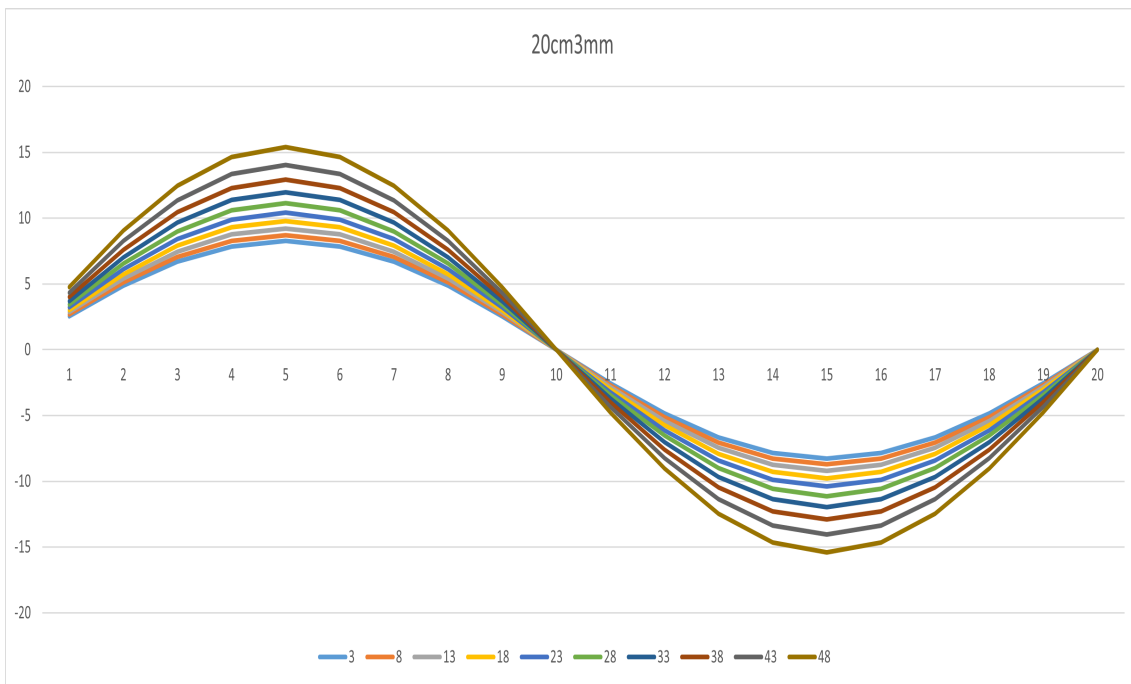


Figura 3.70 Tronco de cono 20cm3mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.5495	4.8493	6.6744	7.8462	8.25	7.8461	6.6743	4.8492	2.5494	2.44E-05	-2.5493	-4.8491	-6.6742	-7.846	-8.2497	-7.8459	-6.6741	-4.849	-2.5492	1.89E-04	8.25	-8.2497
	8	2.6877	5.1122	7.0362	8.2715	8.6971	8.2714	7.0361	5.112	2.6875	3.19E-05	-2.6875	-5.1119	-7.0359	-8.2712	-8.6969	-8.2712	-7.0358	-5.1118	-2.6873	2.06E-04	8.6971	-8.6969
	13	2.8417	5.4051	7.4394	8.7455	9.1955	8.7454	7.4393	5.405	2.8416	4.09E-05	-2.8415	-5.4048	-7.4391	-8.7452	-9.1952	-8.7452	-7.439	-5.4047	-2.8413	2.25E-04	9.1955	-9.1952
	18	3.0145	5.7337	7.8916	9.2771	9.7545	9.277	7.8915	5.7335	3.0143	5.19E-05	-3.0142	-5.7334	-7.8913	-9.2768	-9.7542	-9.2767	-7.8912	-5.7332	-3.014	2.47E-04	9.7545	-9.7542
	23	3.2096	6.1048	8.4024	9.8776	10.386	9.8775	8.4023	6.1046	3.2094	6.56E-05	-3.2093	-6.1045	-8.4021	-9.8772	-10.386	-9.8772	-8.402	-6.1043	-3.2091	2.73E-04	10.386	-10.386
	28	3.4318	6.5273	8.9839	10.561	11.105	10.561	8.9838	6.5271	3.4315	8.27E-05	-3.4314	-6.5269	-8.9835	-10.561	-11.104	-10.561	-8.9834	-6.5267	-3.4312	3.05E-04	11.105	-11.104
	33	3.6869	7.0126	9.6519	11.346	11.93	11.346	9.6517	7.0124	3.6867	1.04E-04	-3.6865	-7.0121	-9.6514	-11.346	-11.93	-11.346	-9.6513	-7.0119	-3.6862	3.43E-04	11.93	-11.93
	38	3.9831	7.5759	10.427	12.258	12.888	12.258	10.427	7.5756	3.9828	1.32E-04	-3.9825	-7.5753	-10.427	-12.257	-12.888	-12.257	-10.426	-7.5751	-3.9823	3.90E-04	12.888	-12.888
	43	4.3309	8.2375	11.338	13.328	14.014	13.328	11.338	8.2373	4.3307	1.68E-04	-4.3303	-8.2369	-11.337	-13.328	-14.013	-13.328	-11.337	-8.2367	-4.33	4.49E-04	14.014	-14.013
	48	4.7454	9.0258	12.423	14.604	15.355	14.604	12.423	9.0255	4.7451	2.17E-04	-4.7447	-9.025	-12.422	-14.603	-15.354	-14.603	-12.422	-9.0248	-4.7444	5.24E-04	15.355	-15.354
																					15.36	-15.35	

Figura 3.71 Resultados numéricos para el tronco de cono 20cm2mm.

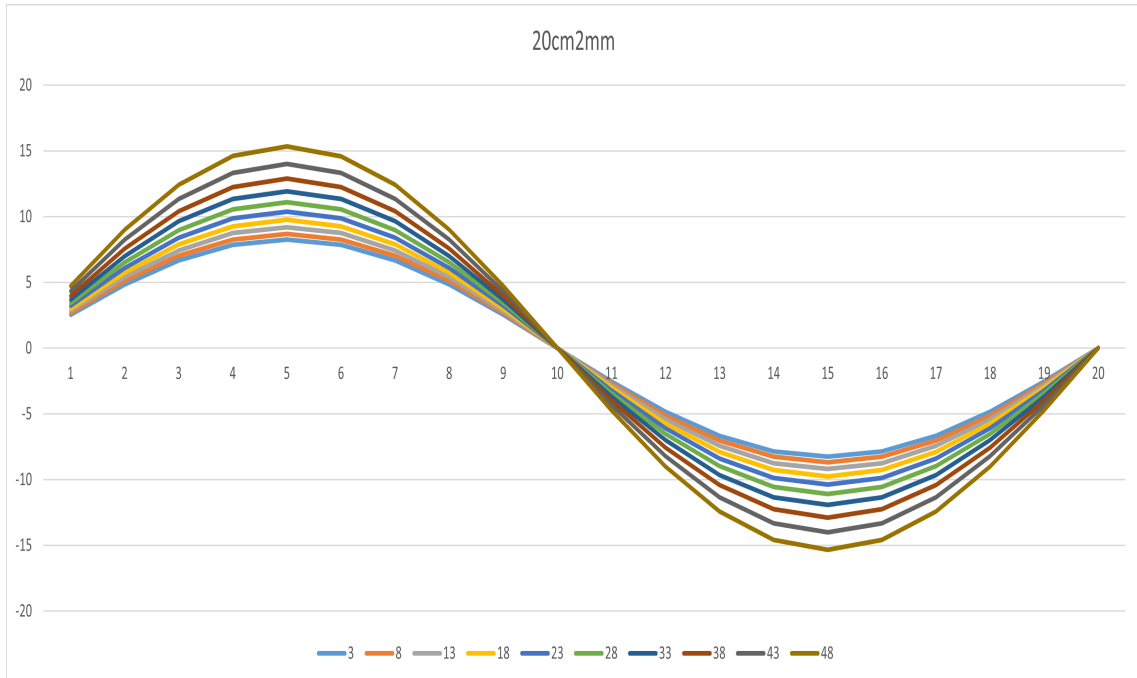


Figura 3.72 Tronco de cono 20cm2mm.

