# SIMULACIÓN DEL PROCESO DE EMBUTIDO DEL CILINDRO DE GAS DE 10KG

**Ing. Reynier Febles García[1], Dr. C. Marcelino Rivas Santana[1]**

*1. Universidad de Matanzas – Sede "Camilo Cienfuegos",*
*Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. reynier.febles@umcc.cu*

*CD de Monografías 2016*
*(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"*
*ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X*

## Resumen

El proceso de conformación de chapa juega un papel clave dentro de la industria de manufactura mecánica, especialmente dentro de la fabricación de recipientes metálicos a presión. Siendo la determinación del régimen de trabajo es un aspecto clave para lograr la eficiencia de estos procesos. En el presente trabajo, se llevó a cabo la simulación por el método de los elementos finitos de un proceso de embutido de chapa, analizando la influencia del radio de redondeo de la matriz y la fuerza de pisado para el acero JIS 3116. Realizándose la modelación tridimensional de las geometrías, aprovechando la simetría radial, un cuarto de la pieza real, con el objetivo de minimizar el empleo de recursos computacionales. Durante el post-procesamiento, se compararon los resultados de la simulación con los experimentales, observándose el comportamiento del material durante la deformación mediante la medición de la chapa y la fuerza del punzón durante el proceso. Demostrando que los valores simulados son cercanos a los experimentales.


***Palabras claves****: Simulación; Método de Elementos Finitos; Embutido; Material.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas actuales de la manufactura consiste en la obtención de los parámetros adecuados de los procesos para lograr una mayor economía en los mismos. Lograr esto implica, en muchos casos, la necesidad de contar con modelos robustos y fiables de los fenómenos físicos que tienen lugar en dichos procesos, lo cual requiere, a su vez, la realización de experimentos lentos y costosos. Las técnicas de simulación basada en herramientas computacionales, tal como el método de elementos finitos, constituye una alternativa razonable que elimina (o, al menos, disminuye razonablemente) el esfuerzo experimental requerido en la selección de tecnologías de fabricación mecánica.

La tecnología de embutición de chapa metálica es uno de los procesos más difíciles en la fabricación. La operación de embutir es el proceso de conformado de una pieza plana de material en una forma hueca por medio de un punzón que hace fluir el material por el espacio existente entre el mismo y la matriz. La profundidad de la estampa puede ser superficial, moderada o profunda, esto dependerá de las variadas geometrías y tamaños de las piezas a fabricar. Debido al flujo incorrecto del material, durante los procesos de estampación surgen defectos tales como arrugas causadas por la compresión y desgarros o separaciones causados la tracción (Patel, 2008).

Varios autores (Nasser *et al.*, 2010 ; Govik *et al.*, 2012) coinciden en que, en la industria de la estampación, las corridas de simulación por elementos finitos (FE) es un paso importante en el diseño del proceso. El establecimiento de las propiedades mecánicas adecuadas del material es unos de los requisitos para el uso fiable del método de elementos


*(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"*
*ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X*

finitos. Por lo general, las curvas de tensión de flujo se obtienen utilizando el ensayo de tracción uniaxial. Aunque precisa y conveniente, existen dos limitaciones principales para esta prueba. En primer lugar, los valores de tensión obtenidos en esta prueba son generalmente menores que los valores observados en los procesos de estampación.

Diversos productos de software han sido utilizados para simular el proceso de embutición a través del método de elementos finitos. Dentro de ellos cabe destacar el DYNAFORM (Lindeberg, 2012 ; Jie *et al.*, 2015), el ANSYS LS-DYNA (Ankenas y Barauskas, 2006 ; Hagenah *et al.*, 2013 ; Lora *et al.*, 2013 ; Ayed *et al.*, 2014), el ABAQUS (Hagenah *et al.*, 2013 ; Ayed *et al.*, 2014) y el STAMPACK (Hernández y Vásquez, 2010 ; Bernal, 2013).

