

SIMULACIÓN FEM DEL PROCESO DE FORMADO DE TUBO DE ACERO AISI 1018

Pedro Jorge De Los Santos Lara

Instituto Tecnológico de Celaya
delossantosmfq@gmail.com

Raúl Lesso Arroyo

Instituto Tecnológico de Celaya
raul.lesso@itcelaya.edu.mx

José Manuel Ávila Aguilar

Rassini Bypasa SAB de CV
jmavila@rassini.com

Resumen

La simulación por elemento finito de procesos de estampado es una herramienta auxiliar en el proceso de diseño y optimización de herramientas. En este artículo se presenta el análisis del proceso de formado de un tubo de acero AISI 1018 mediante un troquel progresivo de dos etapas. Se utilizó ANSYS/LS-DYNA para realizar las simulaciones de tipo dinámico explícito, considerando las diversas no linealidades que implican este tipo de análisis, derivadas de las propiedades del material, las grandes deformaciones y los contactos entre las herramientas y la pieza de trabajo. Los resultados obtenidos son la fuerza máxima requerida para el proceso de formado inicial que fue de 1.27 toneladas y los esfuerzos máximos que se generan en el proceso de doblado que fueron de 76 213 psi. Se muestra, además, la geometría resultante del proceso de formado comparada de forma cualitativa con la obtenida mediante la simulación.

Palabra(s) Clave(s): Formado, Método del elemento finito, Simulación.

Abstract

The finite element simulation of metal forming processes is an auxiliary tool in the design and optimization of dies. This article presents the analysis of stamping process of an AISI 1018 steel tube, using a two steps progressive tooling. ANSYS/LS-DYNA was used to perform the simulations of dynamic-explicit type, considering the multiples nonlinearities that implies this analysis type, derived from material properties, large strains and contacts between dies and work piece. The results obtained are the maximum force required (1.27 ton) and the maximum stresses (76213 psi). The resulting geometry of the forming process compared qualitatively with that obtained by the simulation is also shown.

Keywords: *Metal forming, Finite element method, Simulation.*

1. Introducción

Los procesos de estampado forman parte importante de la industria metal-mecánica, muchas piezas metálicas se fabrican utilizando estos procesos, debido a los altos volúmenes de producción y a la rapidez de fabricación respecto a otros métodos. El modelado de problemas de estampado de partes metálicas requiere una precisión considerable en la caracterización de efectos como el comportamiento no lineal de un material, grandes deformaciones y condiciones de contacto entre la herramienta y la parte a estampar que derivan en algoritmos complejos [1].

En la empresa BYPASA se fabrican componentes para el sector automotriz (bujes y abrazaderas) que requieren de diversos componentes metálicos, los cuales son manufacturados mediante procesos de estampado. Normalmente, los herramientas se han desarrollado con la metodología tradicional, pero derivado de un proceso de renovación de la empresa, se pretende utilizar tecnologías de CAD/FEA/CAM para el desarrollo de herramientas de producción.

Como parte de la metodología anterior se tiene la simulación por elemento finito de los procesos de formado/estampado. Específicamente, en este caso, se realizó la simulación del proceso de formado de un tubo de acero AISI 1018, que forma parte como tubo interior en un buje utilizado para muelles de hojas en suspensiones de automóviles. Este tubo, se fabrica utilizando un troquel progresivo de dos etapas: la

primera es en la cual se efectúa un doblado en U, y la otra que realiza un doblado en O, o cerrado del tubo. En lo subsiguiente se presenta el desarrollo de la metodología y los resultados obtenidos en la simulación de la primera etapa del troquel diseñado (doblez en U).

2. Métodos

Consideraciones generales

Para realizar el análisis por elemento finito se han tomado en cuenta sólo los elementos formadores que tienen influencia directa o contacto sobre el formado del tubo, quitando todos los elementos del troquel adicionales.

Los formadores se han considerado como elementos rígidos, para simplificar y agilizar el análisis numérico, al permanecer sus características geométricas y mecánicas invariables, siendo solamente el *blank* (pieza de trabajo) un sólido deformable. El tubo, objeto de esta simulación, tiene un diámetro interior (final) de 0.57 in, un espesor de 0.12 in y una longitud de 3 in (figura 1).

La figura 2 muestra el troquel compuesto diseñado para realizar el proceso de formado del tubo en dos pasos: dobléz y cierre.