		Elemento radial																			Máx.	Mín.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rebanada	3	2.5463	4.8431	6.6659	7.8362	8.2394	7.8361	6.6658	4.843	2.5461	2.43E-05	-2.5461	-4.8429	-6.6657	-7.836	-8.2392	-7.8359	-6.6656	-4.8428	-2.5459	1.89E-04	8.2394	-8.2392
	8	2.6841	5.1053	7.0267	8.2603	8.6854	8.2603	7.0266	5.1051	2.6839	3.17E-05	-2.6839	-5.105	-7.0265	-8.2601	-8.6852	-8.2601	-7.0264	-5.1049	-2.6837	2.05E-04	8.6854	-8.6852
	13	2.8377	5.3974	7.4288	8.733	9.1824	8.733	7.4287	5.3973	2.8375	4.06E-05	-2.8374	-5.3972	-7.4285	-8.7328	-9.1822	-8.7327	-7.4284	-5.397	-2.8373	2.24E-04	9.1824	-9.1822
	18	3.01	5.725	7.8797	9.2631	9.7398	9.2631	7.8796	5.7249	3.0098	5.16E-05	-3.0097	-5.7247	-7.8794	-9.2628	-9.7395	-9.2628	-7.8793	-5.7246	-3.0095	2.46E-04	9.7398	-9.7395
	23	3.2045	6.095	8.3889	9.8617	10.369	9.8617	8.3888	6.0948	3.2043	6.52E-05	-3.2041	-6.0947	-8.3886	-9.8614	-10.369	-9.8613	-8.3885	-6.0945	-3.2039	2.73E-04	10.369	-10.369
	28	3.4259	6.5161	8.9685	10.543	11.086	10.543	8.9684	6.5159	3.4257	8.22E-05	-3.4255	-6.5157	-8.9681	-10.543	-11.085	-10.543	-8.968	-6.5155	-3.4253	3.04E-04	11.086	-11.085
	33	3.6801	6.9996	9.6341	11.325	11.908	11.325	9.6339	6.9995	3.6799	1.04E-04	-3.6797	-6.9992	-9.6336	-11.325	-11.908	-11.325	-9.6335	-6.999	-3.6794	3.42E-04	11.908	-11.908
	38	3.9751	7.5608	10.406	12.233	12.863	12.233	10.406	7.5606	3.9749	1.31E-04	-3.9746	-7.5603	-10.406	-12.233	-12.862	-12.233	-10.406	-7.56	-3.9744	3.89E-04	12.863	-12.862
	43	4.3216	8.2197	11.313	13.299	13.984	13.299	11.313	8.2195	4.3213	1.67E-04	-4.3209	-8.2191	-11.313	-13.299	-13.983	-13.299	-11.312	-8.2188	-4.3207	4.47E-04	13.984	-13.983
	48	4.7342	9.0044	12.393	14.569	15.319	14.569	12.393	9.0041	4.7339	2.15E-04	-4.7334	-9.0036	-12.393	-14.568	-15.318	-14.568	-12.392	-9.0034	-4.7331	5.22E-04	15.319	-15.318
																					15.32	-15.32	

Figura 3.73 Resultados numéricos para el tronco de cono 20cm1mm.

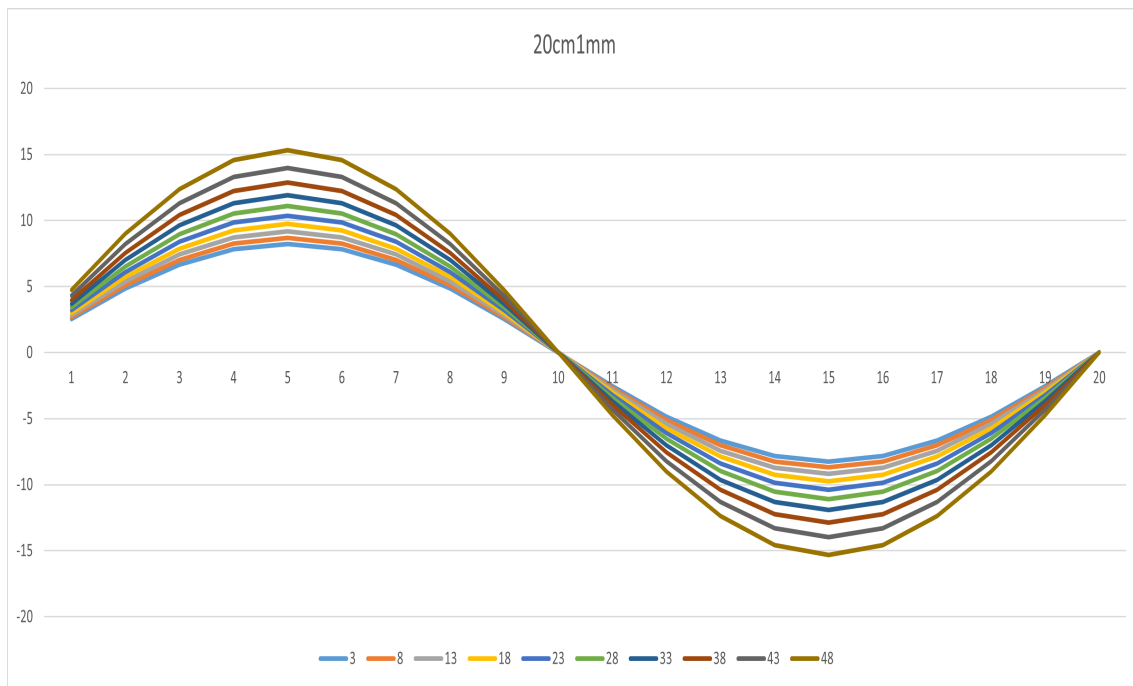


Figura 3.74 Tronco de cono 20cm1mm.

La diferencia entre los valores entre los cuerpos de 1mm y 3mm es de:

$$\Delta q_{xy_{max}} = \frac{15.390 - 15.320}{15.390} \cdot 100 \approx 0.4548\%$$

3.4 Comparación de resultados

A la hora de comparar los resultados, hay que tener en cuenta que se espera que los resultados de los modelos EF sean los más parecidos a los reales y que el objetivo es determinar si el modelo de barras aquí presentado es capaz de obtener buenos resultados cuando el cuerpo presenta una variación de área en su longitud. Para ello, se van a elegir tres rebanadas concretas para comparar ambos modelos numéricos de aquellos cuerpos que presenten una conicidad apreciable. Aquí se van a elegir los modelos de 30cm y los modelos de 20cm, y dentro de estos cuerpos, las rebanadas 8, 23 y 38.

La forma de realizar la comparación va a ser presentar mediante gráficas los resultados para los modelos de 30cm y 20cm con el objetivo de poder observar cuantitativamente cuánto se separan ambos modelos para las diferentes conicidades, además de cambiar el espesor entre los tres disponibles.

- **Rebanada 38:** la rebanada 38 se sitúa cerca de la zona de aplicación de la carga. Como se ve en las gráficas 3.75, 3.76 y 3.77, el modelo de barras predice flujos de tensiones tangenciales mayores que el modelo EF. Además, para la conicidad más pequeña, ambas curvas están separadas, pero mantienen un margen relativamente pequeño, mientras que para la conicidad más grande, la separación se hace más notable, pasando de una diferencia de 1 kN/m a 3 kN/m aproximadamente. Por tanto, el modelo de barras predice mayores flujos de tensiones tangenciales que el modelo EF, lo cuál se incrementa con el aumento de la conicidad, si bien el espesor apenas afecta para este caso.
- **Rebanada 23:** la rebanada 23 se sitúa en la zona central del cuerpo. Los resultados se pueden observar en las gráficas 3.78, 3.79 y 3.80. Respecto al caso anterior, se puede ver como con el aumento de la conicidad, se incrementa aún más la diferencia entre los modelos, pasando esta vez de una diferencia de 1.5 kN/m a 4 kN/m aproximadamente, siendo el modelo de barras el que predice mayores flujos de tensiones tangenciales. El espesor, de nuevo, influye muy poco en los resultados.
- **Rebanada 8:** la rebanada 8 se localiza en la zona cercana al empotramiento del objeto. Las figuras 3.81, 3.82 y 3.83 muestran los valores para este caso, que presentan características similares al caso anterior, consiguiendo un pico del flujo de tensiones tangenciales menor. La separación en este caso es de 2 kN/m y 4 kN/m aproximadamente, siendo de nuevo el modelo de barras el que predice mayores valores. Al igual que el resto de casos, el espesor apenas influye en los valores.