En el trabajo se propone simular por elementos finitos el proceso de conformado del acero JIS 3116 variando parámetros del proceso (fuerza de pisado) y la geometría del herramental (radio de la matriz) con el objetivo de determinar los valore más convenientes para lograr menor disminución en el espesor de la pieza embutida.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

Como material empleado en la investigación tenemos el acero JIS 3116 SG255, cuya composición química es: 0,017 % de C, 0,32 % de Si, 0,056 % de Al, 0,04% de P, 0,204 % de Mn. Dicha composición fue determinada mediante los método de fluorescencia de rayos X y microanálisis por dispersión de energía (EDS) en un microscopio electrónico de barrido. Las propiedades mecánicas fueron obtenidas mediante un ensayo de tracción acorde con la norma ASTM E-8M (Astm, 2013). Los resultados arrojaron un límite elástico de 242 MPa y el esfuerzo máximo a la rotura de 385 MPa. Las dimensiones de las probetas utilizadas se muestran en la Fig. 1.

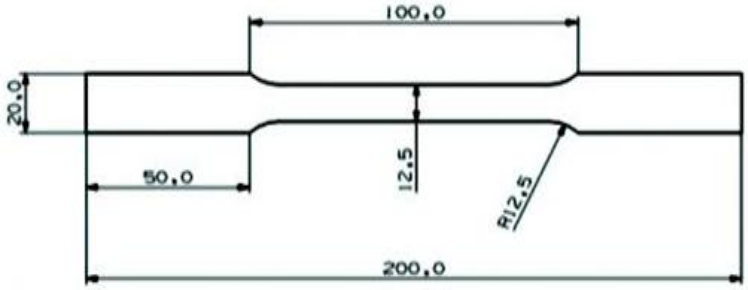



*Figura 1. Dimensiones de las muestras.*

Para realizar las simulaciones se utilizaron nueve experimentos, donde se variaron los valores de fuerza de pisado y radio de la matriz en tres niveles, el tipo de diseño utilizado fue el arreglo ortogonal L9


*(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"*
*ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X*

*Tabla 1. Diseño de experimento L9.*

| No | Fuerza de pisado (kN) | Radio de la Matriz (mm) |
|---|---|---|
| 1 | 20 | 8 |
| 2 | 20 | 10 |
| 3 | 20 | 12 |
| 4 | 44 | 8 |
| 5 | 44 | 10 |
| 6 | 44 | 12 |
| 7 | 68 | 8 |
| 8 | 68 | 10 |
| 9 | 68 | 12 |

Las simulaciones fueron llevadas a cabo con el software DEFORM-3D. La malla utilizada fue hexaédrica con 2410 elementos, la velocidad de desplazamiento del punzón fue fijada en 30 mm/s, el modelo de fricción utilizado fue el de Coulomb con un valor constante de 0.15. Para introducir los datos necesarios del modelo constitutivo del material se utilizó el software JMATPRO, el cual, a partir de la composición química del material, obtiene las curvas de flujo de tensiones (tensión efectiva –deformación efectiva), las mismas fueron realizadas a temperatura constante con un valor de 250 C. Ver Fig. 2.

