

# Modelo bidimensional de elementos finitos para el diseño de rodillos de conformado en frío de tubos

## Design of cold forming rollers by a finite elements bidimensional model

J. Abad<sup>(1)\*</sup>, M. García<sup>(2)</sup>, V. Tabuenca<sup>(1)</sup>, L. Lezáun<sup>(1)</sup>, F.J. Martínez<sup>(1)</sup>, J.M. Franco<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica, <sup>(2)</sup>Departamento de Procesos de Fabricación

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza.

Universidad de Zaragoza.

c/ María de Luna, 3, 50018 Zaragoza, España

\* javabad@posta.unizar.es

### Resumen

*En el presente artículo se indica el procedimiento empleado para el diseño de rodillos en el perfilado de tubos en frío, mediante el empleo de un modelo bidimensional de elementos finitos. Se indican los pasos seguidos, los parámetros de interés a determinar y el ajuste de los mismos, necesarios para simular de forma precisa el proceso de conformado en frío de tubos que implican grandes deformaciones y plastificación del material. Así mismo se muestran los resultados obtenidos en la aplicación del modelo en la obtención de un perfil determinado y su posterior ensayo en máquina.*

**Palabras claves:** Conformado, modelización, bidimensional, diseño, rodillos.

### Abstract

*In this article the procedure for the design of rollers used in the cold forming of pipes, is described. The design process is carried out using a bidimensional FEM model. In the article the steps developed in the design process are shown as well as the required accuracy of the main parameters in order to model in a precise way the real cold forming of the pipes considering the great strains and the plastification of the material during the process. Finally the results of the modelization are validated comparing the theoretical values for a certain profile with the real values obtained in the former.*

**Key words:** Forming, modelization, bidimensional, design, rollers.

### 1 Introducción

La obtención de perfiles tubulares por deformación en frío es un proceso de fabricación mediante el cual, y partiendo de unas bobinas de fleje con una anchura determinada, se hace pasar por un tren de rodillos de conformado con el fin de adaptarlo, en un primer momento, a una forma circular que tras pasar por un proceso de soldadura, desbarbado y calibrado se convierte en un tubo cerrado que se puede emplear finalmente con dicha geometría o bien, tras pasar por una última estación de rodillos, servirá de base para la obtención del perfil definitivo: cuadrado, rectangular, oval, etc.

En cualquier caso el diseño de la geometría de los rodillos de conformado es un proceso complejo en el que se ven involucrados diversos factores como: determinación exacta del desarrollo del fleje, marcado del perfil por

presión excesiva, recuperación elástica del material tras deformarse, tensiones residuales, pandeo del tubo, etc. y que junto a la falta de información sobre el tema dificultan enormemente el mismo. Tradicionalmente el diseño de unos nuevos rodillos con el fin de obtener una geometría distinta de tubo se basaba un poco en los escasos datos existentes y un mucho en la experiencia adquirida con el tiempo, de forma que tras un primer diseño se debe comprobar en máquina el resultado obtenido exigiendo realizar un proceso repetitivo de ensayo, modificación y verificación lo cual supone un elevado coste y tiempo de desarrollo.

Con el fin de agilizar el proceso de desarrollo de los rodillos de conformado de un nuevo perfil de tubo y a propuesta de una empresa del sector se ha abordado por este grupo de trabajo multidisciplinar y en el marco de un convenio de colaboración la posibilidad de analizar por la

técnica de los elementos finitos el proceso de conformado en frío de tubos, con el fin de poder afinar al máximo el diseño de los rodillos en el ordenador y evitar los costosos ajustes en máquina.

El estudio de este proceso de conformado en un código de elementos finitos supone, sin lugar a dudas, uno de los análisis más complejos de abordar ya que en el mismo se aúnan fenómenos de contacto, grandes desplazamientos y deformaciones, y plastificación del material; para el desarrollo de este trabajo se ha utilizado el paquete COSMOS/M con su módulo no lineal.

Sin embargo se pretendía que el análisis fuese lo más rápido y flexible posible, y que permitiera analizar en el plazo más corto de tiempo posible diversas configuraciones de rodillos hasta alcanzar la más óptima, para lo cual se pensó en un modelo bidimensional para la simulación del mismo. Así nuestros primeros pasos se dirigieron a evaluar la bondad del modelo bidimensional para aproximar el comportamiento real del conformado por rodillos.

## 2 Estudio tridimensional del conformado por rodillos

Para conocer en mayor profundidad el proceso de conformado por rodillos y analizar así la posibilidad de una modelización bidimensional se simuló en un primer momento el proceso de conformado de un tubo cilíndrico tras el paso por dos rodillos cilíndricos, se aprovecho la simetría del problema y solo se ha modelizado una cuarta parte del mismo, como se muestra en la Fig. 1.

