

APLICACION DE UN MODELO COMPUTACIONAL PARA LA SIMULACION DEL PROCESO MECANICO DE MANDRILADO DE TUBOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.

Héctor C. Sanzi, Gustavo F. Elvira y Ariel R. Bohonos

Grupo Ingeniería Estructural - Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Haedo
París 532 - 1706 Haedo, Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

En el presente trabajo, se presentan los principales resultados del estado tensional y deformaciones que ocurren en la unión del tubo con la placa tubular de un intercambiador de calor cuando se aplica un proceso de fijación denominado "Mandrillado". Se utilizan técnicas computacionales por elementos finitos y se comparan los resultados con los obtenidos por fórmulas empíricas utilizadas en la práctica habitual del taller.

ABSTRACT

In the present work, we are presenting the most important results of the stresses and displacement occurred in the tube-tubesheet joint of the heat exchanger under mechanical process.

An elasto-plastic finite element calculation was carried out in order to determinate the exact deformations of the tube-tubesheet joint. The most important conclusions are presented and compared with the obtained by empirical procedures.

INTRODUCCION

En la actualidad, el anclaje de los tubos en una placa tubular de un intercambiador de calor se realiza mediante diferentes procedimientos, los cuales a lo largo de los años han evolucionado para satisfacer los requerimientos de la industria en general.

La necesidad de contar con mayores presiones y temperaturas de trabajo han influido en el desarrollo de distintos equipos para expandir firmemente los tubos en el orificio de la placa tubular a través de una deformación en frío, impuesta por la herramienta mecánica. El aumento del diámetro interior del tubo ocasiona deformaciones sobre la placa, provocando una unión sólida e impidiendo cualquier tipo de pérdida. El procedimiento de unión más divulgado en la industria es el mandrillado mecánico.

La medición práctica de la presión necesaria para garantizar la unión es bastante difícil de lograr. En este último aspecto se cuentan con fórmulas empíricas, de reconocido valor práctico, que cuantifican la deformación impuesta y permiten tener una idea del proceso mecánico que se desarrollará.

El objetivo de este trabajo es presentar un modelo computacional que caracterice el proceso de unión entre el tubo y la placa mediante el mandrillado mecánico. Utilizando un modelo

simplificado de elementos finitos es posible llevar a cabo el estudio y correlacionar los resultados con los obtenidos mediante las expresiones empíricas utilizadas en el taller.

DESCRIPCION DEL PROCESO

El mandrilado de tubos se efectúa con una herramienta mecánica denominada “expandidor de tubos”. En el presente trabajo analizaremos el expandidor a rodillos por considerarse el más difundido en la industria por su alta eficiencia.

El proceso de mandrilado es en cierta forma una actividad artesanal, ya que requiere de la habilidad del operador para efectuar dicha tarea, sumándose la influencia de las variables operativas que afectan en el resultado final de la unión. El punto de mayor discusión en este proceso es la determinación exacta del punto de expansión óptima del tubo, aplicada a través de la presión de expansión proporcionada por la máquina mandriladora [1].

La medición práctica de esta presión es un problema bastante difícil de lograr. En este último aspecto se cuenta con fórmulas empíricas de reconocido valor práctico, que cuantifican la deformación impuesta del diámetro interior del tubo, en función del grado de estanqueidad, fijación requerida y evitando plastificar a la placa tubular. Posteriormente se deben efectuar los ensayos necesarios para verificar el resultado.

Es posible encontrar una relación que vincule los resultados del ensayo, obtenidos mediante las fórmulas empíricas, con las que resultan del planteo de un modelo computacional realizado mediante elementos finitos.

METODO PRACTICO Y EMPIRICO

Mediante este método se obtiene el valor aproximado de la expansión óptima para realizar la fijación entre el tubo y la placa. Algunos investigadores estiman que la medición del incremento del diámetro interior del tubo, después del contacto entre el mismo y el asiento de la placa, es una forma de medición precisa de la extrucción que sufre el tubo [1].

Teniendo el control de la deformación del tubo es posible ajustar el proceso mecánico y realizar satisfactoriamente el mandrilado en todos los tubos del equipo. Esto se logra controlando la potencia absorbida de la máquina y midiendo el torque por medio electrónicos, ya que es función directa de la presión de adhesión de la junta. En la figura 1 se muestra el dispositivo y las herramientas utilizadas para efectuar esta tarea.

