

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/354701668>

Stiffness of screw press. Experimental determination to its application in forging simulations with improved accuracy (Rigidez de prensa de tornillo. Determinación experimental a s...

Conference Paper · September 2021

CITATIONS

0

READS

53

7 authors, including:



Nazareno Antunez

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

19 PUBLICATIONS 3 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



German Abate

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

65 PUBLICATIONS 121 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Alejandro Simoncelli

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

13 PUBLICATIONS 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)



Daniela Perez

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

52 PUBLICATIONS 40 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Mechanical part wear [View project](#)



Láser marking and texturing [View project](#)



40th SENAFOR

24th International Forging Conference

23rd National Sheet Metal Forming Conference / 10th International Sheet Metal Forming Conference / 7th BrDDRG Congress

10th International Conference on Materials and Processes for Renewable Energies – Brazil/RS

3rd International Conference on Surface Engineering in Material Forming

Centro de Eventos do Hotel Continental - Porto Alegre/RS

October 13-15, 2021

Rigidez de prensa de tornillo. Determinación experimental a su aplicación en simulaciones de forjado con precisión mejorada

Nazareno Antunez ^(1,2)
Germán R. Abate ^(1,2)
Alejandro E. Simoncelli ^(1,2)
Daniela J. Perez ^(1,2)
Vitaliy Martynenko ^(1,2)
Antonio J. Sánchez Egea ⁽³⁾
Daniel Martínez Krahmer ^(1,2)

ABSTRACT

Existen productos forjados de fabricación compleja caracterizados por la elevada resistencia del material, la existencia de secciones delgadas y/o por límite de capacidad en las prensas disponibles. La literatura disponible se ha centrado en el tipo de pieza, el material y los parámetros de proceso, pero poco sobre las máquinas principales. Dadas las elevadas cargas que suceden durante los procesos de forja, las estructuras de estas máquinas, si bien ampliamente dimensionadas, sufren deformaciones, pudiendo ser sobrecargadas y como consecuencia provocar fisuras que las debiliten. Sin embargo, son muy pocas las máquinas instrumentadas para determinar fácilmente esos límites mecánicos de la prensa. Este trabajo propone una metodología sencilla para establecer la capacidad y la rigidez de una prensa de tornillo, mediante ensayos experimentales de recalado realizados a temperatura ambiente. A partir de los valores de rigidez obtenidos y contrastados con la literatura especializada, se pretende modificar el valor utilizado en el modelo de simulación computacional, que habitualmente considera a las máquinas como indeformables. De este modo, se puede visualizar la influencia de la deformación de la prensa en el proceso de conformado de la pieza, principalmente en la medida final. En consecuencia, las empresas forjadoras podrán obtener resultados de simulación más ajustados, en piezas que demanden cargas cercanas al límite de capacidad de sus equipos.

Keywords — Prensa de tornillo, rigidez, ensayo de compresión, simulación computacional.

⁽¹⁾ Departamento de Procesos de Mecanizado y Conformado, INTI, Argentina

⁽²⁾ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina

⁽³⁾ Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica de Cataluña, España

1. INTRODUCTION

Contemplando la complejidad del proceso de forja [1], podemos enumerar cuatro factores cruciales para lograr un procedimiento eficiente: la geometría a forjar [2]-[7], las matrices [8]-[12], los parámetros de proceso [13]-[17] y el equipo principal de forja [18]-[20]. Mucha literatura se ha publicado sobre los tres primeros factores. Por ejemplo, la investigación sobre la geometría a forjar se centró en describir cómo las preformas y las propiedades mecánicas pueden afectar el desempeño del proceso de conformado. Por lo tanto, un diseño / configuración adecuados de la muestra puede mejorar la eficiencia de este proceso de trabajo del metal y disminuir los gastos de fabricación. Sobre la matricería, la literatura convergió en describir y analizar cómo diferentes tratamientos superficiales pueden mejorar la vida útil de las matrices. Además, el desgaste de la herramienta y las fuerzas laterales son variables importantes a analizar con el propósito de mejorar la eficiencia del conformado de las piezas forjadas. En tanto que, la literatura referente a los parámetros operacionales analiza el tipo de carga de compresión, la temperatura de precalentamiento, la lubricación, el espesor del material, el efecto de recuperación elástica, y la temperatura de forja entre otros.

Sin embargo, se ha prestado menos atención a la reorganización de los equipos / máquinas existentes mediante la mejora de las capacidades del proceso para seguir utilizándolos. En particular, Simoes et al. [18] utilizó un enfoque numérico para estimar la carga de forja para deformar cualquier material. Para hacer eso, conectaron una celda de carga en la máquina de la prensa para registrar las fuerzas de conformado en la prensa. Además, la simulación numérica la predicción de las fuerzas de forja y la energía asociada durante las diferentes etapas del forjado juegan un papel importante. De esta manera, los valores de energía y carga excéntrica se pueden estimar para seleccionar correctamente la prensa para forjar una muestra compleja [20]. En resumen, debido al requisito de conformar piezas de gran complejidad, es necesario tener en cuenta las condiciones estructurales de la prensa convencional para conocer sus capacidades

Siguiendo este tema de investigación, el presente estudio inicia con un método rápido para estimar la energía bruta disponible y la carga máxima de forja, basada en una calibración previa con ensayos de compresión, para forjar en frío diferentes cantidades de muestras con configuraciones de patrón de simetría. Para luego estimar de forma teórica los valores de rigidez de la máquina en función de la energía entregada medida y la deformación final de las piezas. Finalmente, se realizaron simulaciones computacionales de los ensayos previamente desarrollados en forma práctica, donde se compararon los resultados obtenidos utilizando prensas indeformables (forma típica de simulación) y prensas con los valores de rigidez calculados al inicio del trabajo a fin de verificar la congruencia con los resultados empíricos, el nivel de influencia de la deformación de la prensa en el proceso de simulación y los riesgos existentes en este tipo de prácticas.

