

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/267094480>

# SIMULACION NUMERICA DE DEFECTOS Y DE LA RELACION FUERZA / ENERGIA EN EL FORJADO EN CALIENTE DE UNA TUERCA PETROLERA

Conference Paper · October 2013

DOI: 10.13140/2.1.4615.4241

CITATION

1

READS

187

6 authors, including:



Alexsandro Moraes

3 PUBLICATIONS 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)



Daniela Perez

Instituto Nacional de Tecnologia Industrial

46 PUBLICATIONS 21 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Daniel Martinez Kraemer

Instituto Nacional de Tecnologia Industrial

141 PUBLICATIONS 155 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



German Abate

Instituto Nacional de Tecnologia Industrial

58 PUBLICATIONS 83 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

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



FORGING: FRICTION CHARACTERIZATION, LASER SURFACE TEXTURING AND GRAPHITE-BASED LUBRICANTS [View project](#)



Non conventional machining processes [View project](#)

# SIMULACION NUMERICA DE DEFECTOS Y DE LA RELACION FUERZA/ENERGIA EN EL FORJADO EN CALIENTE DE UNA TUERCA PETROLERA DE UNIÓN DOBLE



*Abate, Germán<sup>1</sup>; Moraes, Alexsandro<sup>2</sup>; Perez, Daniela<sup>1</sup>, Bonnemezón, Alfredo<sup>3</sup>; Martinez Krahrmer, Daniel<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Desarrollo en Mecánica, Unidad Técnica Máquinas y Herramientas, Instituto Nacional de Tecnología Industrial. E-mail: [mkrahrmer@inti.gov.ar](mailto:mkrahrmer@inti.gov.ar)

<sup>2</sup> Technical Consultant of the Simufact Americas LLC, in Brazil. E-mail: [alexsandro.moraes@simufact-americas.com](mailto:alexsandro.moraes@simufact-americas.com)

<sup>3</sup> Asesor Técnico en Procesos de Forjado en Caliente

## RESUMEN

En Argentina, la utilización de sistemas de simulación numérica aplicados a procesos de forjado, podemos afirmar se encuentra en su etapa inicial.

Para colaborar en este sentido con el sector industrial involucrado, el Grupo de Forja de INTI-Mecánica, inició sus tareas de capacitación en el empleo de la herramienta Simufact.Forming, en Septiembre de 2012.

Con el objeto de mostrar algunas de sus capacidades, se obtuvo por intermedio de la Cámara del Forjado de Argentina (CAFOR), una tuerca de unión doble de 3" de diámetro, de las que habitualmente se usan en la industria petrolera. Esta pieza fue particularmente seleccionada para ser simulada, por cuanto su grado de complejidad geométrica, suele acarrear algunas dificultades durante el proceso de forjado.

La pieza en cuestión fue analizada por simulación numérica, considerando como material un acero SAE 1022, y una prensa de tornillo de 1000t-112kJ, con dos objetivos:

a) caracterizar los defectos en función del tipo de tocho utilizado (barra redonda o palanquilla con sección cuadrada), y del grado de aplastado inicial (upsetting), y b) evaluar tanto la energía como la fuerza necesarias para el conformado, en cada uno de los experimentos computacionales realizados.

Como resultado de las simulaciones con Simufact.Forming, fue por un lado posible establecer los diferentes tipos de defectos resultantes.

Mientras que, usando barras redondas, resultaron faltas de llenado en los extremos de los tres salientes de la tuerca, pliegues perimetrales concéntricos con los diámetros en una de las caras de apoyo, y falta de material sobre la cavidad interior, en el caso de las palanquillas, las faltas de llenado fueron significativamente mayores, y particularmente, sobre la pared vertical interna, se ubicaron próximos a la cara de apoyo de la cavidad central más profunda, y en coincidencia con los tres salientes perimetrales.

En cuanto a la energía consumida, valor determinante para fijar la cantidad de golpes a dar durante un proceso para cerrar la matriz, los tochos de mayor sección y menor altura, requirieron valores más reducidos para ser conformados.

Por el contrario, la fuerza necesaria aumentó conforme se emplearon secciones más grandes, situación que podría conducir a sobrecargar las matrices y la misma máquina.

Para finalizar, tanto los valores de energía como de fuerza resultaron influenciados por la sección del material, y no por su geometría (redonda o cuadrada).