A efectos de establecer el valor máximo de la expansión y para evitar la sobre expansión de los tubos, debe calcularse y cumplirse ciertas reglas que a través de los años fueron perdurando como prácticas y de uso [1],

$$Em = Dap - 1.9 Et \quad (1)$$

<i>Em</i>	Expansión máxima
<i>Dap</i>	Diámetro del orificio de la placa
<i>Et</i>	Espesor del tubo

Esta fórmula establece que la deformación estructural de la pared del tubo mandrilado, es equivalente a una disminución del 10% de su espesor, y no se debe exceder este valor. Resulta evidente que el mandrilado correcto es función directa del valor máximo de la expansión. Si no mandrilamos suficientemente el tubo quedará flojo y dará lugar a pérdidas, caso contrario, el sobremandrilado producirá una disminución de la resistencia mecánica del tubo.

SIMULACION COMPUTACIONAL MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

Utilizando un modelo simplificado de elementos finitos, conociendo la deformación final del tubo obtenida con la expresión (1), es posible realizar el análisis y correlacionar ambos resultados. En este camino se ha realizado un análisis detallado, utilizando técnicas computacionales a partir del método de elementos finitos, de una porción de la placa tubular teniendo en cuenta la simetría geométrica y de carga que presenta la misma. Para el cálculo se utilizó el programa COSMOS/M [2] y en el mismo se consideró:

- La ubicación relativa del agujero frente a las demás perforaciones de la placa tubular.
- El tubo en su posición inicial antes de entrar en contacto con la placa y el gap adoptado.
- El comportamiento elastoplástico del tubo y la placa (Diagramas Tensión-Deformación).
- El adelgazamiento del tubo no se tiene en cuenta en el modelo.

El modelo se presenta en la figura 2. Se seleccionaron elementos cuadrangulares de 8 nodos del tipo de Estado Plano de Tensión para representar el tubo y la placa. Se utilizaron elementos del tipo "gap" para simular el efecto no lineal de contacto entre la cara externa del tubo e interna de la placa. Se densificó la malla en la zona de unión, ya que allí es donde se producirán las mayores deformaciones y tensiones.

Como el proceso se realiza de a un tubo por vez, solo se modeló parte de la placa que contiene al mismo, considerando una porción suficientemente alejada del tubo de tal manera de no alterar los resultados en la zona de unión. El procedimiento consiste en aplicar distintos valores de presión sobre el diámetro interior del tubo hasta encontrar aquel que produzca la deformación dada por la expresión (1). Encontrada la presión, se determina el estado tensional y de deformaciones que alcanzan la placa y el tubo cuando sean ensayados en el taller. Por la característica mecánica de la máquina, la aplicación de la carga es gradual en el tiempo, alcanzando en 3 seg. el torque máximo, para descargar en otros 3 seg..

Obtenida la presión, se grafican las máximas tensiones y se evalúan las deformaciones.

DESCRIPCION DE LA GEOMETRIA

Los datos principales del tubo y la placa tubular necesarios para el análisis son:

	Tubo	Placa tubular
Material	ASTM A179 s/costura	SAE 1020
Diámetro interior [mm]	14.05	19.304
Espesor [mm]	2.50	25.40
Tensión de rotura [N/mm²]	392.19	388.08
Tensión de fluencia [N/mm²]	269.30	238.14
Alargamiento [%]	40.00	40.50
Pitch triangular [mm]		34.804
Ligamento remanente [mm]		15.500
Gap [mm]	(19.304 – 19.050) / 2 = 0.127	

Las tolerancias del tubo y la placa están indicadas en la norma TEMA [3].

RESULTADOS

Aplicando la fórmula (1), surge la máxima expansión del tubo,

$$E_m = 19.304 \text{ mm} - 1.9 \times 2.5 \text{ mm} = 14.554 \text{ mm}$$

Para esta deformación impuesta, medida en el diámetro interior del tubo, se obtiene la presión aplicada correspondiente a 200 N/mm².