2. METODOLOGÍA

Para el siguiente estudio se utilizaron probetas de acero comercial SAE 1030 y se extrajeron sus propiedades de resistencia a partir de un ensayo universal de compresión. Se colocaron dentro de una prensa de fricción para así obtener de forma teórica y a partir de los

datos obtenidos en el ensayo, las curvas de comportamiento y el valor de rigidez, el cual se utilizó para ajustar un modelo de simulación por elementos finitos del ensayo realizado a los fines de verificar su influencia sobre los resultados.

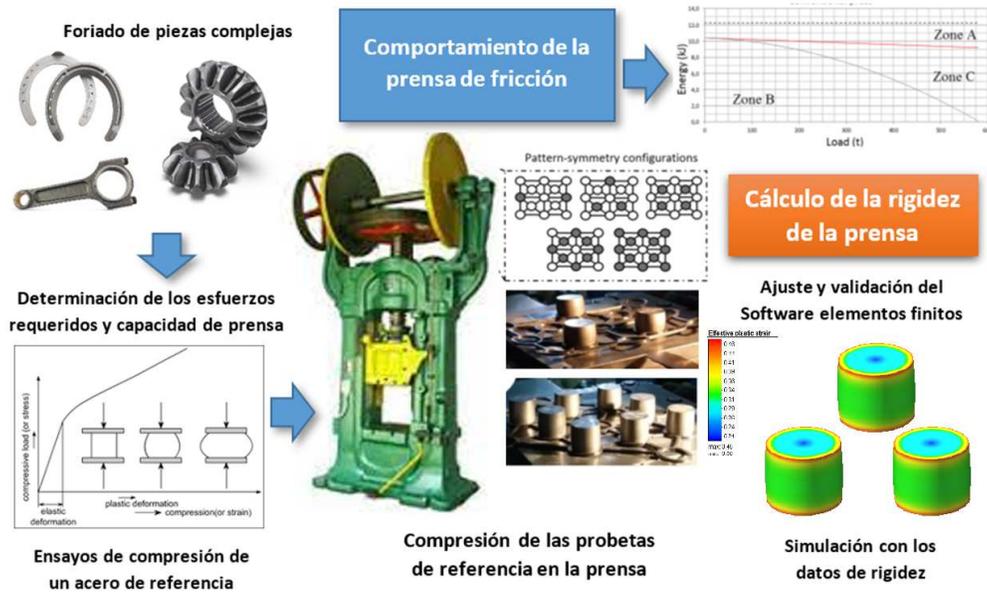


Figura 1: Esquema general de la metodología del trabajo.

2.1. Ensayos de compresión del acero de referencia

La determinación del esfuerzo requerido para la deformación en frío del material de referencia se realizó a partir de acero comercial SAE 1030. Las probetas fueron fabricadas a partir de barras trefiladas de 25,4 mm de diámetro y tronzadas a 30 mm de altura. Una vez fabricadas las probetas, los ensayos de compresión se realizaron en un equipo de ensayo universal de marca Shimadzu, modelo: UH-100 t, Kyoto, Japan, con una velocidad de desplazamiento del mazo de 0,1 mm/s. Se realizaron un total de diez compresiones a diferentes alturas.

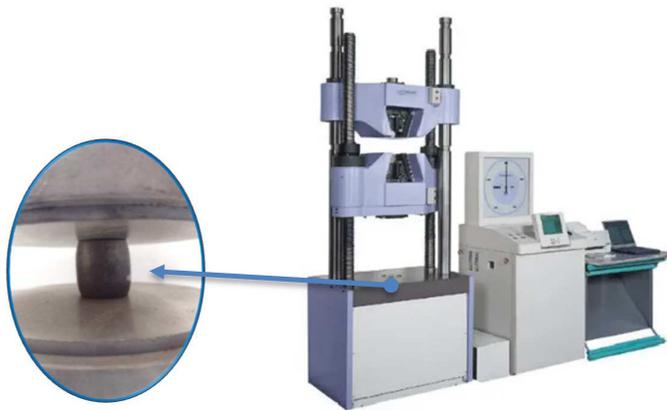


Figura 2: Probeta ensayada y equipo de ensayo Universal Shimadzu.

La fabricación de las probetas y los ensayos de compresión se realizaron en las instalaciones del Instituto Nacional de Tecnología Industrial, en los laboratorios de Procesos de Mecanizado y Conformado, Ensayos Mecánicos.

2.2 Compresión de probetas en prensa de producción.

Una vez caracterizado el material se procedió a la compresión de las probetas en una prensa de tornillo por fricción industrial marca Arrigoni de 350 t de capacidad nominal. El cálculo de la energía de impacto durante el aplastamiento se realizó a través de la medición de la velocidad de desplazamiento lineal del mazo con una cámara de alta velocidad, GoPro camera (modelo Hero4Black, San Mateo, CA, USA) con una configuración de 240 frames por segundo. A partir de allí y teniendo como dato el paso del tornillo de la prensa se calculó la velocidad de rotación del volante de inercia. Los ensayos de compresión se realizaron comprimiendo 2, 3, 4, 8 y 12 probetas con un patrón simétrico, con el objetivo de evitar componentes de esfuerzo laterales.

