

ESTUDIO DEL COLAPSO DE TUBOS CUADRADOS DE PARED DELGADA SOMETIDOS A COMPRESIÓN

Mundo, Luis M.

UID GEMA, Depto. Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata ,
Calle 1 y 47, (CP: 1900), La Plata, Argentina

Email: luis.mundo@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: Pandeo local, Compresión, Paredes delgadas, FEM, Aplastamiento.

INTRODUCCION:

El pandeo de elementos sometidos a compresión se genera a causa de una inestabilidad en la estructura. Este puede darse en diferentes formas dependiendo de las características geométricas del elemento a estudiar. Si se tratara de una viga muy esbelta, el posible modo de pandeo será como de columna elástico o elastoplástico según su esbeltez. Si la viga es corta y de espesores gruesos la falla puede ocurrir debido a que la carga sobrepasa la carga última de compresión del material y solo es función de las propiedades mecánicas del material. Si la viga posee espesores delgados respecto a las longitudes de su sección puede ocurrir que la falla se dé por una inestabilidad local de dicha sección, este es el caso que se desarrolla en el presente trabajo.

El estudio del fenómeno se realiza por medio de la caracterización del modo de pandeo analizando la evolución de la carga y la geometría de una viga de sección cuadrada hueca a medida que se la somete a una deformación axial de compresión. Este análisis se realiza mediante el uso de un software de elementos finitos, Abaqus.

A su vez se verifican los resultados obtenidos con los hallados en el paper "Finite Element Modeling of Crushing Behaviour of Thin Tubes with Various Cross-Sections". Este posee resultados analíticos, experimentales y numéricos del progreso de la carga para la misma viga sometida a la misma deformación de compresión.

DESARROLLO:

Para realizar el estudio del fenómeno de pandeo local y postpandeo se utiliza una viga cuadrada hueca de 450 mm de longitud y 100 mm de lado por 2,8mm de espesor, esta es la misma que la utilizada en el paper seleccionado como información de comparación a fin de poder validar el método de elementos finitos realizado.

La forma de evaluar el comportamiento a pandeo de la viga se realiza provocando la compresión por medio de la aplicación de deformación axial entre ambos extremos. Esto se genera mediante dos placas rígidas en contacto con dichos extremos. Una de ellas se desplaza

axialmente y de la restante se obtiene carga axial que se genera para producir la deformación, como se presenta en la siguiente figura.

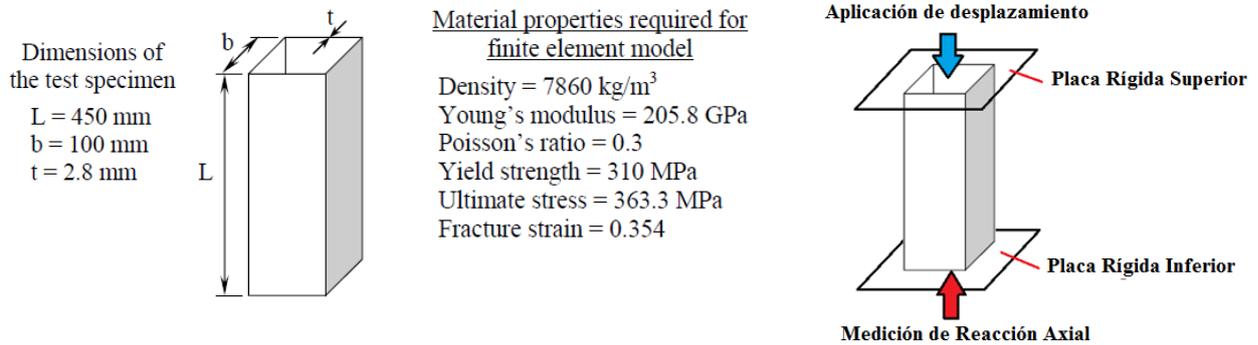


Figura 1 – Geometría, propiedades de la viga a analizar y configuración del análisis.

Descripción del comportamiento físico:

En este tipo secciones sometidas a compresión la falla comienza a manifestarse en forma de pandeo local generado principalmente por una imperfección, ya sea del material, proceso de fabricación o simplemente geométrica, esta última se relaciona con la planitud de las caras o paralelismo entre ellas. A su vez también influyen de forma significativa las condiciones de borde aplicadas, si sus extremos se encuentran simplemente apoyados, libres o empotrados.