Por lo tanto, para deformación de 14.554 mm y para la presión de 200 N/mm² se presentan los siguientes resultados:

Figura 3: Tensión de Von Mises en la placa tubular en función del tiempo del proceso

Figura 4: Tensión de Von Mises en el tubo en función del tiempo del proceso

Figura 5: Desplazamiento radial del tubo en función del tiempo del proceso

Figura 6: Tensión de Von Mises en la zona de unión para máxima carga, 3 segundos.

Figura 7: Tensión de Von Mises en la zona de unión para el final del proceso, 6 segundos.

CONCLUSIONES

Se ha evaluado el estado tensional de la placa y el tubo, utilizando metodologías computacionales, para una deformación impuesta que surge de expresiones empíricas utilizadas en el taller.

De los resultados surge que las máximas tensiones equivalentes de Von Mises sobre la placa superan los valores de fluencia, alcanzando un grado de plastificación en la zona de contacto con el tubo, lo cual es un hecho no deseable. Reduciendo el valor de la deformación impuesta (dada por la expresión (1)) a valores inferiores, es posible encontrar un nivel tensional adecuado, manteniendo la estanqueidad de la unión.

Es importante destacar que el estado de tensiones residual de la placa, producto del proceso mecánico, no es un estudio realizado en la práctica habitual, pero se demuestra el grado de incertidumbre que presenta en algunos casos el método industrial, el cual quedaría verificado con el análisis propuesto.

Estos resultados le permitirán al operador ajustar las variables operativas que caracterizan el proceso mecánico, previo a su ejecución en el taller, de tal manera de realizar un mandrilado óptimo y que no produzca deformaciones plásticas sobre la placa.

FUTUROS DESARROLLOS

Se está realizando un nuevo estudio para encontrar una formulación matemática aproximada que relacione la presión aplicada con el torque mecánico que registra la mandriladora.

Se ha mecanizado una placa de iguales características que la analizada con el objeto de realizar un ensayo y medir las deformaciones (con strain gauges) desarrolladas en la placa y determinar el torque mecánico que se alcance durante el mandrilado. Esta información permitirá correlacionar, comparar y ajustar los resultados del análisis computacional.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el aporte económico ofrecido por la Asociación Gremial de Docentes de la Universidad Tecnológica, FAGDUT, la cual hizo posible la publicación de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] NEMAPA SA, Especificación interna sobre Mandrilado de tubos.
- [2] COSMOS/M, Program Finite Element Versión 1997
- [3] TEMA, Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association, Ed. 1981

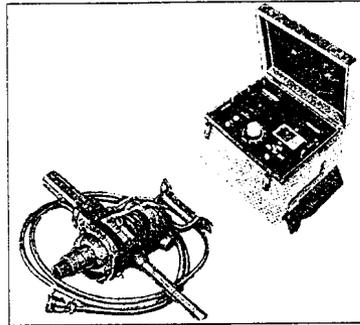


Figura 1: Equipo para mandrilado de tubos.

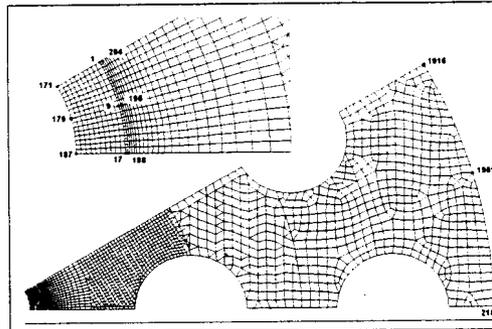


Figura 2 : Modelo de elementos finitos

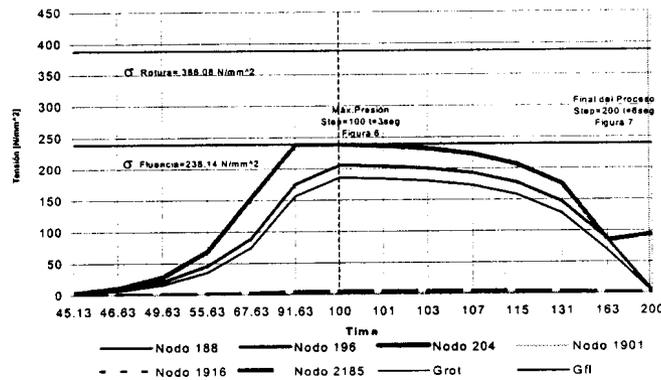


Figura 3: Tensión de Von Mises en la placa tubular en función del tiempo de proceso.