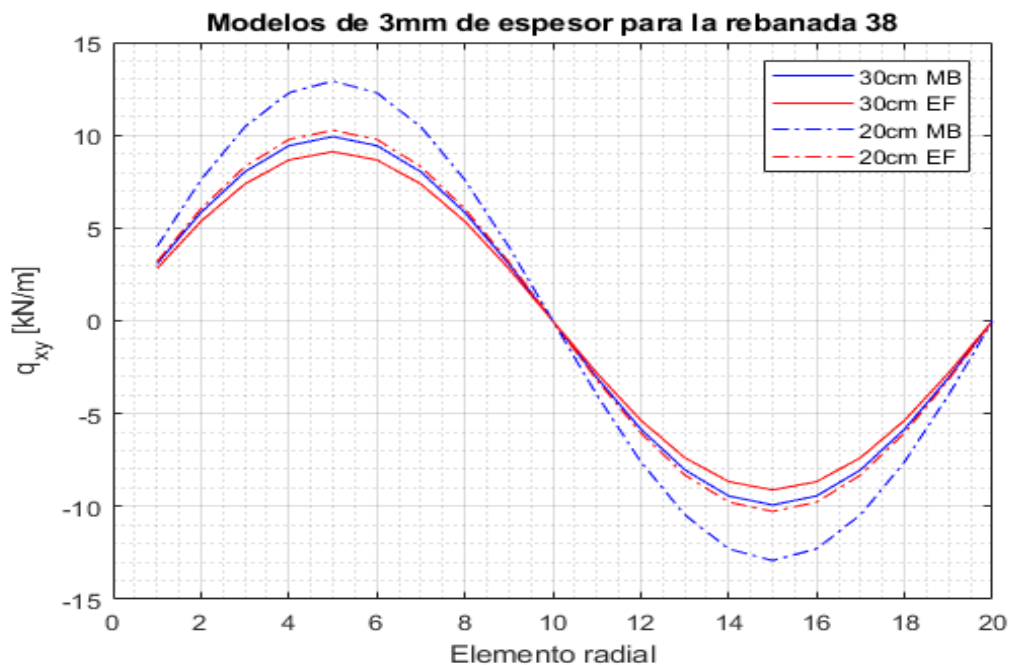


Figura 3.75 Modelos de 3mm de espesor para la rebanada 38.

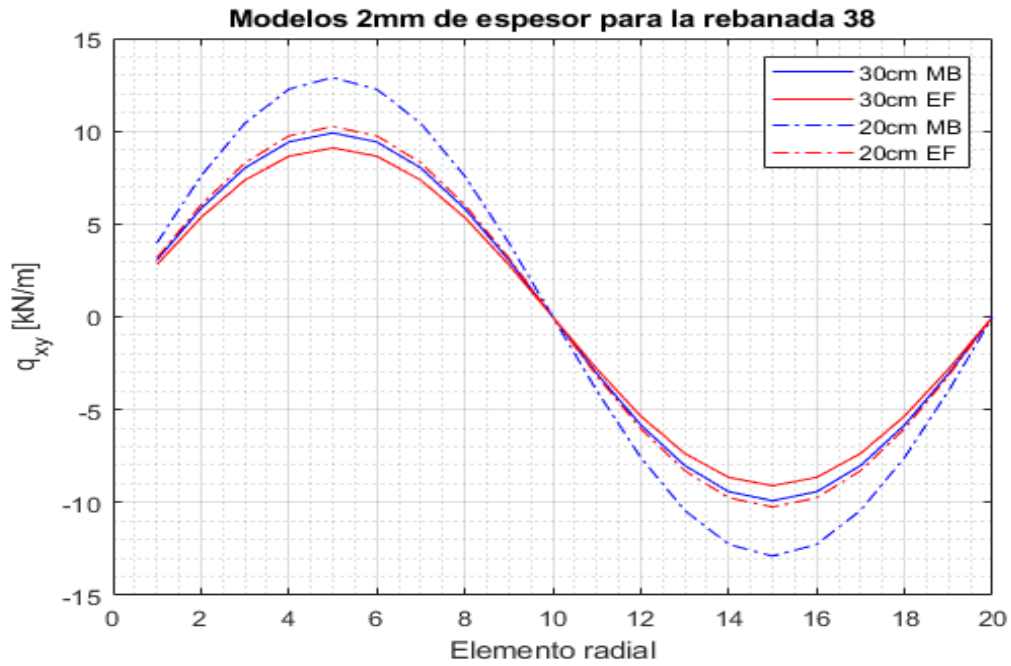


Figura 3.76 Modelos de 2mm de espesor para la rebanada 38.

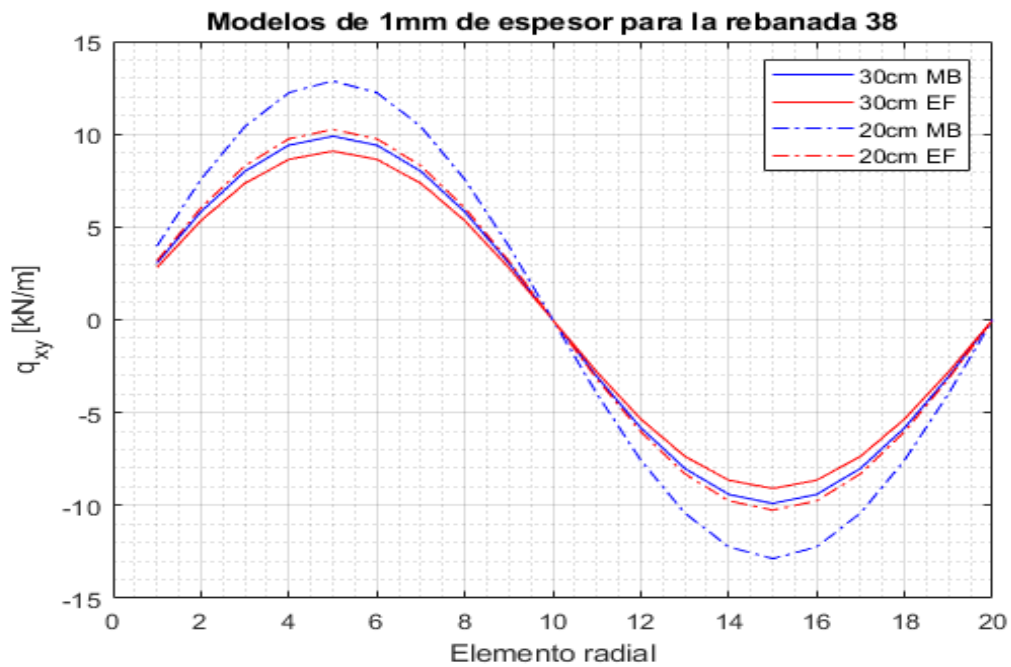


Figura 3.77 Modelos de 1mm de espesor para la rebanada 38.

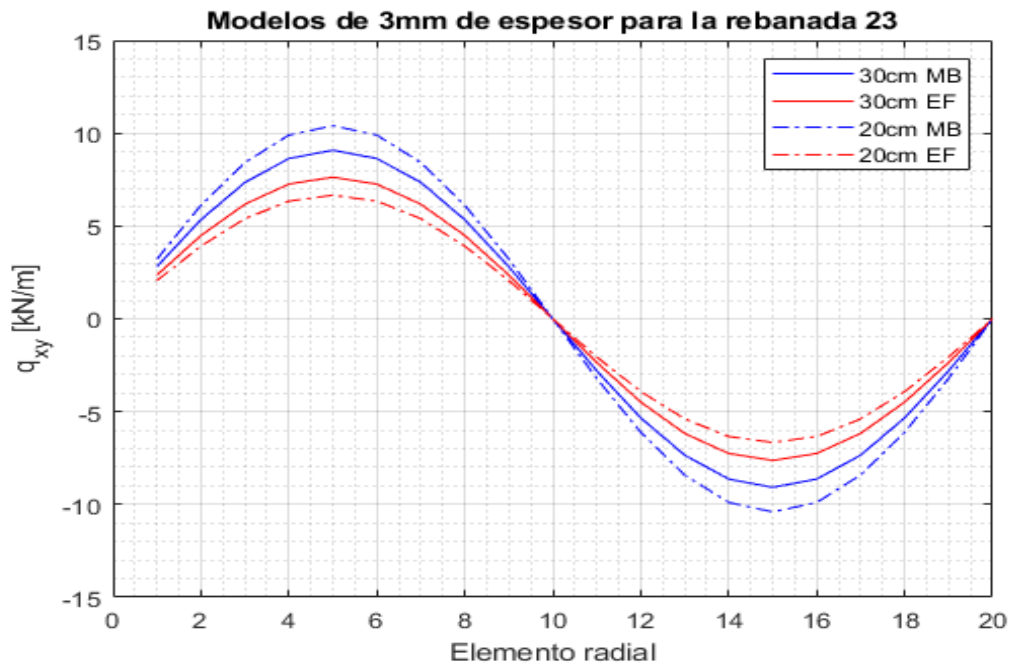


Figura 3.78 Modelos de 3mm de espesor para la rebanada 23.