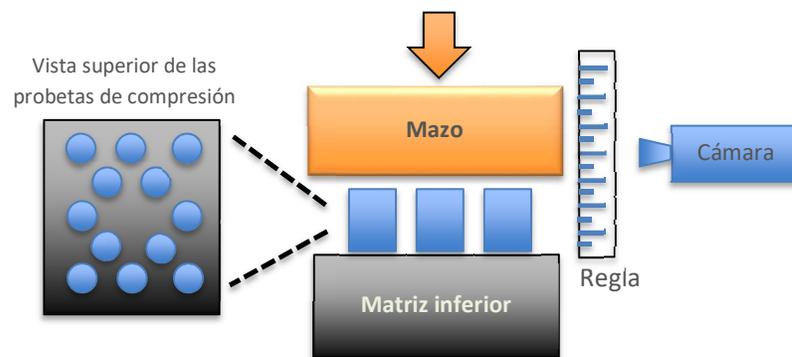


Figura 3: Esquema de distribución para 12 probetas (izquierda) y esquema de medición de velocidad del mazo (derecha).

2.3 Obtención del diagrama de comportamiento y rigidez de la prensa

Con el objetivo de obtener la rigidez de la prensa, fue necesario realizar simulaciones por elementos finitos de los ensayos descritos en el punto 2.1, y así determinar la energía consumida en la deformación del material. Para ello se utilizó el software Simufact Forming, partiendo de un modelo 2D axisimétrico, con una malla cuadrangular con elementos de 0.2 mm de lado, resultando en alrededor de 10.000 elementos. El coeficiente de fricción utilizado fue 0.1 y se obtuvo de bibliografía [21].

Para el trazado del diagrama de energía de la prensa se partió de la siguiente ecuación de balance de energía:

$$E_T = E_f + E_e + E_d \quad (1)$$

Donde E_T es la energía total acumulada, E_f es la energía perdida por fricción, E_e es la energía absorbida por deformación del bastidor y E_d es la energía utilizada en la deformación del material.

La energía de fricción es dependiente de la carga resultante del proceso de deformación, siendo la máxima energía de fricción del orden del 25% para los valores de carga mayores. La ecuación (2) muestra esta relación.

$$E_f = \left(0.15 + 0.1 \cdot \frac{L}{L_{max}}\right) \cdot E_T \quad (2)$$

En este caso, L es la carga resultante del proceso de deformación y L_{max} la carga máxima de la prensa.

Una vez obtenidas la energía total de la prensa, la de fricción y la de deformación (resultante de las simulaciones por elementos finitos) puedo despejar la energía absorbida por del bastidor. Una vez despejada es posible vincularla con la rigidez (C) del mismo a partir de la ecuación (3).

$$E_e = \frac{L^2}{2 \cdot C} \quad (3)$$

2.4 Simulación por elementos finitos incorporando el valor de rigidez

En las prensas de fricción, dado que se cuenta con una energía limitada, la rigidez de la prensa influye sobre el proceso de deformación, dado que consume energía que de otra forma sería utilizada para el conformado de la pieza. Es por esto que incorporar al modelo de simulación por elementos finitos la rigidez del equipo debería mejorar la precisión de los resultados, sobre todo para procesos en los cuales los equipos trabajan en valores de carga resultantes cercanos al máximo (ya que esta condición es la que genera la máxima deflexión).

Previamente a la realización de la simulación se efectuó un proceso de validación de malla, donde se utilizó un modelo 3D, con una malla del tipo ring-mesh con elementos hexaédricos de 1 mm, para un total de 18000 elementos por probeta. Los datos de la prensa para la simulación se ajustaron según lo relevado en la etapa experimental.

Se realizaron diez simulaciones emulando las pruebas experimentales de las cuales, 5 se corresponden con la compresión de 2, 3, 4, 8 y 12 probetas en un modelo con una prensa indeformable y las 5 restantes con el valor de rigidez obtenido en las pruebas experimentales. Para la incorporación del valor de rigidez se utilizó un resorte de tracción asociado a la matriz inferior, permitiéndole desplazarse de forma vertical, emulando la elongación del bastidor, tal como se muestra en la Figura 4:

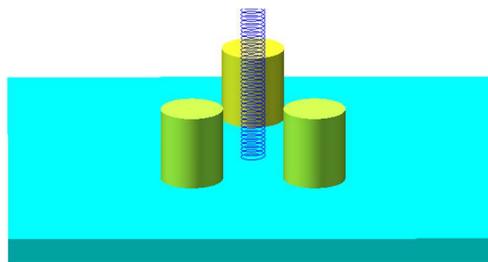


Figura 4: Modelo que contempla la rigidez de la prensa.

3. RESULTADOS

3.1 Ensayos de compresión del acero de referencia

Los resultados experimentales de resistencia a la deformación del acero SAE 1030 en función de la altura final de la probeta se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1: Cargas resultantes de los ensayos de compresión a diferentes alturas de probetas de acero SAE 1030.