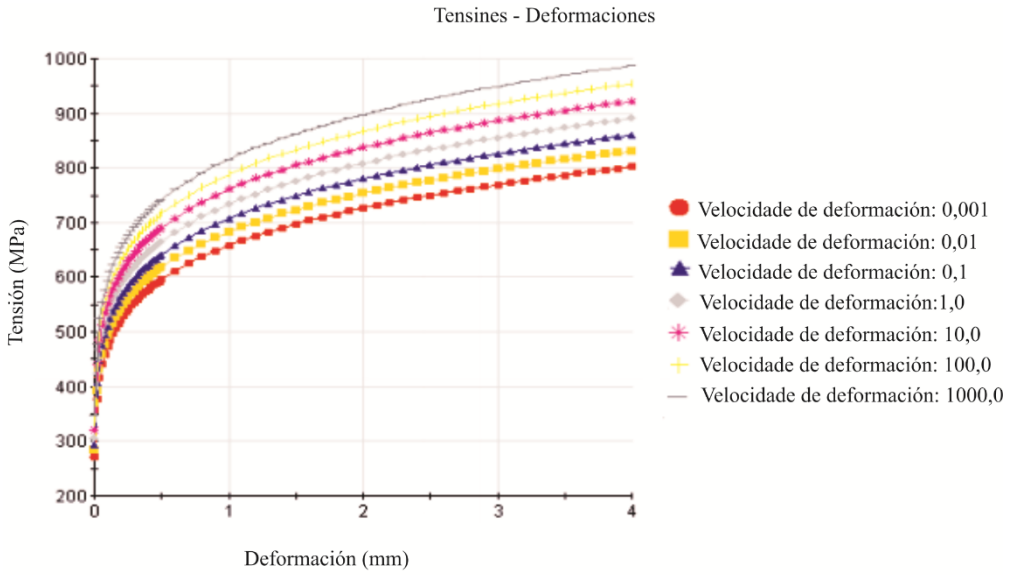



*Figura 2. Gráfica de tensión-deformación del acero JIS 3116 SG 255.*


*(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"*
*ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X*

## 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Luego de realizadas las simulaciones se obtuvieron una serie de resultados que muestran el comportamiento del material durante la embutición. Como se puede observar en la Fig. 3, las tenciones máximas sufridas por el material aparecen en la zona del radio de la matriz, en dependencia de los valores usados en el proceso, estos valores pueden superar los críticos y provocar la rotura del material.

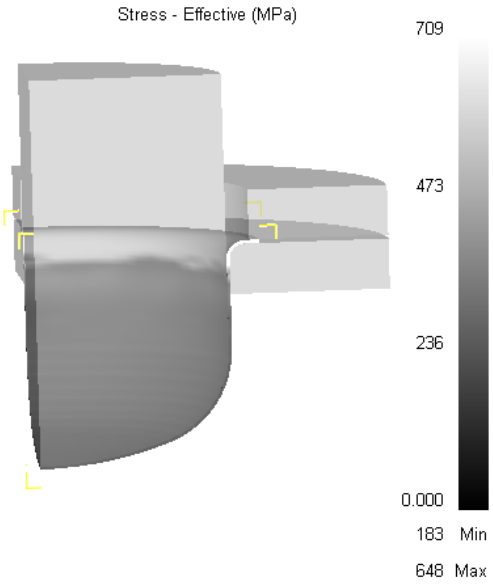
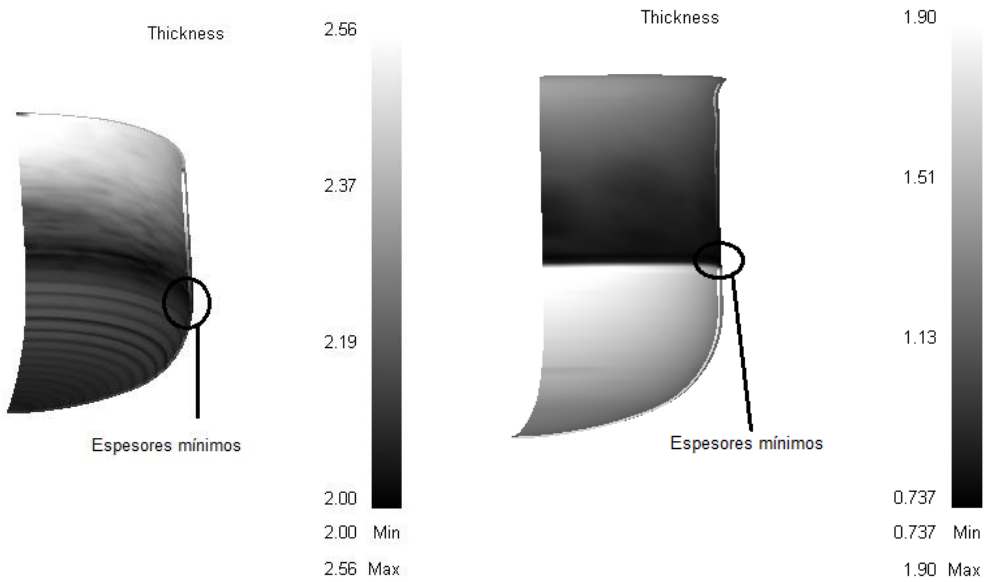