En general, un diagrama de carga vs. desplazamiento para este tipo de problema presenta un rápido crecimiento de la fuerza debido a la compresión del tubo en régimen elástico. Luego una rápida caída de la carga cuando una zona del perfil comienza a ceder debido a un pandeo localizado, plegándose. Normalmente se genera en una zona cercana a uno de los bordes en caso de que estos se consideren libres perpendicularmente a la dirección de la carga. Luego de finalizar el primer plegado se puede observar otro crecimiento de la carga hasta que se genera el siguiente plegado de las caras adyacentes. Posteriormente se divide otro crecimiento de la carga debido al contacto entre los plegados hasta que las caras comienzan a plegarse nuevamente. Este proceso ocurre repetidamente hasta que se pliega la totalidad de las caras. Como se muestra de forma cualitativa en la siguiente figura.

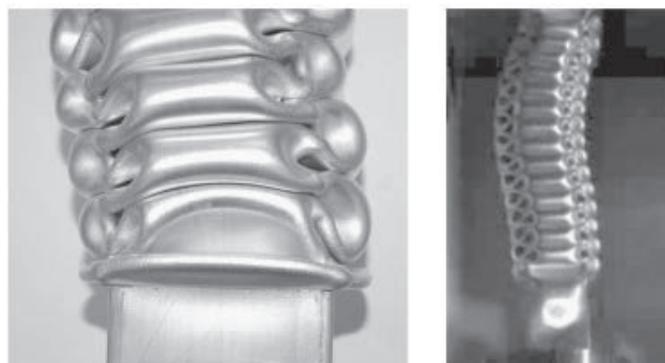


Figura 2 – Comportamiento típico de aplastamiento de tubo cuadrado por pandeo.

Modelos Numéricos Implementados

Para realizar el análisis del comportamiento se generaron una serie de modelos FEM representando las mismas condiciones que se mencionaron anteriormente.

Puede mencionarse que dichos modelos poseen una complejidad significativa debido a que es un problema que contempla tanto la inestabilidad propia del pandeo de la estructura como la elasto-plasticidad del material, una alta no linealidad geométrica debida a los grandes desplazamientos y deformaciones, y un complejo nivel de contacto de la pieza consigo misma para poder modelar cada fase de plegado.

Modelo 1:

Consiste en un análisis Estático Implícito generando una imperfección en el mallado por medio del corrimiento manual de los nodos del borde superior de la viga de 1mm hacia afuera de la sección. El mallado consiste en 7580 elementos cuadriláteros de orden lineal con integración reducida, del tipo (S4R).

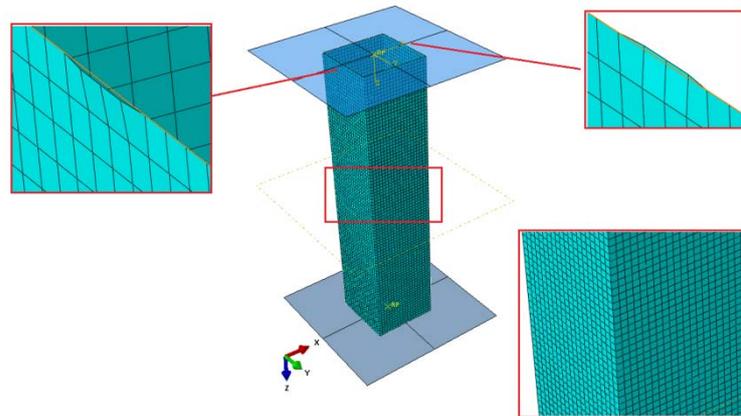


Figura 3 – Mallado del modelo y detalle de imperfecciones agregadas.

Modelo 2:

Consiste en el mismo modelo anterior solo que las imperfecciones se generan mediante la utilización del primer modo de pandeo como patrón de deformación del mallado. El mayor apartamiento del mallado es de 1% del espesor.



Figura 4 – Comparación de primer instante de aplastamiento versus modo de pandeo seleccionado para modificar el mallado.

Modelo 3:

Este modelo consiste en un análisis Dinámico Explícito en el que no se consideran imperfecciones sobre la geometría, dejando que solo la evolución de la deformación genere la inestabilidad. El mallado utilizado es el mismo que en los modelos anteriores, solo que los elementos son aptos para análisis explícitos.

Modelo 4:

Consiste en un análisis dinámico explícito en el que se generan imperfecciones en el mallado considerando los cinco primeros modos de pandeo elástico obtenidos según un modelo previo con iguales factores de ponderación. El mayor apartamiento del mallado es de 1% del espesor.