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando se desea desarrollar una pieza, cuyo destino se encuentra directamente relacionado con la seguridad (por citar algunos ejemplos: partes de un motor de avión, componentes de la suspensión de un automóvil, piezas para la industria petrolera), los técnicos e ingenieros que tienen a cargo su diseño y fabricación, considerarán como primera alternativa a utilizar, el proceso de forjado. Las razones de esta elección son múltiples y variadas, como se citan seguidamente. El forjado produce, a igualdad de volumen de una pieza fundida, una resistencia mecánica superior debido al "fibrado" del material. Dicho de otro modo, dada una pieza forjada y otra fundida, para ser usadas en el mismo destino, la forjada se podría fabricar de menor volumen, logrando la misma resistencia. Esta característica genera una ventaja adicional, dado que aplicando el proceso de forja, se produciría un ahorro significativo de material. Además, se obtendrían otras mejoras a saber [1]:

- 1) Una pieza forjada puesta en servicio, posee mayor resistencia mecánica, para soportar las solicitaciones dinámicas o de impacto;
- 2) El proceso de deformación plástica elimina la porosidad, y ayuda a la homogenización;
- 3) El forjado reduce el tamaño de grano desde la condición de fundido, incrementando la tenacidad del material.

Más allá de lo comentado, la utilización de herramientas de simulación numérica, puede colaborar para desarrollar, sin hacer uso del costoso sistema de prueba y error, un proceso eficiente, tanto en lo que hace a la obtención de piezas de calidad (en forma, tolerancia, y libre de defectos), como también en la correcta utilización del equipo principal de forja, evitando así sobrecargas en el herramental y en la misma máquina. También es factible su empleo para establecer defectos resultantes del proceso [2,3], como también su modo de generación, ayudando a inferir la/las formas de solucionarlos.

En tal sentido, en este trabajo, se simuló con Simufact.Forming [4] el proceso de forjado en caliente de una tuerca de unión doble de 3" aportada al Grupo de Forja por la Cámara del Forjado de Argentina CAFOR [5], con dos objetivos: a) caracterizar los defectos en función del tipo de tocho utilizado (barra redonda o palanquilla con sección cuadrada), y del grado de aplastado inicial (upsetting), y b) evaluar tanto la energía como la fuerza necesaria para el conformado en cada uno de los experimentos computacionales realizados.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Material a conformar

La tuerca de unión doble analizada fue fabricada en acero SAE 1022. La composición química nominal de este acero fue la siguiente (% peso): 0,18 a 0,23% C; 0,70 a 1,00% Mn; 0,10 a 0,30% Si; Fe balance.

### 2.2 Pieza a forjar

La tuerca de unión doble de 3" posee las siguientes dimensiones aproximadas: diámetro exterior 157mm; diámetro interior 116mm; y altura 55mm.

El peso de la pieza rebabada (recortado tanto el perímetro exterior, como el tejo central), es de unos 6,1kg.

En la figura siguiente presentamos una imagen renderizada 3D de la pieza involucrada en el presente trabajo:



Figura 1: Imagen renderizada de tuerca de unión doble

### 2.3 Maquinaria

En los procesos de simulación realizados, se consideró como equipo principal de forja una prensa de tornillo obtenida de la librería de equipos del Simufact.Forming, y consensuado el mismo con un especialista de estos procesos. Esta prensa es de 1000t de capacidad nominal, y de 112kJ de energía bruta. Asimismo presenta una velocidad máxima del mazo de 420mm/s, y una eficiencia de 0,9.

### 2.4 Proceso de conformado

Se utilizaron dos tipos de barras: sección redonda y sección cuadrada (palanquilla). Las dimensiones de las mismas corresponden a medidas comerciales producidas por ACINDAR en Argentina [6].

Sobre cada una de las barras analizadas, se realizó un aplastado inicial, correspondiente a un porcentaje de la altura inicial, y la forma final se alcanzó efectuando dos golpes dentro de la matriz. En todos los casos evaluados, se empleó un peso de corte de 7,5kg.