Ensayo	Altura inicial	Altura final	Carga
1	30 mm	30,0 mm	210,1 kN
2	30 mm	29,6 mm	250,4 kN
3	30 mm	28,5 mm	317,9 kN
4	30 mm	26,1 mm	368,2 kN
5	30 mm	24,9 mm	392,7 kN
6	30 mm	23,7 mm	419,2 kN
7	30 mm	22,3 mm	455,5 kN
8	30 mm	20,6 mm	509,0 kN
9	30 mm	19,4 mm	542,5 kN
10	30 mm	16,3 mm	680,2 kN

Los datos obtenidos de los resultados empíricos son aplicables a temperatura ambiente y velocidades de deformación del material bajas. Dicha información es insuficiente para poder caracterizar el comportamiento del material bajo las condiciones de compresión en la prensa de fricción. Es por esto que el material utilizado en la simulación es un acero SAE 1035 para conformado en frío perteneciente a la librería del software Simufact Forming, con un flow curve scaling de 0.92, para velocidades de deformación de entre 1.6 y 10 1/s y cuyas curvas de tensión deformación para 20°C y 300°C responden a las siguientes:

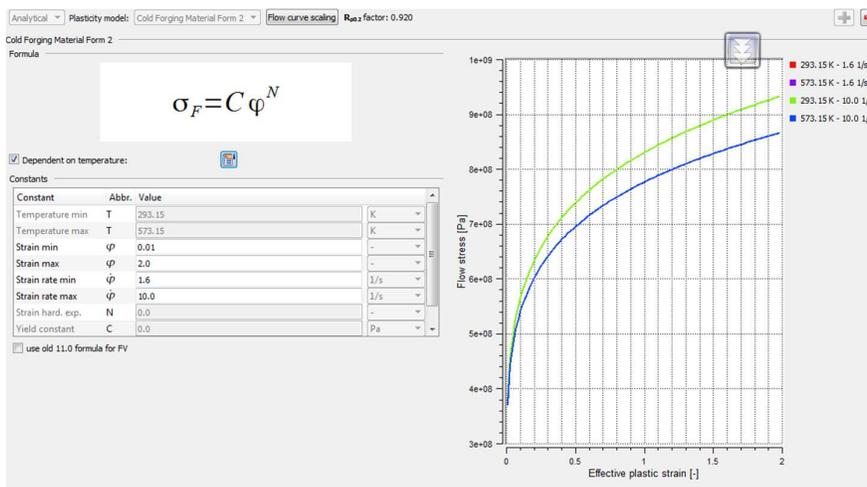


Figura 5: Curva tensión-deformación del material utilizado en la simulación.

La validación del comportamiento del material se realizó a partir de una compresión 2D axisimétrica bajo las mismas condiciones que el ensayo empírico. Los resultados de la simulación respecto a los valores empíricos ante la misma velocidad de avance del carro se muestran a continuación:

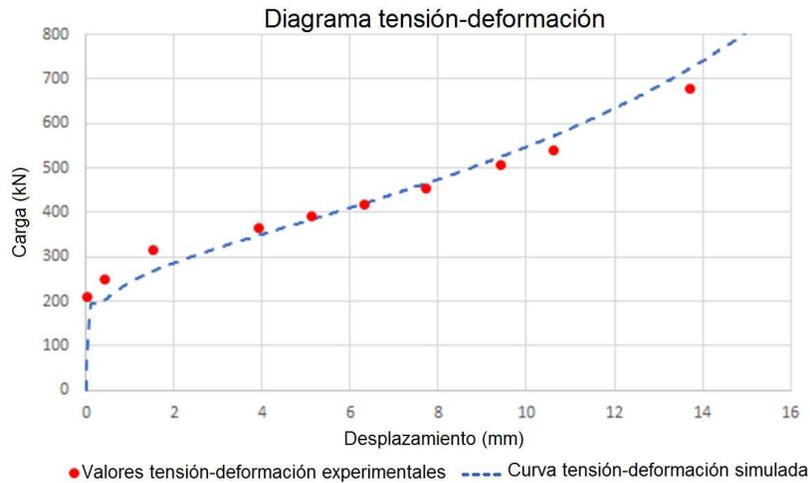


Figura 6: Comparación de valores de tensión-deformación empíricos y simulados.

Como resultado de la comparación de ambos diagramas resulta una diferencia promedio entre los valores empíricos y los simulados para las condiciones de ensayo de un 6.8%.

3.2 Compresión de probetas en la prensa de producción

A partir de las mediciones de velocidad de avance del carro se calculó la energía de impacto de la prensa utilizada para la compresión de las probetas.

Tabla 2: Parámetros utilizados para el cálculo de la energía total disponible en la prensa al momento del golpe.

Parámetros	Prensa
Momento de inercia	205,6 kg m ²
Velocidad lineal del maso	0,270 m/s
Paso del tornillo	155 mm/rev
Velocidad de giro	104,5 rev/min
Velocidad angular de rotación	10,94 rad/s
Energía rotacional del volante de inercia	12,34 kJ
Energía rotacional del tornillo	0,17 kJ
Energía de desplazamiento de la prensa	0,06 kJ
Energía total	12,57 kJ

La separación de las probetas y su ubicación quedó definida por una grilla impresa en 3D con Poliuretano Termoplástico a fin de permitir la expansión del material metálico durante la compresión. En la figura siguiente, se observa el comportamiento de las probetas en la prensa, antes y después de la compresión.