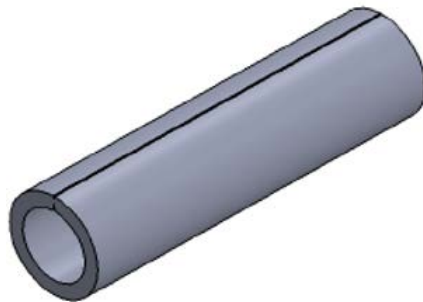


Figura 1 Modelo CAD del tubo.

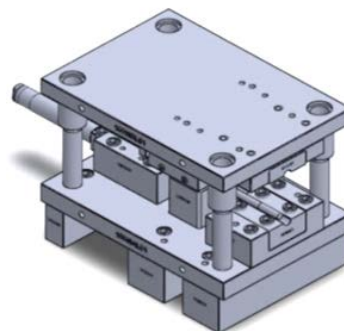


Figura 2 Modelo CAD del troquel.

Geometrías y partes

En la figura 3 se muestra el ensamble simplificado del primer paso del troquel. Este modelo CAD está constituido por los formadores inferiores, formadores superiores, las levas formadoras y el *blank*.

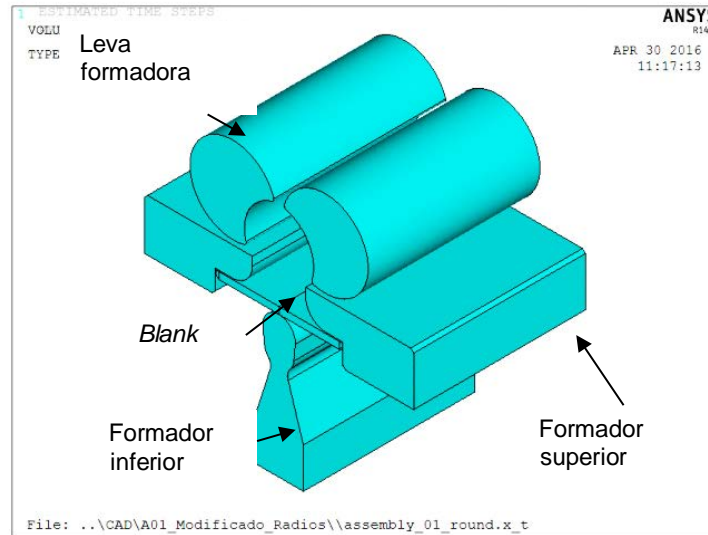


Figura 3 Ensamble del primer paso (doblez en U).

El modelo mostrado en la Figura 3, fue generado en la interfaz del software de simulación, donde fueron definidas las partes, cuyo concepto aquí es fundamental e incluye dentro de esta a todos aquellos elementos que comparten el tipo de material, tipo de elemento y sección.

Modelo constitutivo

Se utilizó un modelo de tipo *Piecewise Linear Plasticity*, el cual es un modelo multilineal que permite utilizar una curva esfuerzo-deformación y la dependencia de la tasa de deformación como datos de entrada para definir el comportamiento plástico del material. Para cuantificar la tasa de deformación este modelo utiliza la relación de Cowper-Symonds, representado por la ecuación 1 [2].

$$\sigma_y(\varepsilon_{eff}^P, \dot{\varepsilon}_{eff}^P) = \sigma_y \varepsilon_{eff}^P \left[1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{eff}^P}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right] \quad (1)$$

Donde $\dot{\varepsilon}_{eff}^P$ es la tasa de deformación plástica efectiva, C y P son parámetros del material referentes a la tasa de deformación, es el esfuerzo de fluencia sin la consideración de la tasa de deformación.

En la figura 4 se muestra la curva esfuerzo-deformación obtenida de forma experimental [3], incluida en las propiedades plásticas del acero AISI 1018 utilizado como materia prima. En la tabla 1 se especifican las propiedades elásticas para el mismo acero, así como los parámetros (C y P) [4] requeridos en la ecuación 1.