El detalle de los experimentos realizados por simulación numérica, se indica seguidamente:

Experimento	Tipo de barra	Medida	Grado de aplastamiento (%)
1	Palanquilla	76,2	15
2	Palanquilla	76,2	25
3	Palanquilla	76,2	50
4	Palanquilla	86,0	15
5	Palanquilla	101,4	15
6	Redonda	88,9	15
7	Redonda	88,9	25
8	Redonda	88,9	50
9	Redonda	101,6	15
10	Redonda	120,0	15

Tabla 1: Nómima de experimentos realizados

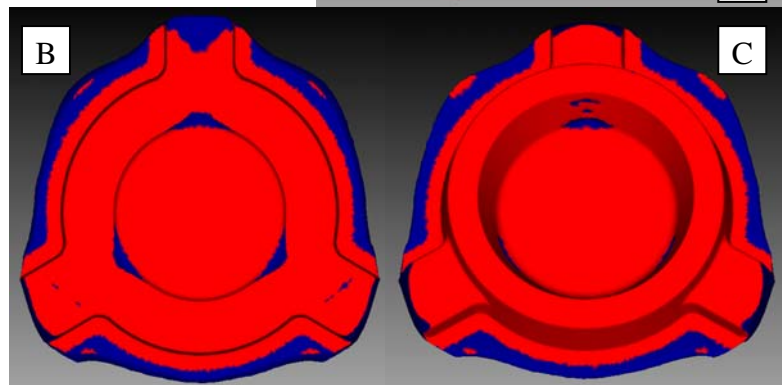
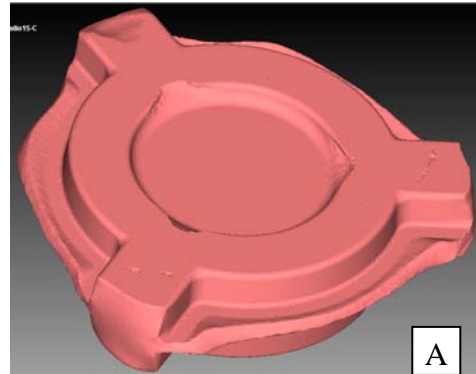
Los otros datos de entrada utilizados durante la simulación numérica fueron:  
 Coeficiente de fricción [7]: 0,3 para el aplastado inicial y 0,4 para el conformado en matriz.  
 Temperatura de forja: 1200°C  
 Temperatura de precalentamiento de matrices: 180°C.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

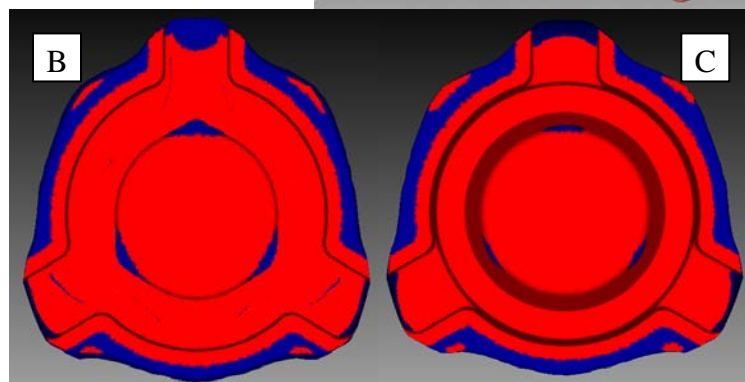
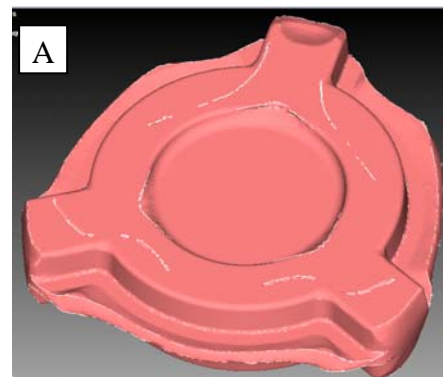
#### 3.1 Caracterización de defectos

En las figuras siguientes se muestran los pliegues resultantes, así como también las faltas de llenado, para cada uno de los experimentos computacionales realizados.