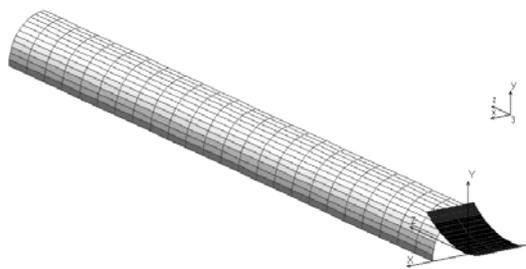


Fig. 1. Modelo tridimensional de elementos finitos

Tras analizar los resultados de deformación y distribución de tensiones en el tubo se puede apreciar como, una vez excluidos el inicio y final del tubo, el proceso de conformado puede aproximarse por un modelo bidimensional. En la Fig. 2 se indica el estado de tensiones a lo largo del proceso y como queda la distribución final de tensiones residuales en el tubo.

## 3 Modelo bidimensional

Dado que ya existían rodillos de conformado para la obtención de diversas geometrías de tubo se determinó que en un primer paso se simularían dichas geometrías y se verificaría de dicho modo el modelo bidimensional,

ajustando el modelo de plastificación, parámetros de integración, mallado y propiedades del material.

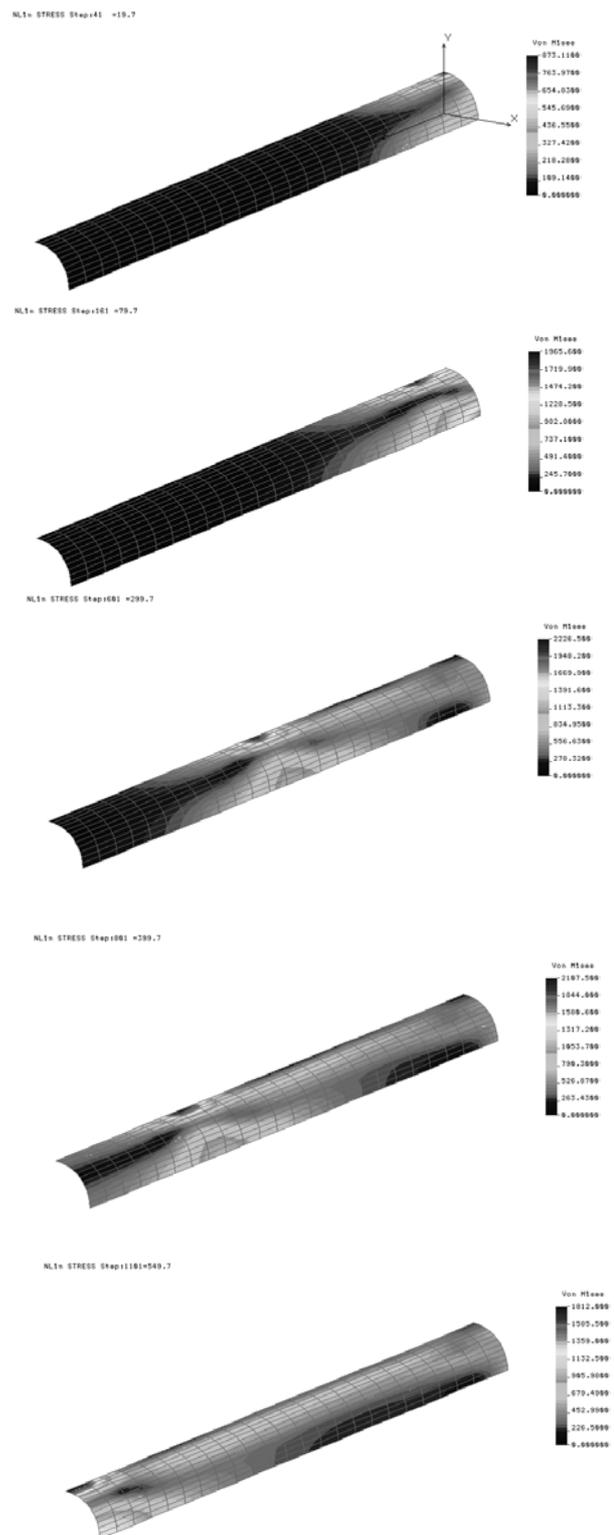


Fig. 2. Evolución de tensiones a lo largo del proceso de conformado

### 3.1 Ajuste de parámetros

Se simuló en primer lugar el juego de rodillos existente para obtener un tubo cuadrado a partir de uno redondo, modelando por elementos finitos una cuarta parte del problema ya que se aprovechó la existencia de simetría.