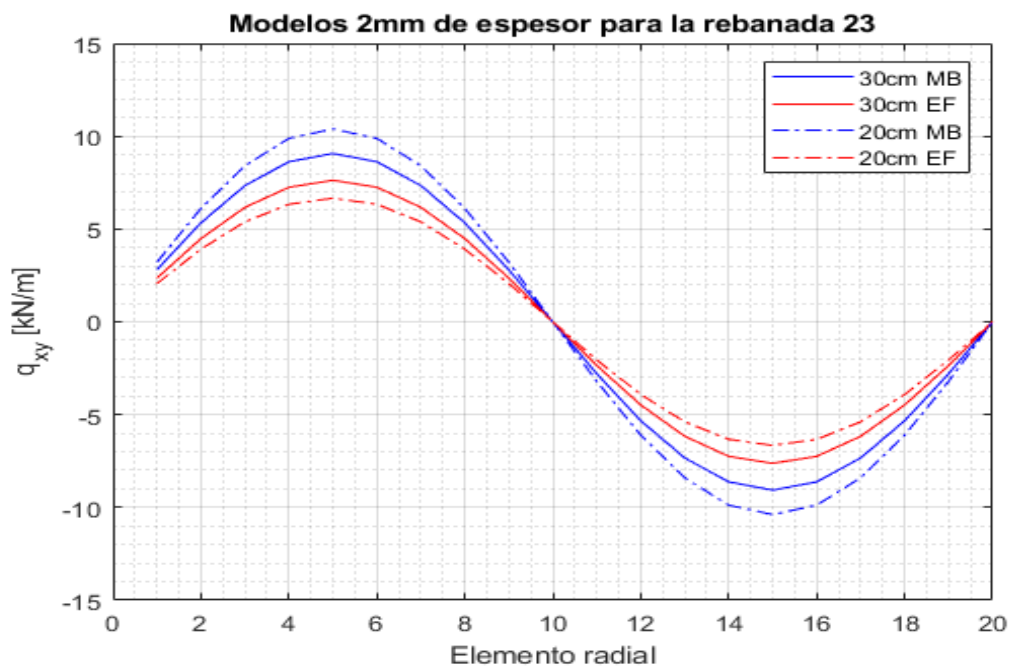


Figura 3.79 Modelos de 2mm de espesor para la rebanada 23.

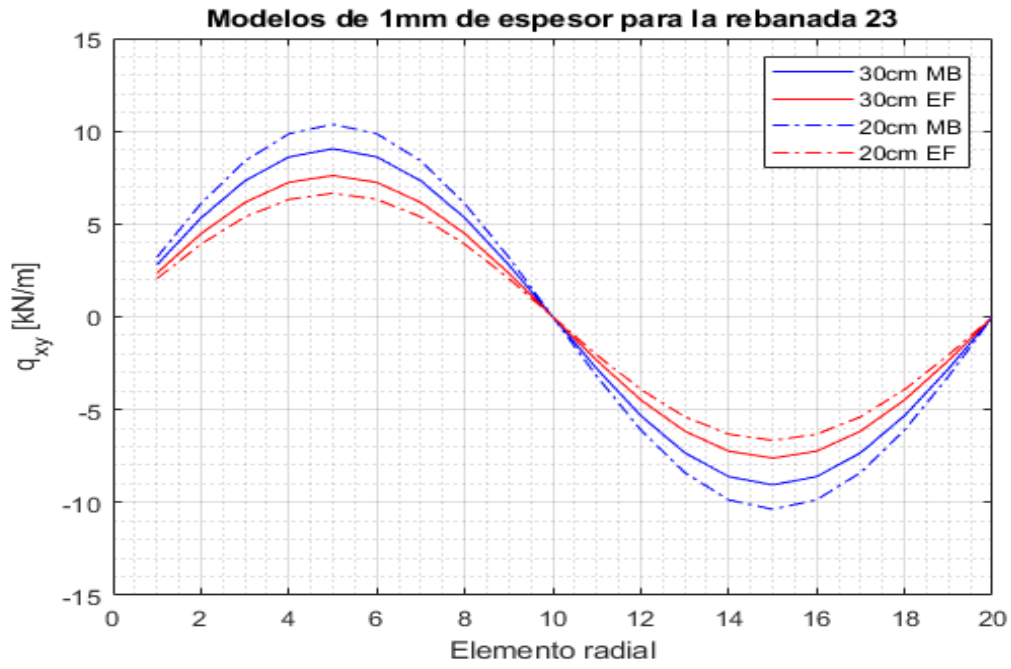


Figura 3.80 Modelos de 1mm de espesor para la rebanada 23.

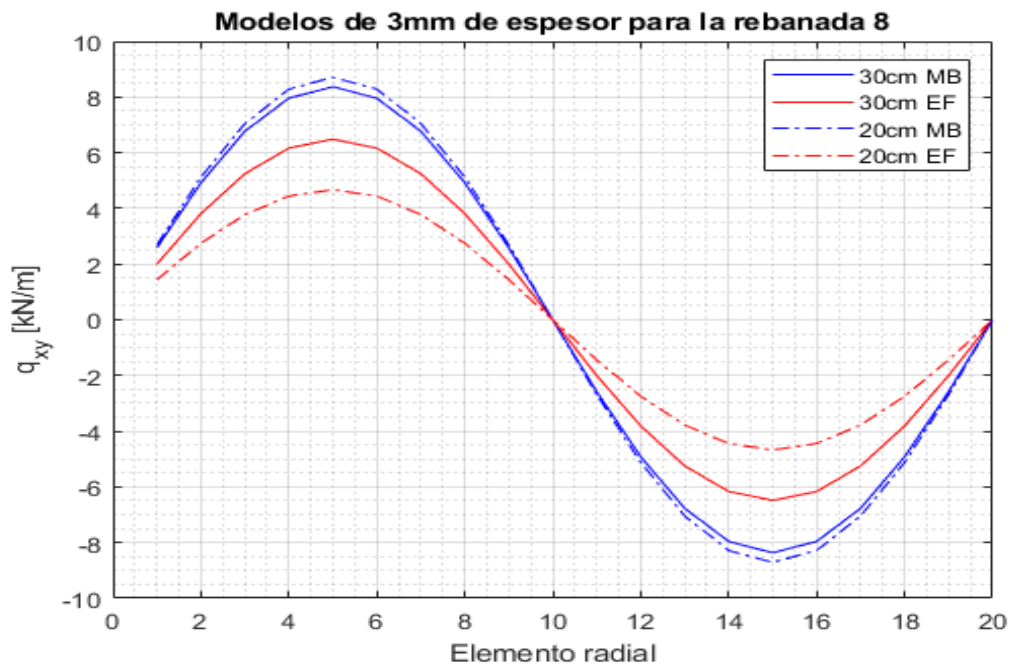


Figura 3.81 Modelos de 3mm de espesor para la rebanada 8.

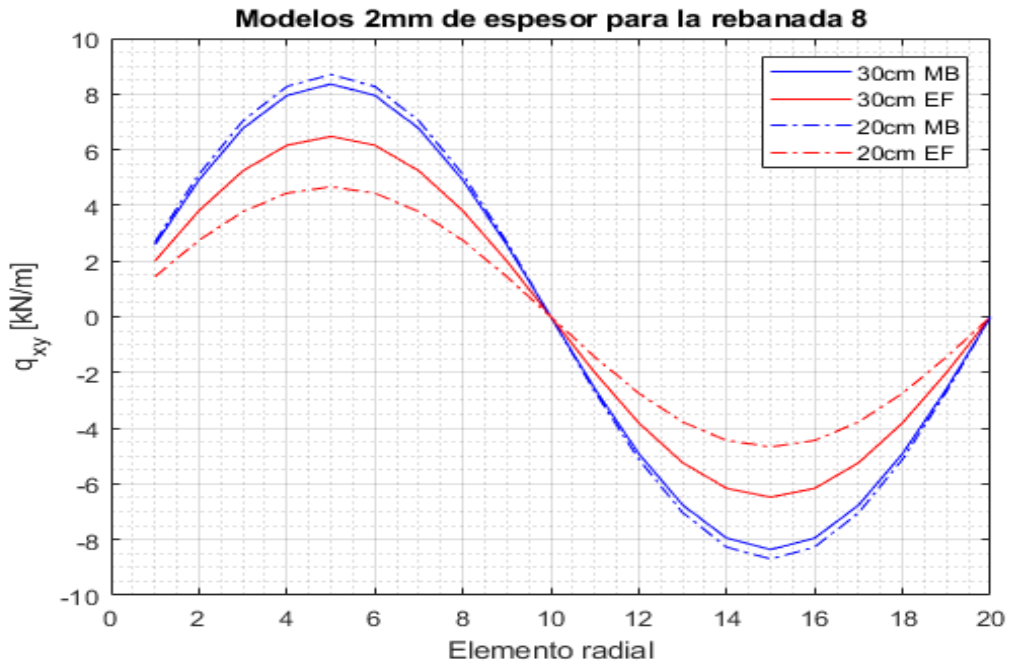


Figura 3.82 Modelos de 2mm de espesor para la rebanada 8.