Modelo 5:

Consiste en un análisis dinámico explícito en el que se generan imperfecciones en el mallado considerando los cinco primeros modos de pandeo elástico obtenidos según un modelo previo. En este caso se considera el primer modo de pandeo con un factor de ponderación del doble que el del resto de los modos. El mayor apartamiento del mallado es de 1% del espesor.

Resultados:

Primeramente se presentan los resultados hallados en el paper de referencia, en el cual se obtuvo la siguiente curva de carga vs acortamiento de la probeta.

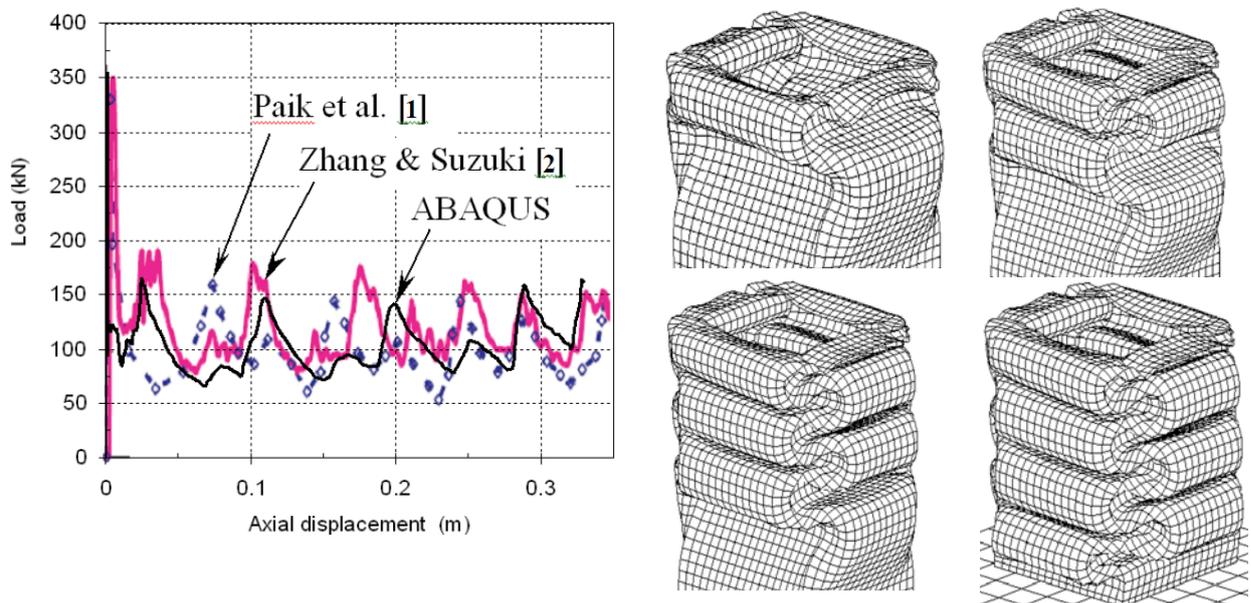


Figura 5 – Curva carga vs. Acortamiento – Aplastamiento progresivo del modelo FEM.

A su vez se obtuvieron los siguientes valores de carga pico y principal de pandeo:

Table (1) Comparison between the presented results of F.E.M., experimental results in Ref.[1] and numerical solution in Ref.[2]

Parameter	Ref.[1]	Ref.[2]	F.E.M.
Peak load (kN)	337.12	357.23	348.25
Mean load (kN)	100.98	101.32	102.78

En cuanto a los modelos realizados, a continuación se presenta una comparación entre los resultados de cada modelo junto con una tabla de las cargas pico y principales de pandeo en comparación con las halladas en el paper.