El modelo de plastificación elegido finalmente es el de Von-Mises con endurecimiento isotrópico, activando en el elemento las opciones de grandes deformaciones y desplazamientos. La obtención de este perfil se realiza en cuatro pasos, indicándose en la Fig. 3 la evolución de la forma y tensiones en cada uno de ellos.

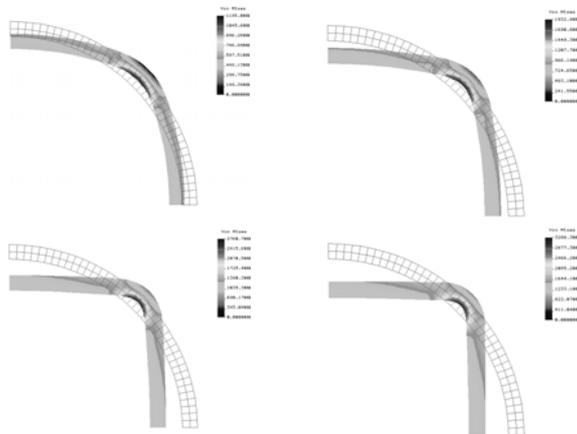


Fig. 3. Evolución del proceso de conformado de tubo cuadrado

El método de integración empleado ha sido el de Newton-Raphson completo, definiendo un paso de integración tal que en cada incremento de tiempo no se supera la centésima de milímetro de desplazamiento con el fin de asegurar la convergencia y exactitud del resultado.

### 3.2 Determinación de la curva del material

Ya se ha comentado anteriormente que el modelo empleado para simular el comportamiento del material ha sido el de plastificación de Von-Mises con endurecimiento isotrópico, eligiendo una curva bilineal como la representada en la Fig. 4 para definir la relación tensión deformación del material.

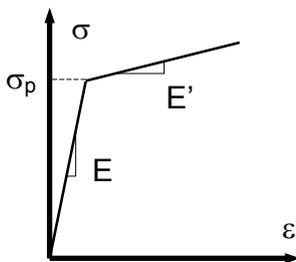


Fig.4. Curva bilineal de comportamiento del material.

Para ello se debe de definir el valor de tensión de plastificación,  $\sigma_p$ , el módulo de elasticidad E en la zona de comportamiento proporcional del material, y el módulo de elasticidad E' en la zona de comportamiento plástico.

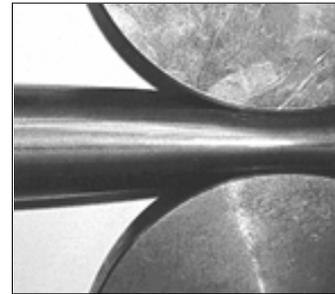


Fig. 5. Ensayo realizado para la caracterización del material

Con el fin de caracterizar los puntos que definen la curva del material se realizó un ensayo al tubo circular de partida que simulara el proceso de conformado, Fig. 5, para a continuación realizar este mismo ensayo en el programa de elementos finitos ajustando los parámetros de la curva bilineal de forma que se obtuvieran los mismos valores de deformación y recuperación elástica que en el ensayo de laboratorio.

Al realizar el ensayo sobre el propio tubo, que se deformará posteriormente mediante los rodillos, el ajuste de la curva de comportamiento del material nos permite tener en cuenta el posible endurecimiento sufrido por el fleje original en su proceso de conformado para obtener esta forma de tubo cilíndrico.

### 4 Empleo del modelo para el diseño de rodillos en un nuevo perfil

Una vez llegados a este punto debíamos emplear el modelo para el diseño real de unos nuevos rodillos, con el fin de conseguir la geometría indicada en la Fig. 6, partiendo de un tubo de  $\varnothing 45$ .

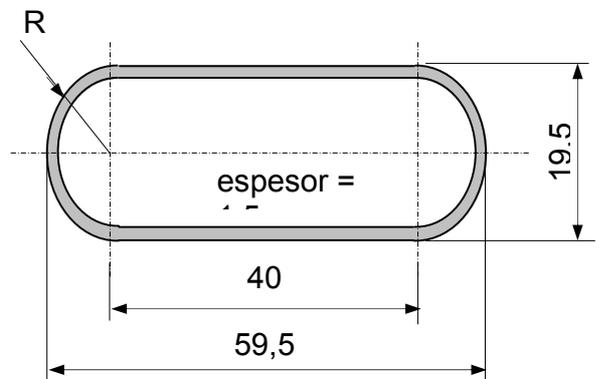


Fig. 6. Nuevo perfil a analizar.