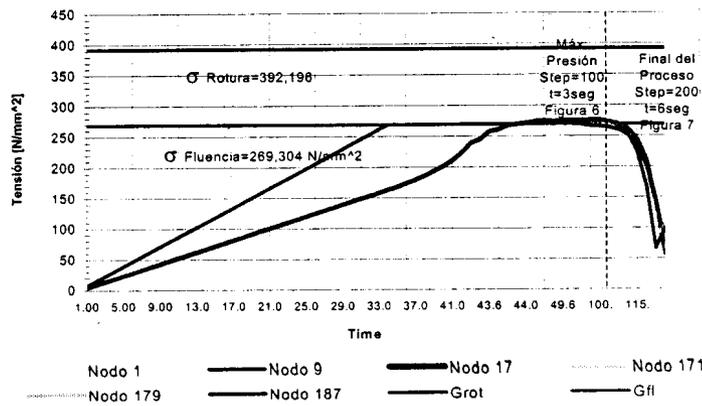


Figura 4: Tensión de Von Mises en el tubo en función del tiempo del proceso.

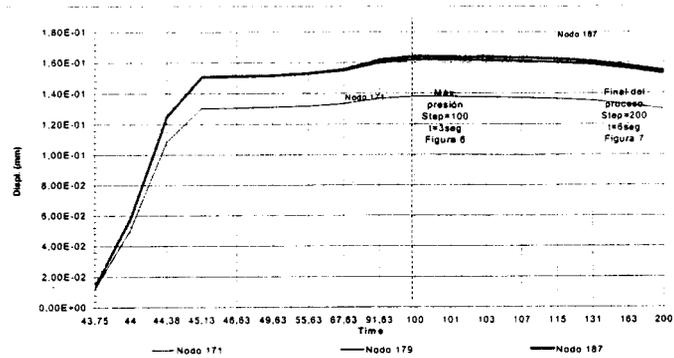


Figura 5: Desplazamiento radial del tubo en función del tiempo del proceso.

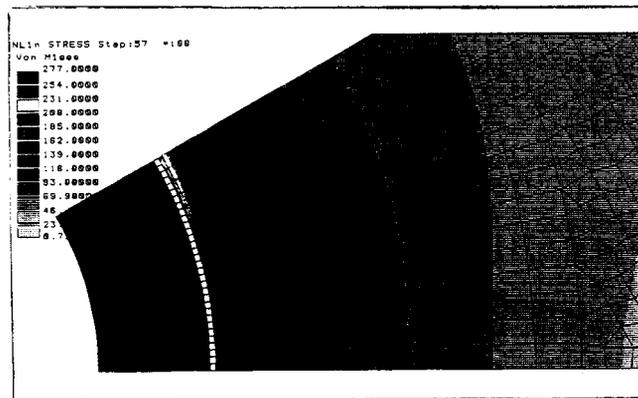


Figura 6: Tensión de Von Mises en la zona de unión para máxima carga, 3 segundos.

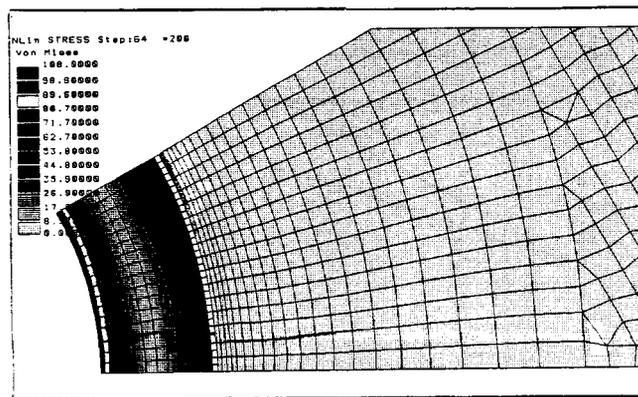


Figura 7: Tensión de Von Mises en la zona de unión para el final del proceso, 6 segundos.