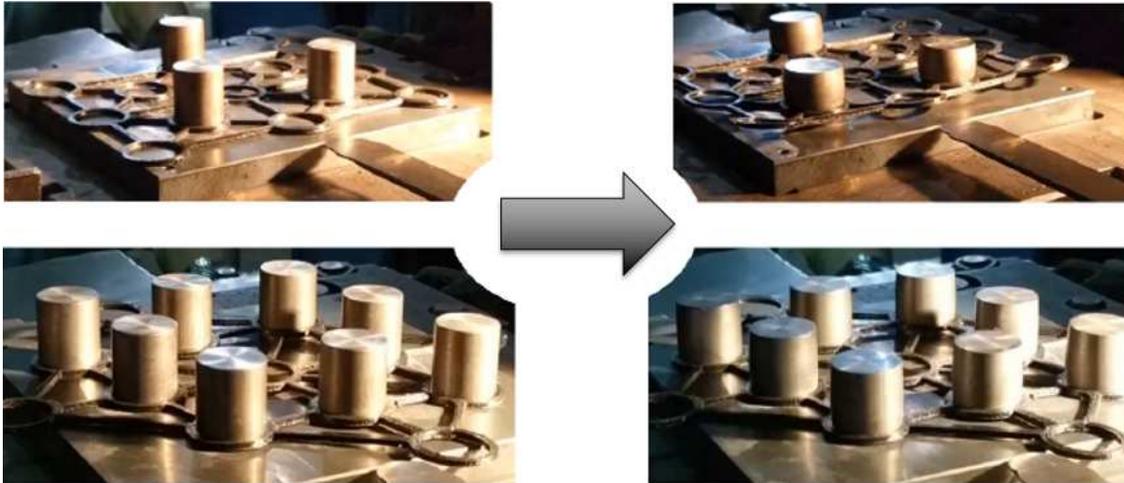


Figura 7: Imagen del estado previo y posterior a la compresión de las probetas en los casos de compresión de 3 probetas (superior) y 8 probetas (inferior).

El esfuerzo resultante para cada una de las compresiones resulta del valor de carga necesario para alcanzar la misma altura final multiplicado por la cantidad de probetas comprimidas. Los resultados de carga se muestran a continuación:

Tabla 3: Resultados de la compresión para las diferentes configuraciones de probetas.

Cantidad de probetas	Variación de altura	Energía de deformación	Carga
2	12,17 mm	9,8 kJ	117,3 t
3	8,81 mm	9,5 kJ	145,1 t
4	6,42 mm	8,4 kJ	169,5 t
8	3,21 mm	7,2 kJ	274,1 t
12	1,89 mm	5,7 kJ	358,4 t

Los valores de energía de deformación resultantes de los ensayos de compresión fueron obtenidos de simulaciones realizadas con el material validado partiendo de 1 probeta hasta 12 de forma simultánea.

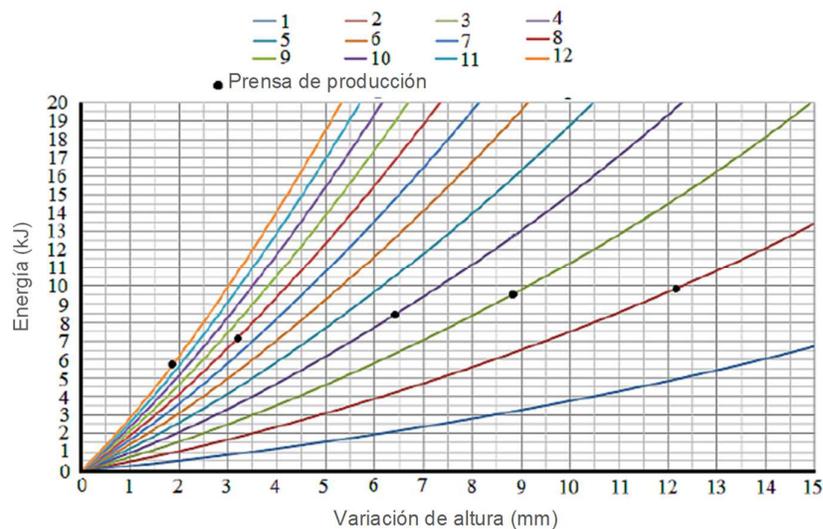


Figura 8: Energía de deformación vs variación de altura de las probetas

Con los valores de carga resultante y energía de deformación obtenidos de los ensayos y la simulación, puede obtenerse según la ecuación (3) los valores de rigidez para el bastidor de la prensa analizada, así como también el diagrama de comportamiento de la prensa.

Tabla 4: Parámetros calculados de la prensa analizada [22]

Parámetros	Prensa
Pendiente	-0,000000282 kN/t ²
Rigidez	181,7 t/mm
Energía total	12,3 kJ

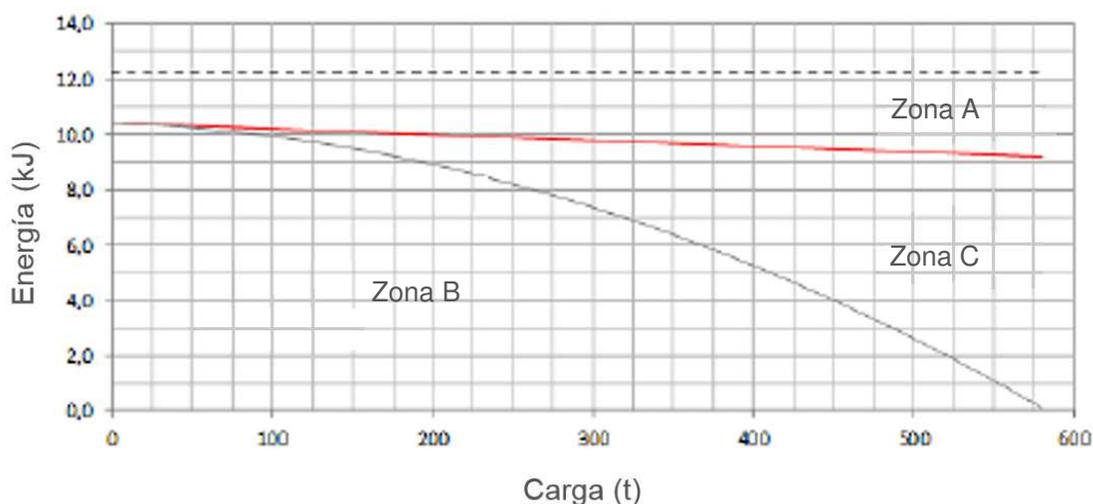


Figura 9: Curvas representativas de la distribución de energías relativo a la carga.