Ello suponía definir la geometría de los rodillos partiendo de cero para lo cual se debieron ensayar diversos perfiles de rodillos hasta conseguir los que permitieran obtener la geometría buscada. A lo largo del proceso de diseño de los rodillos se pudieron detectar diversos defectos en el proceso de conformado como fue un error en el cálculo teórico del desarrollo del fleje de partida o diseños de rodillos que producían pandeo en el perfil, ambos defectos se indican en la Fig. 7.

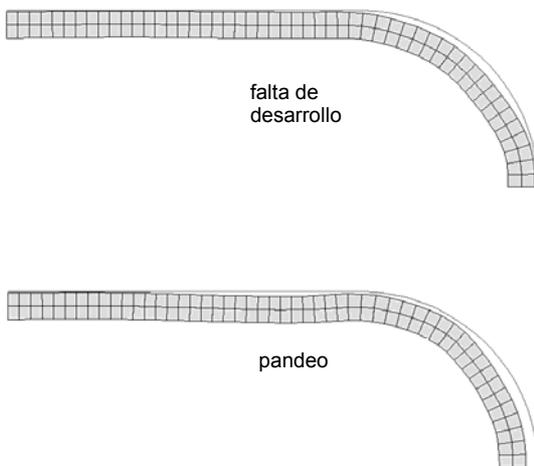


Fig. 7. Defectos detectados en la simulación.

Una vez definidos los perfiles de los rodillos de conformado, se pasó a su fabricación y montaje en máquina, puede apreciarse en la Fig. 8 un detalle de los rodillos de uno de los pasos de conformado.

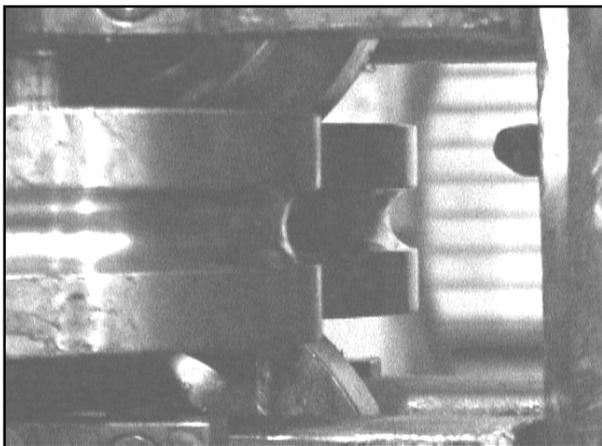


Fig. 8. Detalle de rodillos montados en máquina

El resultado obtenido se muestra en la Fig. 9 donde se indica la geometría estimada mediante simulación y la

geometría obtenida en máquina, conseguida tras escanear una sección del tubo.

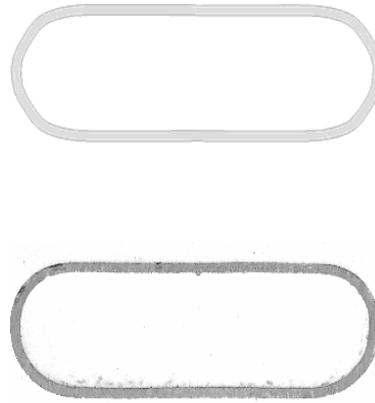


Fig. 9. Geometría estimada en simulación y real obtenida en máquina

## 5 Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo y que se han mostrado a lo largo del artículo indican la posibilidad de simular con bastante exactitud el proceso de conformado en frío de tubos, mostrándose como una herramienta muy eficaz en la ayuda al diseño de perfiles de nuevos rodillos de conformado reduciendo el tiempo y coste de desarrollo de los mismos. Así mismo la correcta caracterización del material mediante una curva bilineal proporciona excelentes resultados, aunque no se descarta el emplear una curva multilineal para posibles estudios. Por último indicar que el análisis realizado corresponde a un perfil simétrico, planteándonos como siguiente paso el estudio de perfiles no simétricos.

## Referencias

- Characterization of Mechanical Properties of Material, 1992, American Society of Mechanical Engineers.
- Numerical Methods for Simulation of Industrial Metal Forming Processes, 1992, American Society of Mechanical Engineers.
- Chenot JL, Oñate E, 1988, Modelling of metal forming processes, Kluwer Academic Publishers.
- Kobayashi S, 1989, Metal forming and the finite element method, Oxford University Press Inc.
- Kurt L, 1994, Handbook of metal forming, Industrial Engineering & Management.
- Manuales de COSMOS/M 2.5, 1999, Structural Research and Analysis Corporation (SRAC), USA.
- Zienkiewicz OC, Taylor RL, 2000, El método de los elementos finitos, Volúmenes I y II, Ed. Butterworth Heinemann.