*Figura 3. Tensiones para una fuerza de pisado, FP = 68kN y Rm = 8mm.*

El espesor es un parámetro que está estrechamente relacionado con el aumento de la fuerza de pisado. Esto queda demostrado mediante las simulaciones donde podemos observar que con un incremento de la fuerza de pisado, el espesor disminuye. Esta disminución de espesor provoca resultados no deseados durante el proceso de fabricación. Lo afirmado anteriormente se puede observar en la Fig. 4a donde los espesores mínimos (Smin) se encuentran en la zona del radio de redondeo del punzón y que el material se desplaza hacia la parte superior del cilindro donde ocurre un ensanchamiento. Es importante destacar que el ensanchamiento en la zona superior provoca una variación del juego entre matriz y punzón, esto traería como consecuencia un incremento de las tensiones que pudiera repercutir en el desgaste de la matriz y el aumento de la fuerza de embutido.


*(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"*
*ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X*




a) b)

*Figura 4. Espesores obtenidos: a) FP = 20kN y Rm = 8mm, b) FP = 68kN y Rm = 12mm.*

Para analizar la influencia de los parámetros Fp y Rm en el trabajo realizado por el mismo (W) se tomaron los valores de las curvas obtenidas de fuerza del punzón (FP) contra desplazamiento ($\varepsilon$), como se muestra en la Fig. 5. Con el objetivo de eliminar *el ruido* que introduce el tamaño de la malla, las curvas fueron filtradas y finalmente se determinó el área bajo la curva.

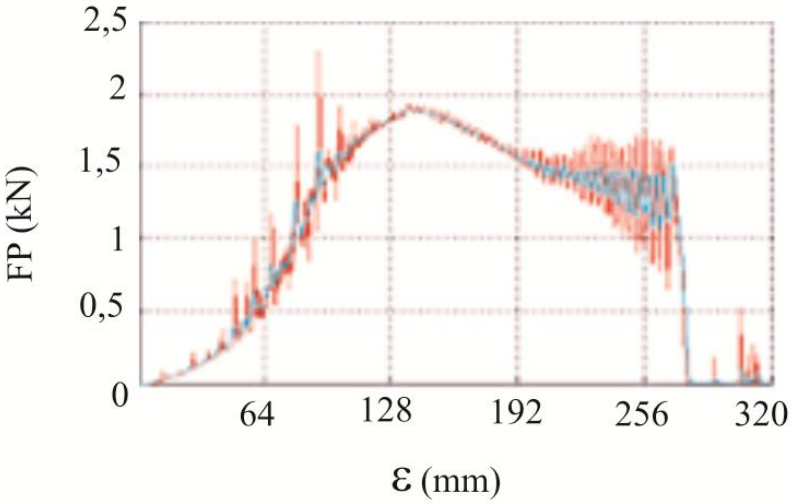



*Figura 5. Fuerza del punzón-desplazamiento.*


*(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"*
*ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X*

Los resultados obtenidos para cada simulación de los valores de W y espesores mínimos (Smin) se muestran en la Tabla 2.