El diagrama de comportamiento presenta una línea intermitente que establece el total de energía disponible de la máquina, y como lo indica la ecuación de balance de energía (1), ese valor se corresponde con la suma de la energía perdida por fricción (Zona A), la energía utilizada para la deformación del material (Zona B) y la energía absorbida por la deformación del bastidor (Zona C). De esta manera, en la Figura 9 se puede visualizar como se modifica el consumo de energía relativo a cada Zona a medida que aumenta la carga de conformado. El relevamiento de este diagrama permite establecer los límites dentro de los cuales es recomendable utilizar la prensa en un marco seguro

3.3. Simulación por elementos finitos incorporando el valor de rigidez

Se realizaron un total de 15 simulaciones, de las cuales 5 fueron para validación de malla (evaluar diferentes tamaños de malla hasta encontrar un valor aceptable entre costo computacional y estabilidad en los resultados), 5 para emular las compresiones de 2, 3, 5, 8 y 12 probetas considerando una prensa de fricción indeformable, y 5 para compresiones con una prensa con la rigidez obtenida en la Tabla 4.

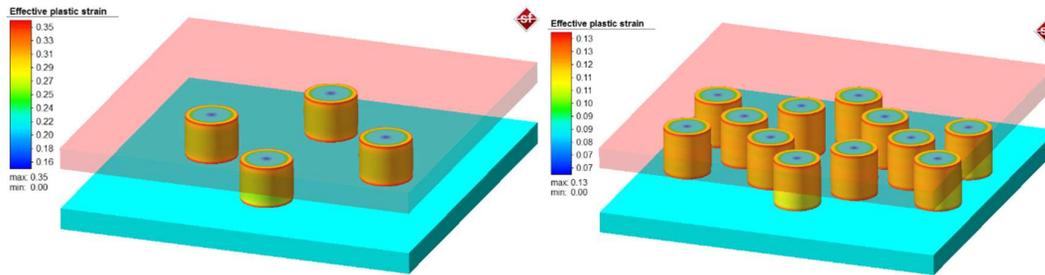


Figura 10: Imagen de las simulaciones computacionales de compresión de probetas para los casos de 4 probetas (izquierda) y 12 probetas (derecha).

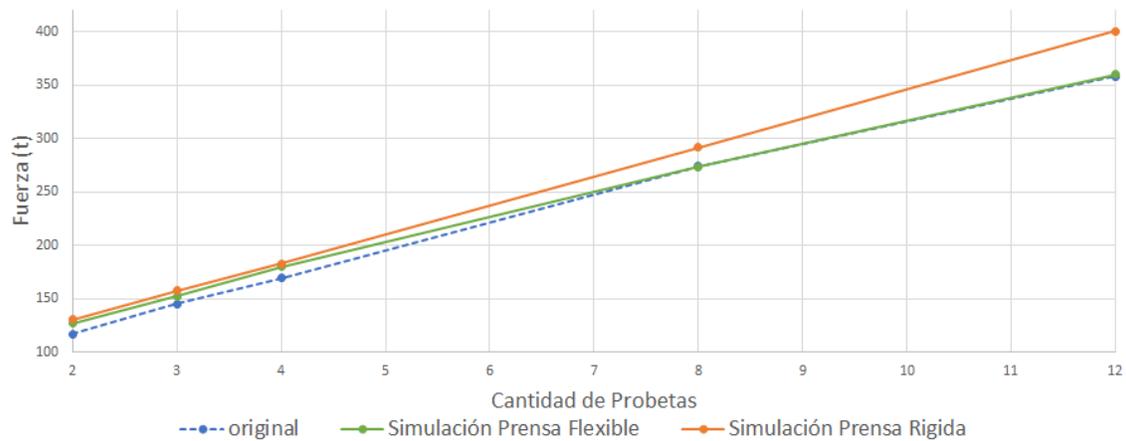


Figura 11: Comparación de valores de fuerza en el ensayo original, simulación con prensa flexible y simulación con prensa rígida.

Los valores de carga obtenidos muestran que para condiciones de carga elevada, los resultados relativos a la prensa indeformable se alejan de los empíricos, en tanto que la simulación que incluye el valor de rigidez del bastidor muestra una muy buena correlación con el comportamiento real.