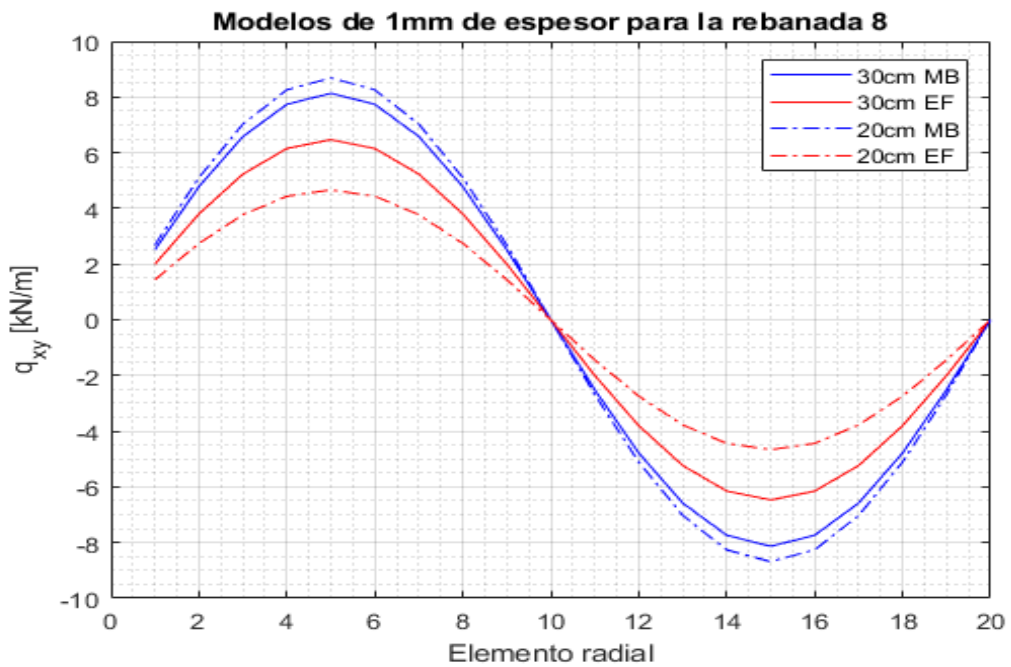


Figura 3.83 Modelos de 1mm de espesor para la rebanada 8.

Del análisis de estos tres casos, se sacan las siguientes conclusiones:

1. En ambos modelos numéricos, el flujo de tensiones tangenciales crece conforme la rebanada que se analiza se acerca más al extremo donde se aplica la carga, que es el punto más alejado del empotramiento.
2. El modelo de barras siempre predice mayores valores del flujo de tensiones tangenciales que el modelo EF.
3. Al aumentar la conicidad del cuerpo, la diferencia entre ambos modelos se hace cada vez más notable. Para la conicidad de 0.01, los valores ya son los suficientemente dispares como para invalidar el modelo de barras.
4. La variación del espesor influye escasamente en los valores. Habría que estudiar cuerpos con mayores variaciones en el espesor para concluir si el espesor influye de manera apreciable o no. Para los valores aquí estudiados, el espesor no es un factor determinante.
5. Como se puede ver en las tablas que se presentan a continuación, los modelos de barras tienen mayores problemas a la hora de captar la variación de área en las zonas cercanas al empotramiento, donde se encuentran los valores más dispares.

Los resultados completos de la comparación se muestran en las siguientes tablas, donde se comparan los valores máximos que se obtienen en cada modelo y cuanta es la diferencia entre ambos.

3.4.1 Modelos 40cm

Tabla 3.6 Modelos 40cm3mm.

40cm3mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	8.020300	8.053209	0.032909	8.036754	0.409475
8	8.015200	8.053209	0.038009	8.034204	0.471967
13	8.014000	8.053209	0.039209	8.033604	0.486868
18	8.014100	8.053209	0.039109	8.033654	0.485626
23	8.014100	8.053209	0.039109	8.033654	0.485626
28	8.014100	8.053209	0.039109	8.033654	0.485626
33	8.014100	8.053209	0.039109	8.033654	0.485626
38	8.014000	8.053209	0.039209	8.033604	0.486868
43	8.023100	8.053209	0.030109	8.038154	0.373870
48	7.664900	8.053209	0.388309	7.859054	4.821786

Tabla 3.7 Modelos 40cm2mm.

40cm2mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	7.983800	8.043182	0.059382	8.013491	0.741031
8	8.005200	8.043182	0.037982	8.024191	0.472232
13	8.004100	8.043182	0.039082	8.023641	0.485908
18	8.004100	8.043182	0.039082	8.023641	0.485908
23	8.004100	8.043182	0.039082	8.023641	0.485908
28	8.004100	8.043182	0.039082	8.023641	0.485908
33	8.004100	8.043182	0.039082	8.023641	0.485908
38	8.004400	8.043182	0.038782	8.023791	0.482178
43	7.999600	8.043182	0.043582	8.021391	0.541856
48	7.506000	8.043182	0.537182	7.774591	6.678730

Tabla 3.8 Modelos 40cm1mm.

40cm1mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	7.958400	8.033173	0.074773	7.995786	0.935149
8	7.991500	8.033173	0.041673	8.012336	0.518756
13	7.994000	8.033173	0.039173	8.013586	0.487635
18	7.994200	8.033173	0.038973	8.013686	0.485145
23	7.994200	8.033173	0.038973	8.013686	0.485145
28	7.994200	8.033173	0.038973	8.013686	0.485145
33	7.994100	8.033173	0.039073	8.013636	0.486390
38	7.992200	8.033173	0.040973	8.012686	0.510042
43	7.958100	8.033173	0.075073	7.995636	0.934532
48	7.438600	8.033173	0.594573	7.735886	7.401466

3.4.2 Modelos 36cm

Tabla 3.9 Modelos 36cm3mm.

36cm3mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	7.288000	8.093834	0.805834	7.690917	10.477737
8	7.433100	8.176319	0.743219	7.804709	9.089895
13	7.585800	8.260498	0.674698	7.923149	8.167766
18	7.744400	8.346429	0.602029	8.045414	7.213010
23	7.908000	8.434175	0.526175	8.171087	6.238602
28	8.076900	8.523785	0.446885	8.300342	5.242800
33	8.251300	8.615311	0.364011	8.433305	4.225164
38	8.431500	8.708824	0.277324	8.570162	3.184401
43	8.626100	8.804394	0.178294	8.715247	2.025053
48	8.371300	8.902089	0.530789	8.636695	5.962523

Tabla 3.10 Modelos 36cm2mm.

36cm2mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	7.254100	8.083707	0.829607	7.668903	10.817802
8	7.424500	8.165984	0.741484	7.795242	9.080160
13	7.576900	8.249950	0.673050	7.913425	8.158234
18	7.735100	8.335661	0.600561	8.035380	7.204716
23	7.898400	8.423179	0.524779	8.160790	6.230180
28	8.066800	8.512555	0.445755	8.289678	5.236445
33	8.240800	8.603839	0.363039	8.422320	4.219503
38	8.420500	8.697102	0.276602	8.558801	3.180395
43	8.594200	8.792414	0.198214	8.693307	2.254372
48	8.220600	8.889842	0.669242	8.555221	7.528170

Tabla 3.11 Modelos 36cm1mm.

36cm1mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	7.231200	8.073596	0.842396	7.652398	11.008260
8	7.412300	8.155667	0.743367	7.783983	9.114729
13	7.567900	8.239420	0.671520	7.903660	8.150085
18	7.725900	8.324911	0.599011	8.025405	7.195399
23	7.888800	8.412203	0.523403	8.150501	6.221944
28	8.056800	8.501345	0.444545	8.279072	5.229110
33	8.230300	8.592387	0.362087	8.411344	4.214047
38	8.407900	8.685401	0.277501	8.546650	3.195027
43	8.557000	8.780455	0.223455	8.668727	2.544913
48	8.179500	8.877618	0.698118	8.528559	7.863794

3.4.3 Modelos 35cm**Tabla 3.12** Modelos 35cm3mm.

35cm3mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	7.102500	8.104053	1.001553	7.603277	13.172656
8	7.281400	8.207682	0.926282	7.744541	11.285546
13	7.470000	8.314003	0.844003	7.892001	10.151583
18	7.667400	8.423106	0.755706	8.045253	8.971823
23	7.872600	8.535111	0.662511	8.203855	7.762183
28	8.086200	8.650135	0.563935	8.368167	6.519374
33	8.308600	8.768310	0.459710	8.538455	5.242860
38	8.540500	8.889750	0.349250	8.715125	3.928680
43	8.790100	9.014601	0.224501	8.902350	2.490410
48	8.570400	9.143028	0.572628	8.856714	6.263004

Tabla 3.13 Modelos 35cm2mm.

35cm2mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	7.069300	8.093901	1.024601	7.581600	13.514305
8	7.273200	8.197268	0.924068	7.735234	11.272878
13	7.461500	8.303318	0.841818	7.882409	10.138335
18	7.658300	8.412140	0.753840	8.035220	8.961331
23	7.863000	8.523851	0.660851	8.193426	7.752967
28	8.076100	8.638570	0.562470	8.357335	6.511148
33	8.297900	8.756428	0.458528	8.527164	5.236475
38	8.529000	8.877537	0.348537	8.703269	3.926055
43	8.756000	9.002043	0.246043	8.879021	2.733190
48	8.422300	9.130111	0.707811	8.776206	7.752491

Tabla 3.14 Modelos 35cm1mm.