*Tabla 2. Resultados de las simulaciones.*

| No | Fuerza de pisado (Fp en kN) | Radio de la Matriz ( Rm en mm) | Trabajo realizado (W en J) | Espesores mínimos ($S_{min}$ en mm) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 8 | 27549,11 | 2,00 |
| 2 | 20 | 10 | 27006,73 | 2,09 |
| 3 | 20 | 12 | 27131,46 | 2,06 |
| 4 | 44 | 8 | 26085,05 | 2,08 |
| 5 | 44 | 10 | 25560,21 | 2,07 |
| 6 | 44 | 12 | rompió | rompió |
| 7 | 68 | 8 | 25890,36 | 1,98 |
| 8 | 68 | 10 | 27314,11 | 2,07 |
| 9 | 68 | 12 | 5074,66 | 0,74 |

En la figura 6 se muestra el comportamiento del trabajo realizado con diferentes fuerzas de pisado (Fp) y radio de redondeo de la matriz (Rm).

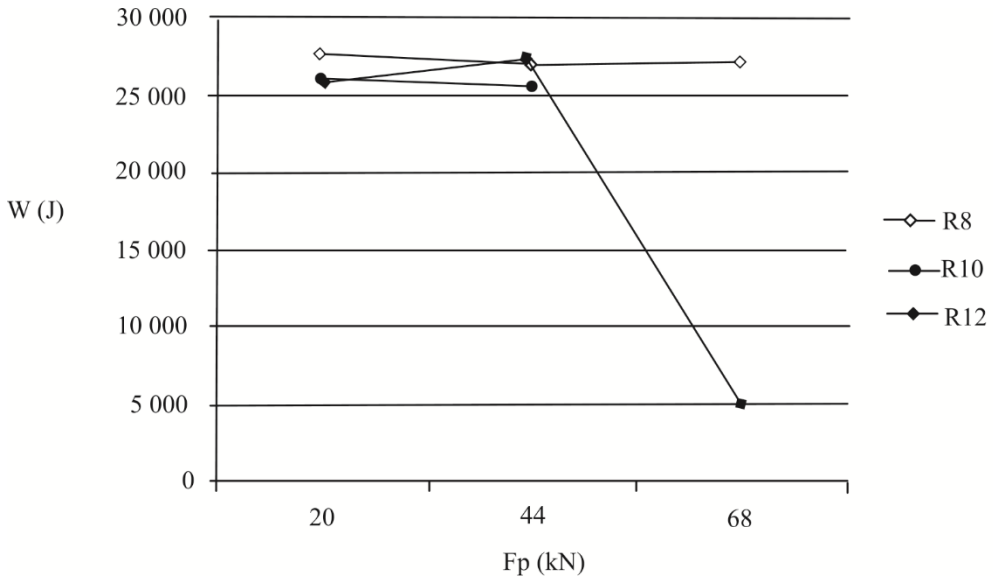



*Figura 6. Comparación de Trabajo.*


*(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"*
*ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X*

Con el objetivo de validar los resultados obtenidos a través de la simulación, se llevó a cabo un proceso real con los parámetros correspondientes y se midió el espesor de la chapa en varios puntos de la misma. En la Fig. 7 se muestran los puntos seleccionados para realizar las mediciones. Por otra parte, en la Tabla 3 se muestra una comparación entre los valores simulados y medidos. En la cuales se puede observar que los espesores obtenidos de las simulaciones son valores cercanos a los experimentales, mostrando una diferencia no mayor del 8,88 %.