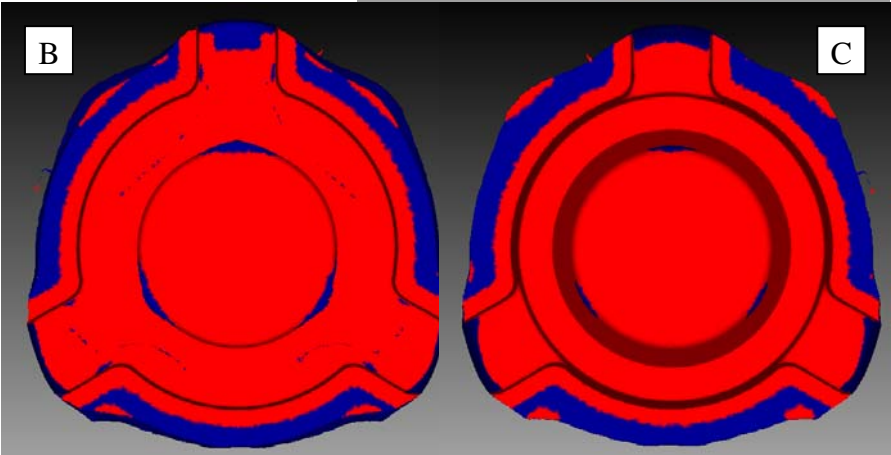
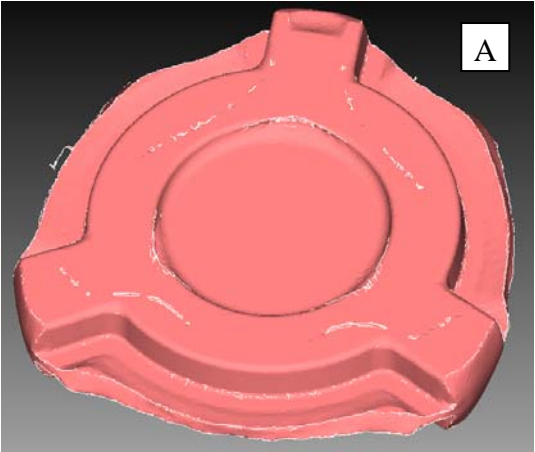
**Experimento 1:**  
**Figura 2:**  
**A-** Pliegues.  
**B-** Faltas de llenado (zonas en azul) Cara superior.  
**C-** Faltas de llenado, cara inferior.



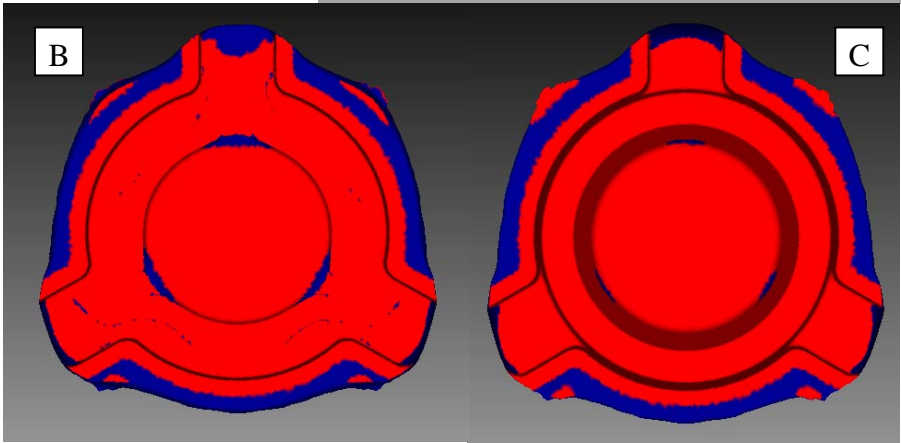
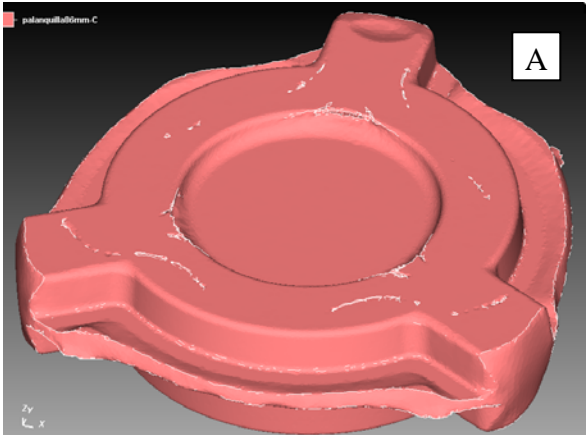
**Experimento 2:**  
**Figura 3:**  
**A-** Pliegues.  
**B-** Faltas de llenado (zonas en azul) Cara superior.  
**C-** Faltas de llenado, cara inferior.