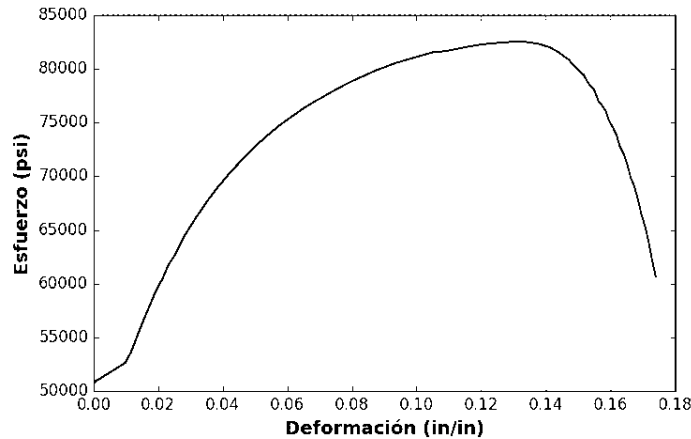


Figura 4 Curva esfuerzo deformación obtenida experimentalmente.

Tabla 1 Propiedades del material.

Propiedad	Magnitud
Módulo elástico	29 000 (ksi)
Coeficiente de Poisson	0.3
Densidad	0.00073 (lb·f s ² /in ⁴)
Esfuerzo de fluencia	52 000 (psi)
C	40 (s ⁻¹)
P	5

En los componentes del troquel se utilizó un modelo rígido, para el cual sólo es necesario especificar las propiedades elásticas. Los componentes rígidos, normalmente, permiten la aplicación de condiciones de desplazamiento utilizando el identificador de la parte, además, las propiedades inerciales se calculan basadas en el modelo de elemento finito [5].

Mallado

El *blank* se malló utilizando elementos SOLID164, el cual es un sólido de ocho nodos, utilizado normalmente para análisis de tipo dinámico explícito. En los

componentes del troquel se mallaron las áreas que contactará con el *blank* en cada uno de los casos, utilizando elementos SHELL163, con la finalidad de reducir el número de elementos a simular y consecuentemente el requerimiento de tiempo y costo computacional.

En el *blank* se utilizó un tamaño global de elemento de 0.03 in, y 0.035 in en el caso de las partes rígidas, exceptuando las áreas que están directamente en contacto con el *blank*, en cuyo caso se hizo un refinamiento, dejando el tamaño global en 0.02 in. En el *blank* fue necesario segmentar en cuatro volúmenes, para permitir un mallado más uniforme. En total se obtuvieron 52285 nodos y 45348 elementos para el ensamble del primer paso. El modelo mallado resultante se muestra en la figura 5.

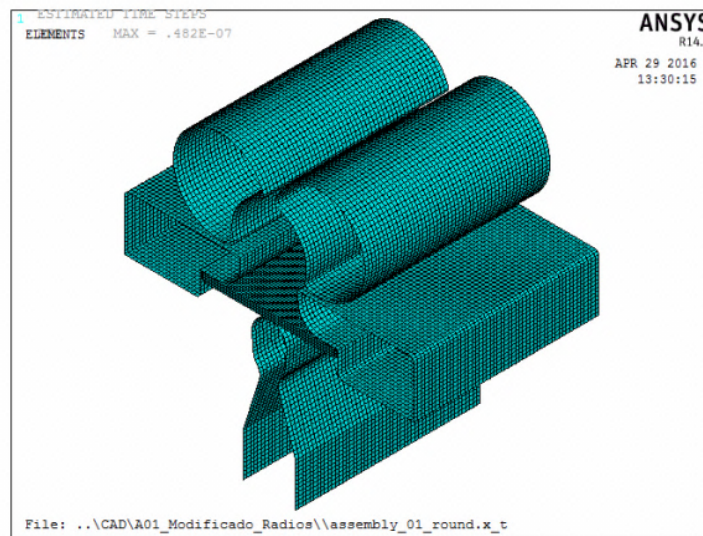


Figura 1. Mallado del ensamble

Condiciones de frontera

Para efectos de la simulación el *blank* fue sujetado en el punto medio, en las direcciones X y Z, para evitar que se desplace indebidamente y con esto ayudar en la convergencia de la solución.

Para los componentes del troquel, al ser cuerpos rígidos la mayoría de sus restricciones fueron consideradas en la definición del material. En el caso de los formadores superiores, sólo se especificaron los desplazamientos en la dirección vertical Y, se utilizaron arreglos unidimensionales para especificar la relación

tiempo-desplazamiento, en todos los casos se especificó como desplazamiento de cuerpo rígido (RBUY), aplicándose esta condición a cada uno de los componentes. La relación tiempo-desplazamiento se definió utilizando una función de tipo *smooth-step* o suave por tramos, cuya forma general es $f(t) = A(Bt^2 - Ct^3)$, donde A, B y C son constantes a ajustar para el requerimiento de desplazamiento total, se caracteriza por tener un crecimiento lento al principio y final del intervalo especificado, con la finalidad de que esto facilite la estabilización y convergencia del análisis. En la figura 6 se muestra la gráfica del tiempo-desplazamiento utilizado en el primer paso del troquel.