35cm1mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	7.047100	8.083764	1.036664	7.565432	13.702644
8	7.261400	8.186871	0.925471	7.724136	11.304335
13	7.452800	8.292651	0.839851	7.872726	10.127656
18	7.649300	8.401192	0.751892	8.025246	8.949821
23	7.853600	8.512611	0.659011	8.183106	7.741585
28	8.066100	8.627026	0.560926	8.346563	6.501958
33	8.287400	8.744567	0.457167	8.515983	5.228011
38	8.516600	8.865346	0.348746	8.690973	3.933810
43	8.720600	8.989508	0.268908	8.855054	2.991353
48	8.388800	9.117217	0.728417	8.753009	7.989470

3.4.4 Modelos 30cm

Tabla 3.15 Modelos 30cm3mm.

30cm3mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	6.160700	8.155540	1.994840	7.158120	27.868216
8	6.483600	8.368193	1.884593	7.425896	22.520903
13	6.834100	8.592249	1.758149	7.713174	20.462035
18	7.215200	8.828610	1.613410	8.021905	18.274791
23	7.629100	9.078358	1.449258	8.353729	15.963876
28	8.079700	9.342647	1.262947	8.711173	13.518083
33	8.571400	9.622774	1.051374	9.097087	10.925889
38	9.109800	9.920230	0.810430	9.515015	8.169468
43	9.702800	10.236663	0.533863	9.969731	5.215201
48	9.739900	10.573941	0.834041	10.156920	7.887698

Tabla 3.16 Modelos 30cm2mm.

30cm2mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	6.130900	8.145258	2.014358	7.138079	28.219894
8	6.477400	8.357368	1.879968	7.417384	22.494740
13	6.827300	8.580838	1.753538	7.704069	20.435514
18	7.207500	8.816564	1.609064	8.012032	18.250469
23	7.620400	9.065622	1.445222	8.343011	15.941788
28	8.069800	9.329160	1.259360	8.699480	13.499183
33	8.560100	9.608468	1.048368	9.084284	10.910877
38	9.095900	9.905028	0.809128	9.500464	8.168866
43	9.657500	10.220478	0.562978	9.938989	5.508332
48	9.610400	10.556674	0.946274	10.083537	8.963754

Tabla 3.17 Modelos 30cm1mm.

30cm1mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	6.111800	8.134993	2.023193	7.123397	28.402085
8	6.467600	8.346562	1.878962	7.407081	22.511809
13	6.820300	8.569448	1.749148	7.694874	20.411439
18	7.199800	8.804540	1.604740	8.002170	18.226277
23	7.611700	9.052910	1.441210	8.332305	15.919852
28	8.060000	9.315699	1.255699	8.687850	13.479388
33	8.549400	9.594190	1.044790	9.071795	10.889821
38	9.085100	9.889857	0.804757	9.487478	8.137195
43	9.638000	10.204326	0.566326	9.921163	5.549865
48	9.622000	10.539444	0.917444	10.080722	8.704865

3.4.5 Modelos 25cm**Tabla 3.18** Modelos 25cm3mm.

25cm3mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	5.194200	8.207682	3.013482	6.700941	44.971024
8	5.615700	8.535111	2.919411	7.075405	34.204722
13	6.090600	8.889750	2.799150	7.490175	31.487386
18	6.630000	9.275147	2.645147	7.952574	28.518656
23	7.244400	9.695458	2.451058	8.469929	25.280480
28	7.948400	10.155677	2.207277	9.052039	21.734415
33	8.760200	10.661749	1.901549	9.710975	17.835248
38	9.703400	11.220933	1.517533	10.462167	13.524128
43	10.797000	11.842003	1.045003	11.319501	8.824542
48	11.310000	12.535841	1.225841	11.922921	9.778690

Tabla 3.19 Modelos 25cm2mm.

25cm2mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	5.167900	8.197268	3.029368	6.682584	45.332285
8	5.611700	8.523851	2.912151	7.067776	34.164737
13	6.086100	8.877537	2.791437	7.481819	31.443823
18	6.624200	9.261855	2.637655	7.943027	28.478689
23	7.237200	9.680937	2.443737	8.459068	25.242770
28	7.939300	10.139747	2.200447	9.039523	21.701201
33	8.748600	10.644196	1.895596	9.696398	17.808727
38	9.686600	11.201495	1.514895	10.444048	13.524043
43	10.744000	11.820358	1.076358	11.282179	9.105971
48	11.211000	12.511594	1.300594	11.861297	10.395107

Tabla 3.20 Modelos 25cm1mm.

25cm1mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	5.152100	8.186871	3.034771	6.669486	45.502330
8	5.604400	8.512611	2.908211	7.058506	34.163561
13	6.081200	8.865346	2.784146	7.473273	31.404820
18	6.618500	9.248587	2.630087	7.933544	28.437717
23	7.230000	9.666443	2.436443	8.448221	25.205164
28	7.930300	10.123849	2.193549	9.027075	21.667145
33	8.738400	10.626680	1.888280	9.682540	17.769234
38	9.680800	11.182100	1.501300	10.431450	13.425921
43	10.755000	11.798765	1.043765	11.276883	8.846395
48	11.283000	12.487406	1.204406	11.885203	9.644968

3.4.6 Modelos 20cm

Tabla 3.21 Modelos 20cm3mm.

20cm3mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	4.202100	8.260498	4.058398	6.231299	65.129246
8	4.671000	8.708824	4.037824	6.689912	46.364744
13	5.221000	9.208601	3.987601	7.214801	43.303007
18	5.875900	9.769232	3.893332	7.822566	39.853001
23	6.662300	10.402565	3.740265	8.532433	35.955219
28	7.617800	11.123700	3.505900	9.370750	31.517388
33	8.794700	11.952253	3.157553	10.373477	26.418059
38	10.267000	12.914190	2.647190	11.590595	20.498302
43	12.109000	14.044476	1.935476	13.076738	13.781050
48	13.532000	15.391603	1.859603	14.461801	12.081930

Tabla 3.22 Modelos 20cm2mm.

20cm2mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	4.179500	8.249950	4.070450	6.214725	65.496867
8	4.669600	8.697102	4.027502	6.683351	46.308553
13	5.219200	9.195498	3.976298	7.207349	43.241793
18	5.872800	9.754489	3.881689	7.813644	39.793873
23	6.657500	10.385853	3.728353	8.521676	35.898378
28	7.610600	11.104596	3.493996	9.357598	31.464412
33	8.784000	11.930205	3.146205	10.357103	26.371762
38	10.248000	12.888460	2.640460	11.568230	20.487012
43	12.059000	14.014061	1.955061	13.036531	13.950711
48	13.480000	15.355094	1.875094	14.417547	12.211542

Tabla 3.23 Modelos 20cm1mm.

20cm1mm					
Rebanada	Max. Valor FE	Max. Valor BM	Max. Variacion	Media	Var. Relativa
3	4.167000	8.239420	4.072420	6.203210	65.650201
8	4.665000	8.685401	4.020401	6.675200	46.289181
13	5.217100	9.182420	3.965320	7.199760	43.183821
18	5.869800	9.739774	3.869974	7.804787	39.733717
23	6.652700	10.369175	3.716475	8.510938	35.841569
28	7.603500	11.085534	3.482034	9.344517	31.410613
33	8.775300	11.908210	3.132910	10.341755	26.308823
38	10.252000	12.862797	2.610797	11.557399	20.297275
43	12.122000	13.983731	1.861731	13.052865	13.313548
48	13.633000	15.318696	1.685696	14.475848	11.004177

4 Conclusiones y líneas futuras

Los flujos de tensiones tangenciales que se obtienen tanto de los modelos de elementos finitos como los modelos de barras presentan diferentes curvas dependiendo de la rebanada que se esté estudiando, de forma que para los casos de conicidad nula, todas las curvas coinciden (excepto la de la rebanada 48 del modelo de elementos finitos que se achaca a efectos locales de la aplicación de la carga), mientras que conforme se aumenta la conicidad, dichas curvas se van separando unas de otras para captar la variación de área a lo largo de la longitud del cuerpo. Dicha separación se hace más palpable en los modelos de elementos finitos que en los modelos de barras que se muestran insuficientes a la hora de captar dicha variación de área. Además, los modelos de barras presentan valores más estables respecto a la variación de la conicidad en las zonas suficientemente alejadas de la rebanada donde se aplica la carga.

A la vista de los resultados anteriores, y haciendo especial hincapié en los apartados dedicados a la comparativa entre los diferentes modelos, se concluye que el modelo de barras aquí presentado no es capaz de captar con suficiente precisión la influencia de la variación del área sobre el flujo de tensiones tangenciales. Considerando como válidos aquellos resultados que presentan una variación relativa del 10% respecto de los valores que predicen los modelos de elementos finitos, los únicos casos que se consideran aptos son aquellos con conicidades menores del 0.004 (modelos de 36cm). Por tanto, el modelo de barras simplificado aquí descrito no es apto para la evaluación del flujo de tensiones tangenciales para cuerpos que presentan variación de área mayores a las indicadas.