**Experimento 3:**  
**Figura 4:**  
**A-** Pliegues.  
**B-** Faltas de llenado (zonas en azul) Cara superior.  
**C-** Faltas de llenado, cara inferior.



**Experimento 4:**  
**Figura 5:**  
**A-** Pliegues.  
**B-** Faltas de llenado (zonas en azul) Cara superior.  
**C-** Faltas de llenado, cara inferior.





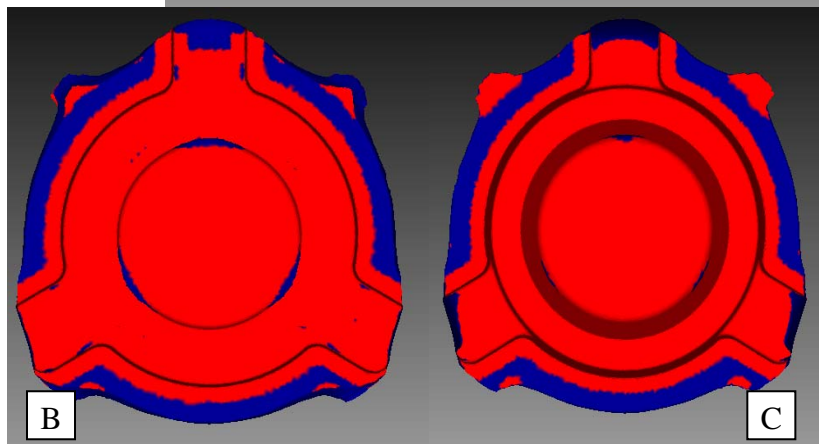
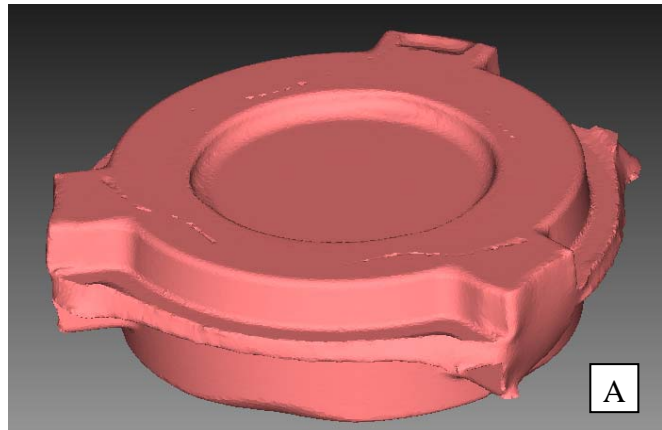
**Experimento 5:**

**Figura 6:**

**A-** Pliegues.

**B-** Faltas de llenado (zonas en azul) Cara superior.

**C-** Faltas de llenado, cara inferior.



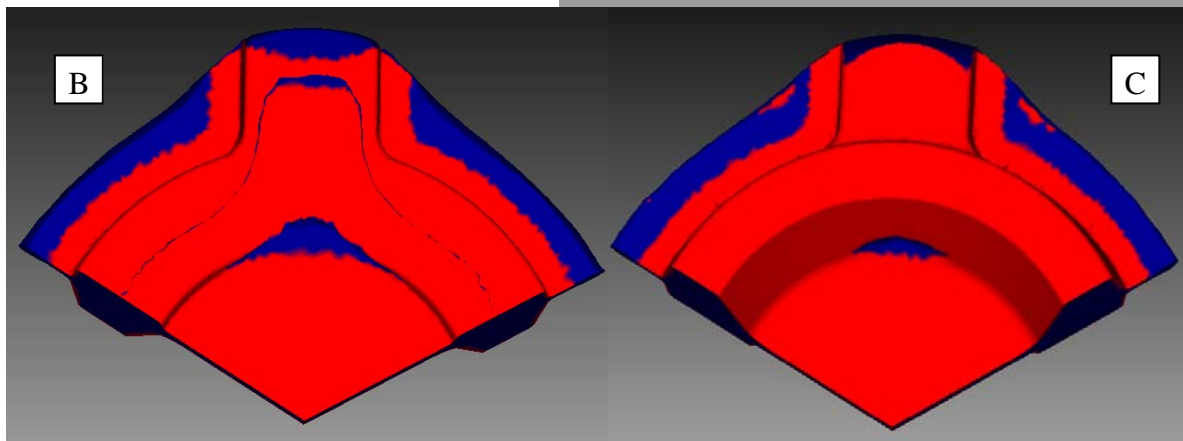
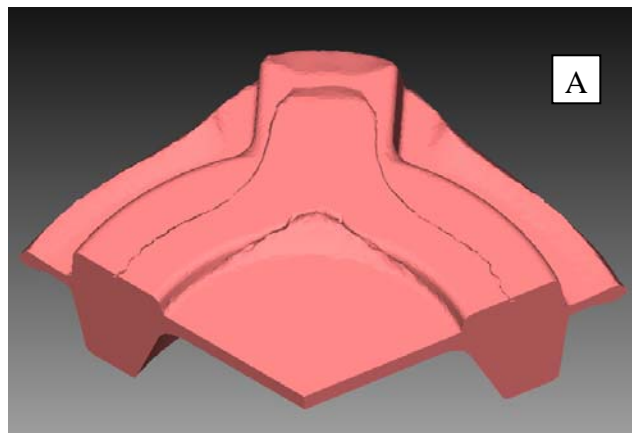
**Experimento 6:**