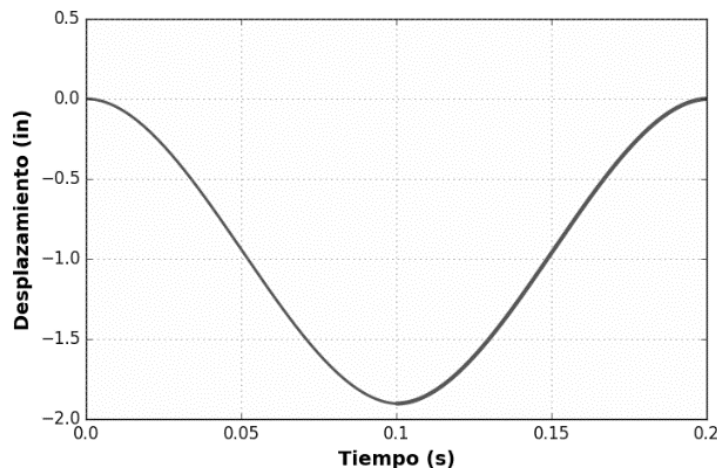


Figura 2 Vector tiempo-desplazamiento.

Contactos

En la definición de contactos se utilizó un tipo de contacto superficie-superficie general. (STS). El programa de simulación utiliza los coeficientes de fricción estático (FS) y dinámico (FD) para la formulación del coeficiente friccional (μ_c), que viene dado por la ecuación 2.

$$\mu_c = FD + (FS - FD)e^{-DCv_{rel}} \quad (2)$$

Donde DC es el coeficiente de decaimiento exponencial y v_{rel} la velocidad relativa entre las superficies en contacto [5]. Los valores del coeficiente de fricción estático y dinámico se establecieron en 0.2 y 0.1, respectivamente [6].

En la simulación del segundo paso se utilizó el contacto de tipo *Single Surface* (SS) para tomar en cuenta el contacto del *blank* con él mismo (cerrado del tubo) [5], utilizando también los parámetros de fricción indicados anteriormente.

Configuración del análisis

La simulación se realizó utilizando el *solver* dinámico-explicito de LS-DYNA. El proceso físico del formado tiene una duración aproximada del orden de 1-1.5 s, en el caso del tiempo especificado para la simulación se redujo a 0.2 s, con el propósito de mermar el tiempo de computo requerido para su ejecución, cuidando en todo caso que los efectos inerciales inducidos fuesen insignificantes, tomando en cuenta que además se simula solamente un segmento del recorrido total que de manera experimental realiza el troquel.

3. Resultados

Como primer resultado se muestran los esfuerzos de von Mises (en psi) en el último paso de carga (tiempo 0.2 s), que es cuando los formadores han regresado a la posición inicial, esto se muestra en la figura 7.

La figura 8 muestra la variación en el tiempo del esfuerzo de von Mises máximo, como se observa, el valor máximo alcanzado es de 76, 213 psi.

En la figura 9 se presenta la variación en el tiempo de la fuerza de reacción máxima en la dirección de los desplazamientos en los formadores, misma que será equivalente a la fuerza de formado requerida para el doblado en U de la pieza. Se observa un valor máximo de 2800 lb_f (1.27 ton).

La figura 10 muestra una imagen del *blank*, en las pruebas experimentales realizadas, después del doblado en U, en la cual se observa también la geometría resultante comparable a la obtenida mediante la simulación.