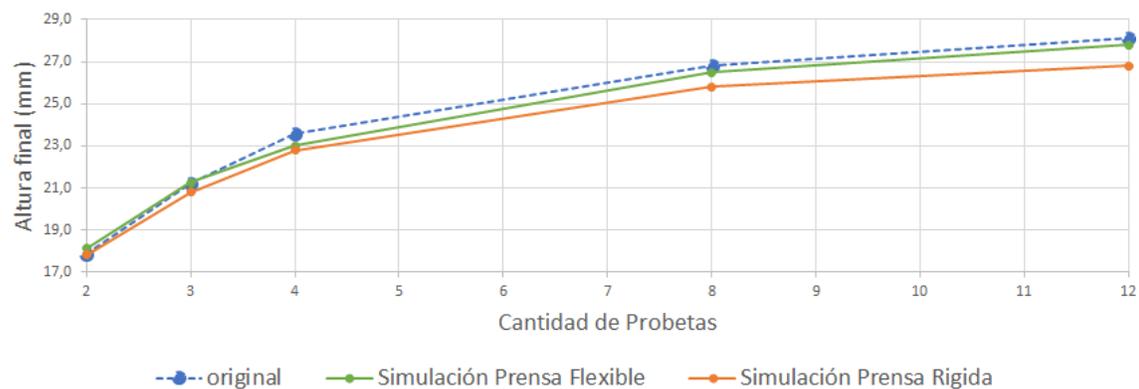


Figura 12: Comparación de valores de altura final en el ensayo original, simulación con prensa flexible y simulación con prensa rígida.

En relación con la altura final de las probetas, cuando la prensa se la considera rígida, la altura final del material resulta cada vez más baja a medida que aumenta la carga. Sin embargo, con la prensa deformable se puede apreciar que los valores de altura final de las

probetas, tienen un comportamiento similar al relevado de forma empírica. Esto es coherente con el concepto de que al derivarse energía en la deformación de la prensa hay menos energía disponible para el conformado de la pieza.

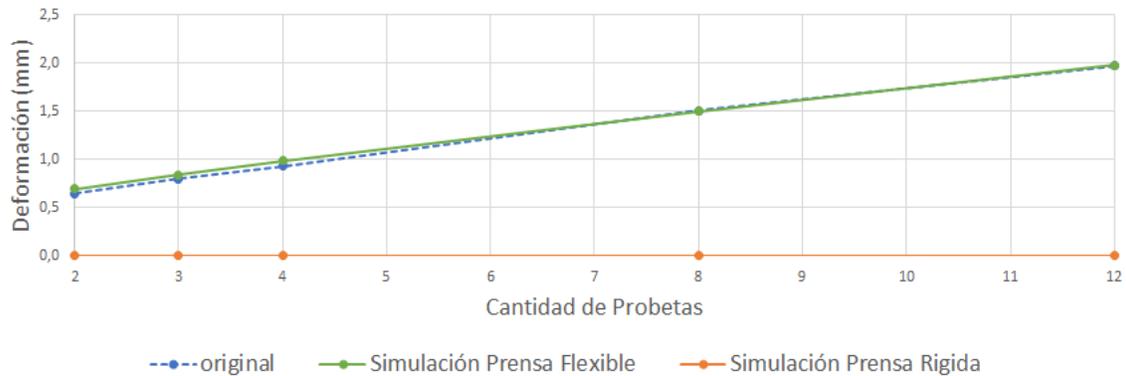


Figura 13: Comparación de valores de deformación de la prensa en el ensayo original, simulación con prensa flexible y simulación con prensa rígida.

El valor de rigidez aplicado en la simulación permite obtener valores de elongación de la prensa análogos a los calculados de forma teórica.

4. CONCLUSIONES

Podemos concluir que el método presentado para estimar la carga de la prensa, presenta sencillez y bajo costo en comparación con otros métodos actuales. Adicionalmente, sus resultados muestran coherencia al compararlos con los valores simulados, brindando de esta manera, una opción válida para su utilización en empresas que no poseen prensas instrumentadas, permitiéndoles conocer las capacidades nominales de sus equipos en lo relativo a carga y energía para optimizar su modo de uso y reducir riesgos relativos a posibles sobrecargas.

La obtención de un valor de rigidez de la prensa y su incorporación en el proceso de simulación permite obtener una mayor adecuación de a las cargas resultantes y de deformación de las piezas obtenidas en la práctica, siendo su relevancia cada vez mayor a medida que las cargas aumenten, es decir, mientras más comprometida se encuentre la rigidez de la máquina. Como consecuencia, se comprende también que la existencia de este parámetro variable relativo a la rigidez estructural de la máquina tiene una influencia directa sobre las dimensiones finales de la pieza y las capacidades de carga que aumentará mientras mayores sean las cargas de conformado y se encuentran más cercanas a límite del equipo.

Considerando que el impacto de la incorporación del valor de rigidez de la prensa en la simulación impacta de forma cada vez mayor a medida que aumenta la carga de conformado, podemos mencionar que tomando los valores experimentales como referencia, para un ensayo de compresión de 12 probetas considerar una prensa como indeformable en la simulación resultó en una diferencia a del -11,8 % en tanto que, incluida la rigidez la diferencia máxima se redujo a -0,39 %.

En lo que hace a la diferencia de altura final, para el ensayo de 12 probetas considerar una prensa indeformable en la simulación resultó en una diferencia del 4,7 % en tanto que, incluida la rigidez la diferencia se redujo a 1,12 %.

Finalmente, se proyecta en un futuro realizar una revalidación de los resultados efectuando mediciones directas sobre la estructura de la máquina de forja utilizada, a fin de analizar las deformaciones de la misma y obtener sus valores de rigidez de forma más directa. Estas mediciones se harán a partir de la utilización de una celda de carga de marca Toledo modelo AC-1000 incorporada recientemente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Mustad por la realización de los ensayos de compresión con patrón de simetría.