**Figura 7:**

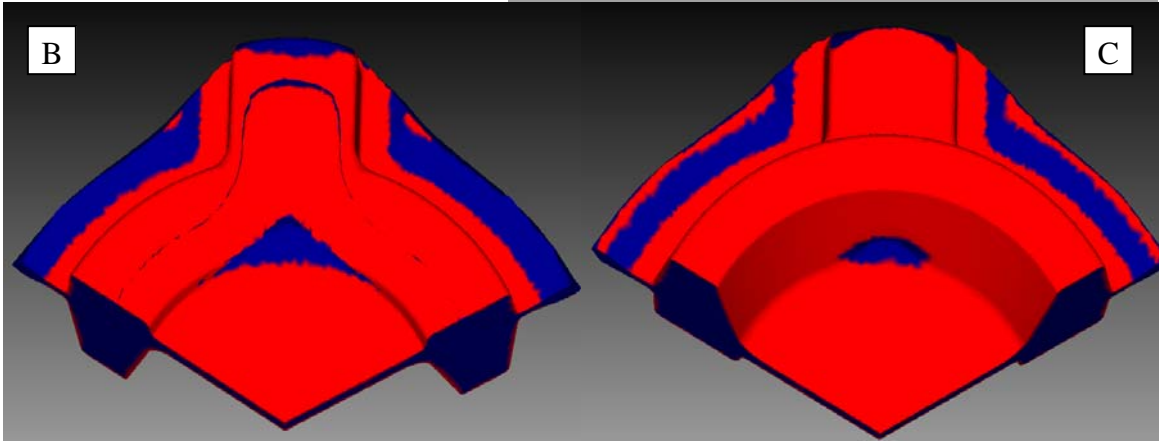
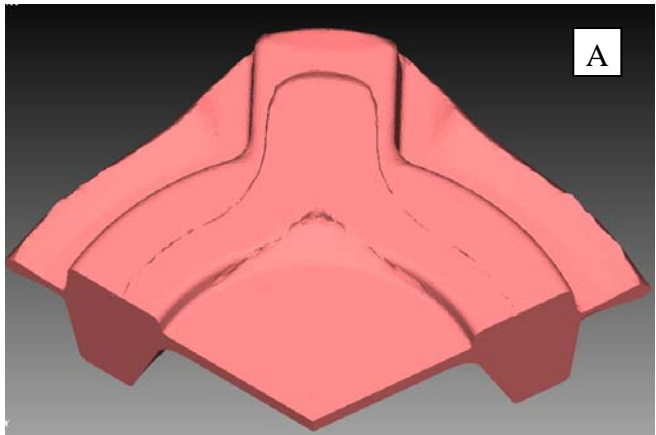
**A-** Pliegues.