*Tabla 3. Validación de los experimentos.*

| No. mediciones | Altura (mm) | Espesor real (mm) | Espesor sim. (mm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 202 | 2,53 | 2,53 |
| 2 | 148 | 2,26 | 2,30 |
| 3 | 114 | 2,15 | 2,16 |
| 4 | 91 | 2,08 | 2,05 |
| 5 | 84 | 2,05 | 2,05 |
| 6 | 76 | 2,01 | 2,06 |
| 7 | 68 | 1,95 | 2,09 |
| 8 | 60 | 1,95 | 2,14 |
| 9 | 53 | 2,08 | 2,10 |
| 10 | 47 | 2,15 | 2,16 |

## 4. CONCLUSIONES

Con el empleo del método de los elementos finitos se logró simular el proceso de embutido para el material JIS 3116 SG255 para diferentes fuerzas de pisado y radio de la matriz. Entre los parámetros de mayor influencia en la simulación tenemos, el tamaño de la malla, el coeficiente de fricción y el modelo constitutivo del material, por lo cual, en futuros trabajos, se debe prestar especial atención. Las zonas de tensiones máximas aparecen en el radio de la matriz, siendo esto de vital importancia para el cálculo del desgaste de la matriz.

Las curvas obtenidas de fuerza de embutido contra desplazamiento permiten obtener los valores de trabajo realizado, el cual puede ser utilizado para la optimización del proceso. La gráfica mostrada en la figura 6 indica una tendencia a la disminución del trabajo con el aumento de la fuerza de pisado cuando se utilizan radios de la matriz con valores de 10 y 12 mm, sin embargo para valores de radio de 8 mm no se observa influencia, por otra parte será necesario analizar los cambios de espesores con el fin de lograr una disminución mínima de los mismos. Los experimentos de validación realizados muestran un error relativo inferior al 8.88%, lo cual es suficiente para los requisitos de ingeniería.


*(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"*
*ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X*

## Bibliografía.


ANKENAS, R. y BARAUSKAS, R. Finite element investigation on parameters influencing the springback during sheet metal forming *Mechanika*, 2006, 5: 57-61.

ASTM. *Standard test methods for tension testing of metallic materials*. USA, West Conshohocken, 2013. ASTM.

AYED, L.; ROBERT, C., *et al.* Simplified numerical approach for incremental sheet metal forming process *Engineering Structures*, 2014, 62-63: 75-86.

BERNAL, Y. *Planeación asistida y simulación numérica de los procesos de embutición cilíndrica sin reborde y rectangular con pestaña* Departamento de ingeniería mecánica Las Villas Universidad central "marta abreu" de las villas 2013. p.

GOVIK, A.; NILSSON, L., *et al.* Finite element simulation of the manufacturing process chain of a sheet metal assembly *Journal of Materials Processing Technology*, 2012, 212(7): 1453-1462.

HAGENAH, H.; GEIGER, M., *et al. Numerical Simulation to Improve Robustness in Sheet Metal Forming Process Chains*. The 11th International Conference on Numerical Methods in Industrial Forming Processes, 2013. 683-688 p.

HERNÁNDEZ, C. y VÁSQUEZ, W. *Diseño y simulación del proceso de embutición de chapa metálica para la construcción de extintores utilizando el método de elementos finitos*. FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA. Quito, Escuela Politécnica Nacional, 2010. p.

JIE, Z.; FANG, Z., *et al.* Multi-objective optimization of stamping forming process of head using Pareto-based genetic algorithm *Journal of Central South University*, 2015, 22: 3287−3295.

LINDEBERG, F. *Sheet metal forming simulations with FEM*. Umeå, Umeå University, 2012. p.

LORA, F.; BOFF, U., *et al.* Validation of the computer simulation process applied to the incremental forming process for the evaluation of strain paths *Key Engineering Materials*, 2013, 554-557(2453-2461)

NASSER, A.; YADAV, A., *et al.* Determination of the flow stress of five AHSS sheet materials (DP 600, DP 780, DP 780-CR, DP 780-HY and TRIP 780) using the uniaxial tensile and the biaxial Viscous Pressure Bulge (VPB) tests *Journal of Materials Processing Technology*, 2010: 429–436.

PATEL, H. *Optimization of an aerospace component die design using metal forming simulation capability of hyper-form*. Hyper-works Technology conference(HTC), 2008. 1-8 p.




*(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"*


*ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X*