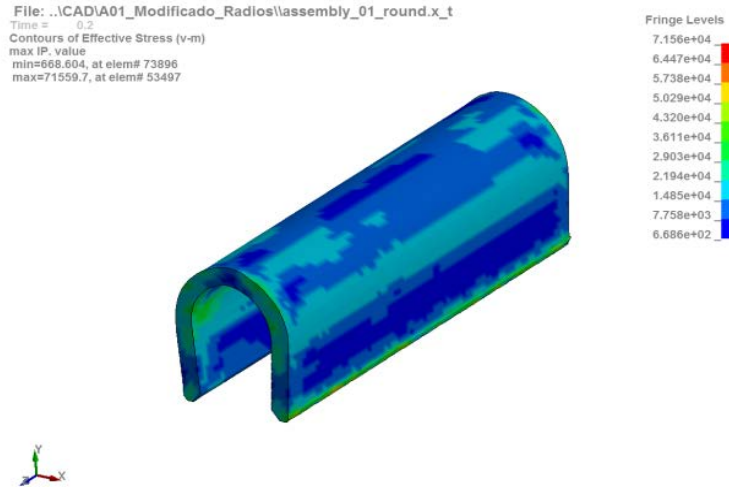


Figura 7 Esfuerzo de von Mises.

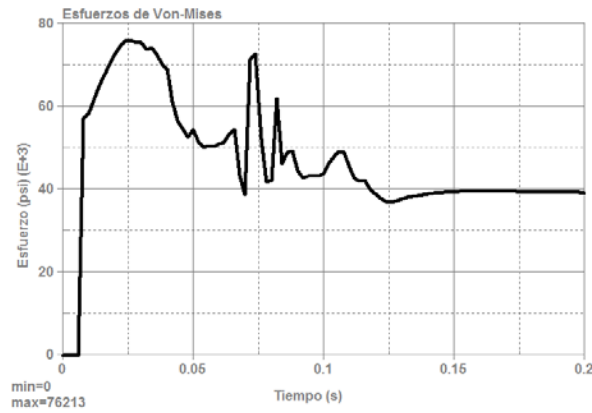


Figura 3 Variación del esfuerzo máximo de von Mises.

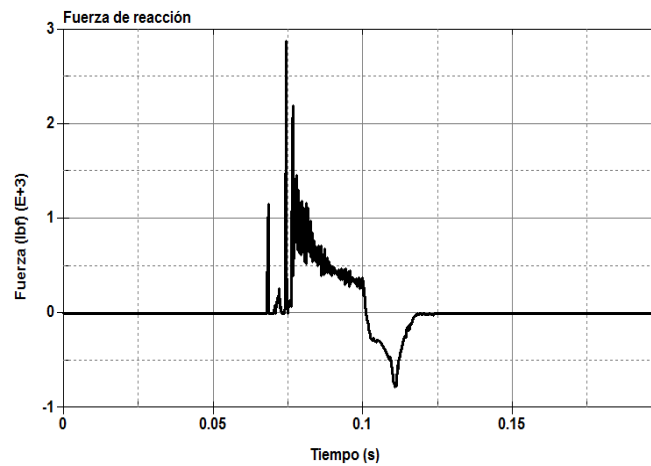


Figura 9 Fuerza de formado.



Figura 10 Dobleza en U (primer paso).

4. Discusión

Para la simulación de procesos de estampado utilizar el enfoque dinámico-explicito permite una mejor estabilidad y convergencia en la solución que su par implícito. En este caso el tiempo de cómputo requerido fue considerablemente extenso, pero podría reducirse mediante el control adecuado del tamaño de los intervalos de solución (*time step size*) usando escalamiento de masa, tomando los cuidados relativos a los efectos inerciales inducidos que habrían de producirse. La geometría final obtenida con la simulación en este primer paso (doblado en U) cumple, de manera cualitativa, con los requerimientos establecidos, además, durante el proceso de simulación no se observa alguna situación que pudiese derivar en fallas o imperfecciones de manufactura. Asimismo, la carga requerida calculada (1.27 ton) para realizar este proceso se encuentra dentro del rango de la capacidad instalada (superior a 100 ton) en la prensa de trabajo.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Banabic, Dorel (2010). Sheet metal forming processes, constitutive modelling and numerical simulation. Rumanía: Springer.
- [2] Livermore Software Technology Corporation (2016). LS-DYNA Theory Manual.
- [3] ASTM International (2009). ASTM Standard E8, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.

- [4] Hernández, C., Maranon, A., Aschroft, I.A. y Casas-Rodríguez, J.P. (2013). A computational determination of the Cowper-Symonds parameters from a single Taylor test. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 4698-4708.
- [5] ANSYS Inc. (2013). ANSYS LS-DYNA User's Guide.
- [6] Carvill, J. (1993). *Mechanical Engineer's Data Handbook*. Manchester, UK: Butterworth Heinemann.