REFERENCIAS

- [1] BLACK, J.T.; KOSHER, R.A. *DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing*, 11th ed.; John Wiley and Son: Hoboken, NJ, USA, 2011; ISBN 0470924675.
- [2] RADEV, R.H.; TOMOV, B. Preform design in hot die forging. In *Proceedings of the 11th International Scientific Conference on Achievements in Mechanical and Materials Engineering*, Gliwice-Zakopane. Poland, 2002. 451–454.
- [3] BUIJK, A.; SEHGAL, H. Simulation based optimization of a hot forging process to avoid a lap using Simufact Forming. In *Proceedings of the Congreso 30th SENAFOR*. Porto Alegre, Brasil, 2010. doi:10.13140/2.1.3456.3204.
- [4] MAGALHAES, F. Simulação numérica da evolução de defeitos superficiais durante o processo de recalamento a frio. In *Proceedings of the Anais do Congresso 31th SENAFOR*. Porto Alegre, Brasil, 2011.
- [5] EGEA, A.J.S.; ROJAS, H.A.G.; CELENTANO, D.J.; PERIÓ, J.J.; CAO, J. Thermomechanical analysis of an electrically assisted wire drawing process. 2017, 139, 111017, doi:10.1115/1.4037798.
- [6] RADEV, R. Numerical investigations regarding necessity of preforming steps for hot closed die forging of axisymmetrical parts. *J. Technol. Plast.* 125-130 (2013) 38.
- [7] ABATE, G.; PEREZ, D.; RIU, F.A.; MARTINEZ KRAHMER, D. Application of numerical simulation to reduce the flash of a hot forged automotive piece. In *Proceedings of the PANACM 2015 International Congress*. Buenos Aires, Argentina, 2015.
- [8] ABACHI, S.; AKKOK, M.; GÖKLER, M.I. Wear analysis of hot forging dies. *Tribol. Int.* 467-473 (2010) 43, doi:10.1016/j.triboint.2009.07.011.
- [9] BAYRAMOGLU, M.; POLAT, H.; GEREN, N. Cost and performance evaluation of different surface treated dies for hot forging process. *J. Mater. Process. Technol.* 394-403 (2008) 205, doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.11.256.
- [10] KOCANDA, A.; CZYEWski, P. Experimental and numerical analysis of side forces in a forging die. *J. Mech. Eng.* 274-279 (2008) 54.
- [11] SHAHRIARI, D.; AMIRI, A.; SADEGHI, M.H.; CHERAGHZADEH, M. Optimal Closed Die Finish Forgings for Nimonic80—A alloy Using FEM Method. *Int. J. Mater. Form.* 29-32 (2008) 1, doi:10.1007/s12289-008-0052-x.
- [12] KOKANDA, A.; CZYEWski, P.; MEHDIB, K.H. Numerical analysis of lateral forces in a die for turbine blade forging. *Arch. Civil Mech. Eng.* 49-54 (2009) 9, doi:10.1016/S1644-9665(12)60068-5.
- [13] STRASSER, H.E. Optimizacao do Processo de Forjamento através de Análise Termográfica. In *Proceedings of the 15 th International Forging Conference*, SENAFOR. Porto Alegre, Brazil, 2011. 5-7.
- [14] ISRAR EQUBAL, M.; KUMAR, R.; SHAMIM, M.; OHDAR, R.K. A grey-based Taguchi method to optimize hot forging process. *Procedia Mater. Sci.* 1495-1504 (2014) 6, doi:10.1016/j.mspro.2014.07.129.
- [15] EGEA, A.J.S.; ROJAS, H.A.G.; CELENTANO, D.J.; TRAVIESO-RODRÍGUEZ, J.A.; Fuentes, J.L. Electroplasticity-assisted bottom bending process. *J.Mater. Process. Technol.* 2261-2267 (2014) 214, doi:10.1016/j.jmatprotec.2014.04.031.
- [16] ABATE, G.; DEFERRARI, N.; MARTINEZ KRAHMER, D.O. Influence of Six Process Variables in a Forged Oil Piping Flange-DOE Analysis, using SIMUFACT Forming. In *Proceedings of the Anales del Congreso 37th SENAFOR*. Porto Alegre, Brasil, 2017. 4-6.
- [17] DEL POZO, D.; LÓPEZ DE LACALLE, L.N.; LÓPEZ, J.M.; HERNÁNDEZ, A. Prediction of press/die deformation for an accurate manufacturing of drawing dies. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 649-656 (2008) 37, 649–656, doi:10.1007/00170-007-1012-1.

- [18] SIMOES, D.; MORAES, A.; SCHAEFFER, L. Simulação Numérica na Predição de Carga de Conformação. Revista Forge: São Paulo, Brazil, 2010.
- [19] KRUSIC, V.; ARENTOFT, M.; MASERA, S.; PRISTOVSEK, A.; RODICA, T. A combined approach to determine workpiece-tool-press deflections and tool loads in multistage cold forging. J.Mater. Process. Technol. 35-42 (2011) 211, doi:10.1016/j.jmatprotec.2010.08.020.
- [20] ZENG, Q.; JIANG, P.; REN, X. Forging force analysis of truck knuckle and selection of forging equipment. Procedia Eng.450-455 (2014) 81, doi:10.1016/j.proeng.2014.10.021.
- [21] ALTAN, T.; NGAILE, G.; SHEN, G. Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications; ASM International: Almere. The Netherlands, 2004; ISBN 978-0-87170-805-2.
- [22] EGEA, A.J.S.; DEFERRARI, N; ABATE, G; MARTINEZ KRAHMER, D.O; LOPEZ DE LACALLE, L.N; Short-Cut Method to Assess a Gross Available Energy in a Medium-Load Srew Friction Press. Metals-Open Access Metallurgy Journal. Marzo 2018, doi:10.3390/met8030173.