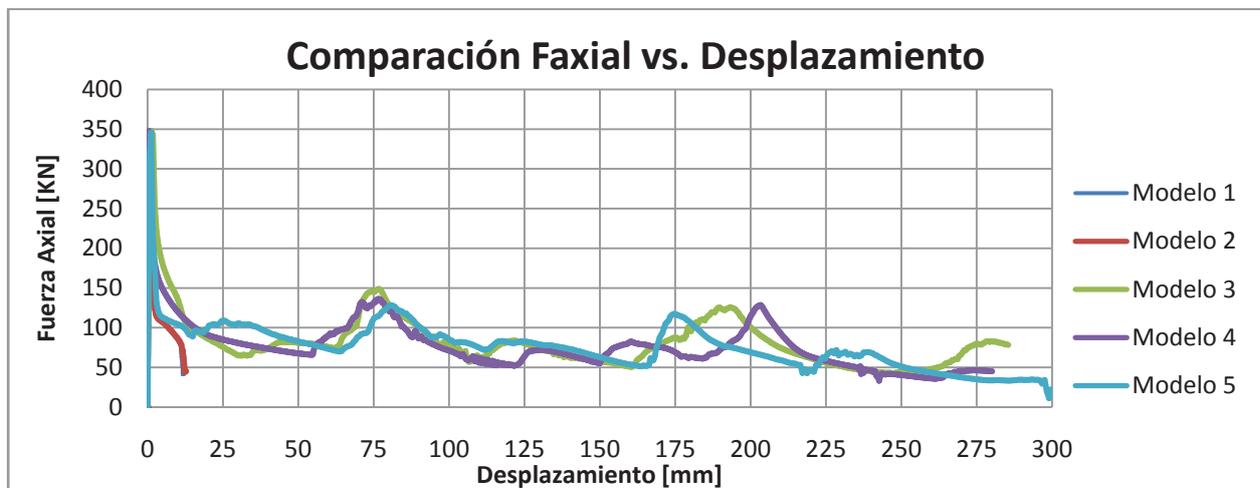


Figura 6 – Diagrama de carga, comparación entre modelos.

Tabla 1 – Cargas Pico y Cargas Principales – comparación con paper.

MODELOS	Carga Pico	Error %**	Desplaz.	Carga Principal	Error %***
	[KN]		[mm]	[KN]	
Paik [1] Analítico-paper	337,12		NM*	100,98	
Zhang & Suzuki [2] ensayo-paper	357,23		NM*	101,32	
FEM Abaqus-Paper	348,25		NM*	102,78	
Modelo 1	347,47	0,22	0,77	42,3	-
Modelo 2	347,82	0,12	0,83	47,75	-
Modelo 3	347,78	0,13	1,2	82,31	19,92
Modelo 4	347,33	0,26	0,6	76,43	25,64
Modelo 5	345,82	0,70	1,2	73,35	28,63

NM*: Valores no medidos. Error%**: Error porcentual medido respecto a la carga pico del modelo de Abaqus obtenido del paper. Error%***: Error porcentual medido respecto a la carga Principal modelo de Abaqus obtenido del paper.

Conclusiones

Se logró obtener conocimientos en las técnicas utilizadas para el modelado del pandeo local en estructuras de pared delgada verificando y validando su comportamiento frente a distintas alternativas, tanto teóricas, numéricas como experimentales.

Las *Cargas Pico de Pandeo* obtenidas con todos los modelos FEM implementados se acercan al resultado numérico (Abaqus) obtenido del paper de manera muy satisfactoria, logrando un error 0,7 % en el peor caso. A su vez, respecto a los valores experimental y analítico hallados los errores son aceptables, de 3,2% en el peor caso.

Los valores de *Carga Principal de Pandeo*, obtenida de la energía absorbida (integral numérica realizada en la curva carga vs desplazamiento) dividida por el desplazamiento total arroja valores muy por debajo de las mencionadas en el paper, con errores de hasta un 28%.

Los análisis estáticos generales utilizados abortan a escasos milímetros de desplazamiento 12mm aproximadamente, por lo que se concluye que este tipo de análisis no son aptos para este tipo de problemas, teniendo que utilizarse análisis Explícitos.

Las imperfecciones en el mallado a colocar en las paredes de la viga no deben exceder el 2% del espesor para los casos en los que se utilizan los autovalores de pandeo. Valores mayores disminuyen drásticamente la *Carpa Pico de Pandeo*. Se debe ponderar el modo de pandeo deseado con un mayor valor que el resto con el fin de generar la deformación requerida. En el modelo 4 al tener igual ponderación en los cinco primeros modos de pandeo se observa que el colapso comience en la zona central de la viga (influenciada por el quinto modo), Esto no altera significativamente la carga pico de pandeo, solo el comportamiento posterior el cual depende de los sucesivos plegados.

Puede observarse que el no agregar imperfecciones no impide el desarrollo del colapso de la estructura en los análisis dinámicos Explícitos.

REFERENCIAS

- [1] M. M. Yones, "Finite Element Modeling of Crushing Behavior of Thin Tube with Various Cross-Section"
- [2] J. K. Paik, J. Y. Chung, and M. S. Chun, "On quasi-static crushing of a stiffened square tube", J. Ship Res., Vol. 40, No. 3, pp. 258–267, 1996.
- [3] A. Zhang, and K. Suzuki, "A study on the effect of stiffeners on quasi-static crushing of stiffened square tube with non-linear finite element method", Int. J. of Imp. Eng., Vol. 34, pp. 544–555, 2007.