Los resultados que se obtienen demuestran que, cerca del extremo empotrado del cuerpo, los valores del flujo de tensiones tangenciales son más dispares que en la zona del extremo libre, aún salvando la distancia necesaria respecto a la sección de aplicación de la carga como dictamina el Principio de Saint-Venant. Esta diferencia en los resultados obtenidos aumenta considerablemente conforme se hace crecer la conicidad de los cuerpos, por lo que se deduce que la conicidad es un factor crucial a la hora de evaluar el flujo de tensiones tangenciales. Por otra parte, al hacer variar el espesor, no parece que haya variaciones suficientemente relevantes de los resultados como para considerarlo un factor importante, por lo que se concluye que para cuerpos de pared delgada, la influencia de la variación de espesor es menos relevante que la influencia de la variación de radio.

Por otra parte, para todos los casos aquí considerados, los valores que se obtienen de los modelos de barras son superiores a los que predicen los modelos EF, llegando a haber diferencias de hasta 4 MPa en los valores máximos. Esto indica que los modelos de barras muestran tensiones que están por encima de las reales, por lo que se podrían utilizar como modelos seguros aunque la diferencia es tan grande que el gasto de material derivado de predecir unos valores más altos es bastante considerable a la hora de diseñar la estructura.

Cabe pensar ahora en las causas por las que existen estas diferencias entre ambos modelos numéricos que, como se vio en apartados anteriores, son modelos válidos ya que para el caso de referencia de la geometría de tubo, ambos modelos obtienen resultados prácticamente idénticos a la solución analítica, lo que descarta la posibilidad de que el modelo esté mal planteado. La

formulación que se utiliza aquí para el modelo de barras es una formulación simplificada que elimina ciertos términos de las ecuaciones, por lo que se deduce que la causa de que el modelo no sea capaz de evaluar el flujo de tensiones tangenciales debido a la variación del área erradica en algún término que se ha descartado, lo que supone la principal línea futura de investigación que se obtiene de este estudio.

Apéndice A

Código APDL

Aquí se encuentra el código que *Mechanical APDL* utiliza para la resolución del problema mediante elementos finitos. Nótese que el código está sujeto a los cambios pertinentes para el análisis de la geometría concreta y de las condiciones de contorno apropiadas. Dicho código es el siguiente:

```
FINISH
/CLEAR
/VIEW, 1, 1, 1, 1

! 1.)ENTRADA DE PARÁMETROS
!Carga aplicada:
P = -10000      !10kN de fuerza vertical en el extremo

!Geometría:
e = 2 !espesor en [mm]
ReB = 400 !radio exterior en el empotramiento en [mm]
RiB = ReB - e !radio interior en el empotramiento en [mm]
ReT = 200 !radio exterior en el extremo libre en [mm]
RiT = ReT - e !radio interior en el extremo libre en [mm]
L = 2000 !longitud en [mm]

!Propiedades del material
E11 = 34500 !en [MPa]
E22 = 9340
E33 = E22

nu12 = 0.3 !en [adim]
nu13 = nu12
nu23 = 0.4

G12 = 2700 !en [MPa]
G13 = G12
G23 = E22/2/(1 + nu23) !Material transversalmente isótropo

A = 50      !Número de elementos en dirección axial
```

B = 20 !Número de elementos en dirección radial

!-----

! 2.)ENTRADA EN EL PREPROCESADOR

/PREP7

!Tipo de elemento:

ET, 1, SHELL181

SECTYPE, , SHELL

SECDATA, e

!Propiedades mecánicas:

MP, EX, 1, E11

MP, EY, 1, E22

MP, EZ, 1, E33

MP, PRXY, 1, nu12

MP, PRXZ, 1, nu13

MP, PRYZ, 1, nu23

MP, GXY, 1, G12

MP, GXZ, 1, G13

MP, GYZ, 1, G23

!FEM:

!Primero, se van a crear los nodos necesarios para crear una línea, en este caso, la s

CSYS, 1

N, 1, (ReB - e/2), 99, 0, , ,

N, A+1, (ReT - e/2), 99, L, , ,

CSYS, 0

FILL, 1, A+1,

!Ahora, hay que copiar la línea alrededor del tronco de cono:

CSYS, 1 !Cambio de ejes de cartesianos a cilíndricos

NGEN, B, A+1, 1, A+1, 1, 0, 360/B, 0

!Se crea el primer elemento:

E, 1, A+2, A+3, 2

!Se crea la primera línea de elementos:

EGEN, A, 1, 1, 1, 1

!Y se copia radialmente:

EGEN, B-1, A+1, 1, A, 1

!El último tramo que cierra la malla hay que hacerlo a mno:

E, 1+(B-1)*(A+1), 1, 2, 2+(B-1)*(A+1)

EGEN, A, 1, 1+(B-1)*A, 1+(B-1)*A, 1

!Ahora, se imponen las condiciones de contorno en el empotramiento:

NSEL, S, LOC, Z, 0, 0

D, ALL, ALL, 0

ALLSEL, ALL

!Y falta introducir la carga:

NSEL, S, LOC, Z, L, L

F, ALL, FY, P/B

ALLSEL, ALL

FINISH

!-----

! 3.)ENTRADA EN EL PROCESADOR

/SOLU

SOLVE

FINISH

!-----

! 4.)ENTRADA EN EL POSTPROCESADOR

/post1

!Almacena resultados:

SET, 1

RSYS, SOLU !Se quieren los resultados en los ejes de los elementos

SHELL, MID !Se requieren los resultados en el medio de los elementos

!Se pintan los resultados de las tensiones:

PRESOL, S, COMP !Muestra todas las tensiones en todos los elementos

ETABLE, , SMISC, 3 !Calcula los flujos tangenciales XY

!Almacena los datos en archivo de texto:

/OUTPUT, FlujoTensionesXY3, TXT

ESEL, S, ELEM, , 3, 3+A*B, A

PRETAB, SMIS3 !Muestra los flujos tangenciales

!Cierra el archivo de salida:

/OUTPUT

!Almacena los datos en archivo de texto:

/OUTPUT, FlujoTensionesXY8, TXT

ESEL, S, ELEM, , 8, 8+A*B, A

PRETAB, SMIS3 !Muestra los flujos tangenciales

```
!Cierra el archivo de salida:
```

```
/OUTPUT  
ALLSEL, ALL
```

```
!Almacena los datos en archivo de texto:
```

```
/OUTPUT, FlujoTensionesXY13, TXT  
ESEL, S, ELEM, , 13, 13+A*B, A  
PRETAB, SMIS3 !Muestra los flujos tangenciales
```

```
!Cierra el archivo de salida:
```

```
/OUTPUT  
ALLSEL, ALL
```

```
!Almacena los datos en archivo de texto:
```

```
/OUTPUT, FlujoTensionesXY18, TXT  
ESEL, S, ELEM, , 18, 18+A*B, A  
PRETAB, SMIS3 !Muestra los flujos tangenciales
```

```
!Cierra el archivo de salida:
```

```
/OUTPUT  
ALLSEL, ALL
```

```
!Almacena los datos en archivo de texto:
```

```
/OUTPUT, FlujoTensionesXY23, TXT  
ESEL, S, ELEM, , 23, 23+A*B, A  
PRETAB, SMIS3 !Muestra los flujos tangenciales
```

```
!Cierra el archivo de salida:
```

```
/OUTPUT  
ALLSEL, ALL
```

```
!Almacena los datos en archivo de texto:
```

```
/OUTPUT, FlujoTensionesXY28, TXT  
ESEL, S, ELEM, , 28, 28+A*B, A  
PRETAB, SMIS3 !Muestra los flujos tangenciales
```

```
!Cierra el archivo de salida:
```

```
/OUTPUT  
ALLSEL, ALL
```

```
!Almacena los datos en archivo de texto:
```

```
/OUTPUT, FlujoTensionesXY33, TXT  
ESEL, S, ELEM, , 33, 33+A*B, A  
PRETAB, SMIS3 !Muestra los flujos tangenciales
```

!Cierra el archivo de salida:

/OUTPUT

ALLSEL, ALL

!Almacena los datos en archivo de texto:

/OUTPUT, FlujoTensionesXY38, TXT

ESEL, S, ELEM, , 38, 38+A*B, A

PRETAB, SMIS3 !Muestra los flujos tangenciales

!Cierra el archivo de salida:

/OUTPUT

ALLSEL, ALL

!Almacena los datos en archivo de texto:

/OUTPUT, FlujoTensionesXY43, TXT

ESEL, S, ELEM, , 43, 43+A*B, A

PRETAB, SMIS3 !Muestra los flujos tangenciales

!Cierra el archivo de salida:

/OUTPUT

ALLSEL, ALL

!Almacena los datos en archivo de texto:

/OUTPUT, FlujoTensionesXY48, TXT

ESEL, S, ELEM, , 48, 48+A*B, A

PRETAB, SMIS3 !Muestra los flujos tangenciales

!Cierra el archivo de salida:

/OUTPUT

ALLSEL, ALL

FINISH

Índice de Figuras

2.1	Condiciones de contorno en el tubo	4
2.2	Detalle de la sección de pared delgada	5
2.3	Condiciones de contorno en el tronco de cono	5
2.4	Detalle de la variación de las secciones a lo largo del cuerpo	5
2.5	Equilibrio de fuerzas en la partición de un trozo de barra	7
2.6	Sección del modelo de barras.	9
2.7	Estudio de convergencia para modelo de conicidad nula para una rebanada en el 76% de la longitud.	10
2.8	Estudio de convergencia para modelo de conicidad 0.01 para una rebanada en el 76% de la longitud.	11
2.9	Comparativa entre la solución analítica y los modelos numéricos.	13
2.10	Detalle de la comparativa de uno de los máximos.	13
2.11	Errores entre los modelos numéricos y la solución analítica.	14
3.1	Ejemplo de un tronco de cono, cuyo radio exterior en la punta es de 20cm	15
3.2	Divisiones longitudinales del modelo y secciones destacadas en rojo	16
3.3	Resultados numéricos para el tubo 40cm3mm	17
3.4	Tubo 40cm3mm	17
3.5	Resultados numéricos para el tubo 40cm2mm	18
3.6	Tubo 40cm2mm	18
3.7	Resultados numéricos para el tubo 40cm1mm	19
3.8	Tubo 40cm1mm	19
3.9	Resultados numéricos para el tronco de cono 36cm3mm	20
3.10	Tronco de cono 36cm3mm	20
3.11	Resultados numéricos para el tronco de cono 36cm2mm	21
3.12	Tronco de cono 36cm2mm	21
3.13	Resultados numéricos para el tronco de cono 36cm1mm	22
3.14	Tronco de cono 36cm1mm	22
3.15	Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm3mm	23
3.16	Tronco de cono 35cm3mm	24
3.17	Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm2mm	24
3.18	Tronco de cono 35cm2mm	25
3.19	Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm1mm	26
3.20	Tronco de cono 35cm1mm	26
3.21	Resultados numéricos para el tronco de cono 30cm3mm	27
3.22	Tronco de cono 30cm3mm	27

3.23	Resultados numéricos para el tronco de cono 30cm2mm	28
3.24	Tronco de cono 30cm2mm	28
3.25	Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm1mm	29
3.26	Tronco de cono 30cm1mm	29
3.27	Resultados numéricos para el tronco de cono 25cm3mm	30
3.28	Tronco de cono 25cm3mm	30
3.29	Resultados numéricos para el tronco de cono 25cm2mm	31
3.30	Tronco de cono 25cm2mm	31
3.31	Resultados numéricos para el tronco de cono 25cm1mm	32
3.32	Tronco de cono 25cm1mm	32
3.33	Resultados numéricos para el tronco de cono 20cm3mm	33
3.34	Tronco de cono 20cm3mm	33
3.35	Resultados numéricos para el tronco de cono 20cm2mm	34
3.36	Tronco de cono 20cm2mm	34
3.37	Resultados numéricos para el tronco de cono 20cm1mm	35
3.38	Tronco de cono 20cm1mm	35
3.39	Resultados numéricos para el tubo 40cm3mm	36
3.40	Tubo 40cm3mm	36
3.41	Resultados numéricos para el tubo 40cm2mm	37
3.42	Tubo 40cm2mm	37
3.43	Resultados numéricos para el tubo 40cm1mm	38
3.44	Tubo 40cm1mm	38
3.45	Resultados numéricos para el tronco de cono 36cm3mm	39
3.46	Tronco de cono 36cm3mm	39
3.47	Resultados numéricos para el tronco de cono 36cm2mm	40
3.48	Tronco de cono 36cm2mm	40
3.49	Resultados numéricos para el tronco de cono 36cm1mm	41
3.50	Tronco de cono 36cm1mm	41
3.51	Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm3mm	42
3.52	Tronco de cono 35cm3mm	42
3.53	Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm2mm	43
3.54	Tronco de cono 35cm2mm	43
3.55	Resultados numéricos para el tronco de cono 35cm1mm	44
3.56	Tronco de cono 35cm1mm	44
3.57	Resultados numéricos para el tronco de cono 30cm3mm	45
3.58	Tronco de cono 30cm3mm	45
3.59	Resultados numéricos para el tronco de cono 30cm2mm	46
3.60	Tronco de cono 30cm2mm	46
3.61	Resultados numéricos para el tronco de cono 30cm1mm	47
3.62	Tronco de cono 30cm1mm	47
3.63	Resultados numéricos para el tronco de cono 25cm3mm	48
3.64	Tronco de cono 25cm3mm	48
3.65	Resultados numéricos para el tronco de cono 25cm2mm	49
3.66	Tronco de cono 25cm2mm	49
3.67	Resultados numéricos para el tronco de cono 25cm1mm	50
3.68	Tronco de cono 25cm1mm	50
3.69	Resultados numéricos para el tronco de cono 20cm3mm	51
3.70	Tronco de cono 20cm3mm	51
3.71	Resultados numéricos para el tronco de cono 20cm2mm	52
3.72	Tronco de cono 20cm2mm	52

3.73	Resultados numéricos para el tronco de cono 20cm1mm	53
3.74	Tronco de cono 20cm1mm	53
3.75	Modelos de 3mm de espesor para la rebanada 38	54
3.76	Modelos de 2mm de espesor para la rebanada 38	55
3.77	Modelos de 1mm de espesor para la rebanada 38	55
3.78	Modelos de 3mm de espesor para la rebanada 23	56
3.79	Modelos de 2mm de espesor para la rebanada 23	56
3.80	Modelos de 1mm de espesor para la rebanada 23	57
3.81	Modelos de 3mm de espesor para la rebanada 8	57
3.82	Modelos de 2mm de espesor para la rebanada 8	58
3.83	Modelos de 1mm de espesor para la rebanada 8	58

Índice de Tablas

2.1	Constantes del material compuesto, de carácter ortótropo	3
2.2	Análisis de convergencia para conicidad nula	10
2.3	Análisis de convergencia para conicidad 0.01	11
2.4	Comparativa con la solución analítica	12
3.1	Variación del área a lo largo del tronco de cono para los diferentes espesores	20
3.2	Variación del área a lo largo del tronco de cono para los diferentes espesores	23
3.3	Variación del área a lo largo del tronco de cono para los diferentes espesores	27
3.4	Variación del área a lo largo del tronco de cono para los diferentes espesores	30
3.5	Variación del área a lo largo del tronco de cono para los diferentes espesores	33
3.6	Modelos 40cm3mm	59
3.7	Modelos 40cm2mm	60
3.8	Modelos 40cm1mm	60
3.9	Modelos 36cm3mm	61
3.10	Modelos 36cm2mm	61
3.11	Modelos 36cm1mm	61
3.12	Modelos 35cm3mm	62
3.13	Modelos 35cm2mm	62
3.14	Modelos 35cm1mm	62
3.15	Modelos 30cm3mm	63
3.16	Modelos 30cm2mm	63
3.17	Modelos 30cm1mm	63
3.18	Modelos 25cm3mm	64
3.19	Modelos 25cm2mm	64
3.20	Modelos 25cm1mm	64
3.21	Modelos 20cm3mm	65
3.22	Modelos 20cm2mm	65
3.23	Modelos 20cm1mm	65

Bibliografía

- [1] https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v232/en/ans_elem/Hlp_E_SHELL181.html?q=SHELL181, Accessed: NA-NA-NA.
- [2] J Cañas, J C Marín, A Barroso, and F París, *Sobre el uso de modelos de resistencia de materiales y modelos de elementos finitos en el diseño de palas de aerogenerador en libro de actas de MATCOMP-99*, Benalmádena, España, 1999.
- [3] G Fernandes da Silva, J C Marín, and A Barroso, *Evaluation of shear flow in composite wind turbine blades*, *Compos. Struct.* **93** (2011), no. 7, 1832–1841 (en).
- [4] Sergej G Lehnickij, *Theory of elasticity of an anisotropic body*, Mir, 1981.
- [5] J C Marín, A Barroso, F París, and J Cañas, *Study of damage and repair of blades of a 300kw wind turbine*, *Energy (Oxf.)* **33** (2008), no. 7, 1068–1083 (en).
- [6] J C Marín and E Graciani, *Normal stress flow evaluation in composite aircraft wing sections by strength of material models*, *Compos. Struct.* **282** (2022), no. 115088, 115088 (en).
- [7] JC Marin, A Barroso, F París, and J Cañas, *Study of fatigue damage in wind turbine blades*, *Engineering failure analysis* **16** (2009), no. 2, 656–668.
- [8] J C Massa and E J Barbero, *A strength of materials formulation for thin walled composite beams with torsion*, *Journal of Composite Materials* **32** (1998), no. 17, 1560–1594.
- [9] B Paluch, *A software for design and calculation of wind turbine composite rotor blades*, *European Community Wind Energy Conf* (1993), 559–562.
- [10] O C Zienkiewicz and R L Taylor, *El método de los elementos finitos, volúmenes 1 y 2. CIMNE-Mc graw hill*, 1994.