**B-** Faltas de llenado (zonas en azul) Cara superior.

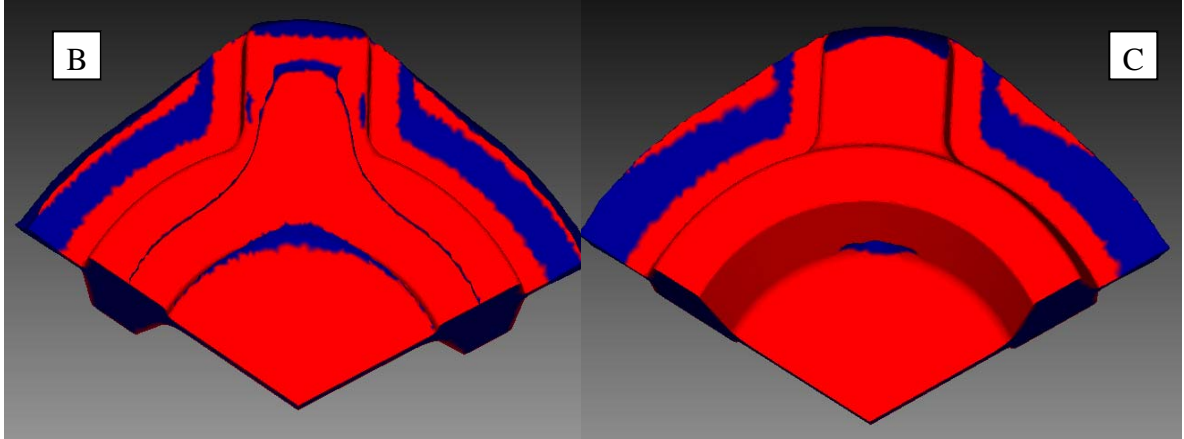
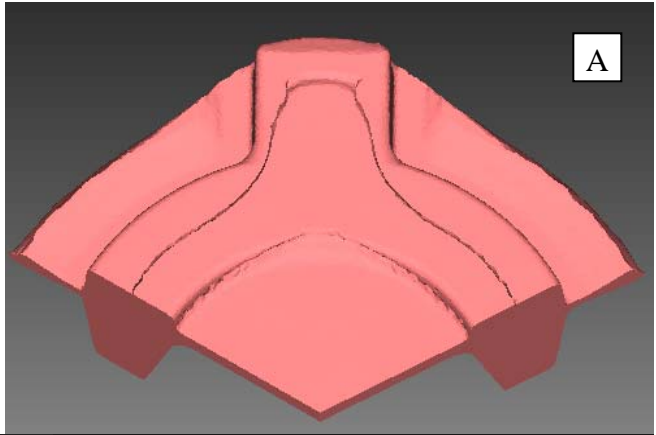
**C-** Faltas de llenado, cara inferior.



**Experimento 7:**  
**Figura 8:**  
**A-** Pliegues.  
**B-** Faltas de llenado (zonas en azul) Cara superior.  
**C-** Faltas de llenado, cara inferior.

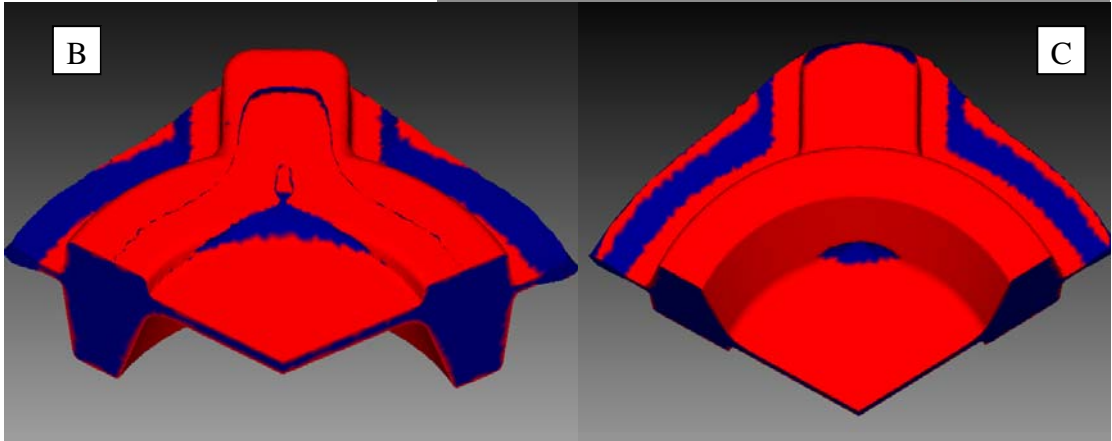
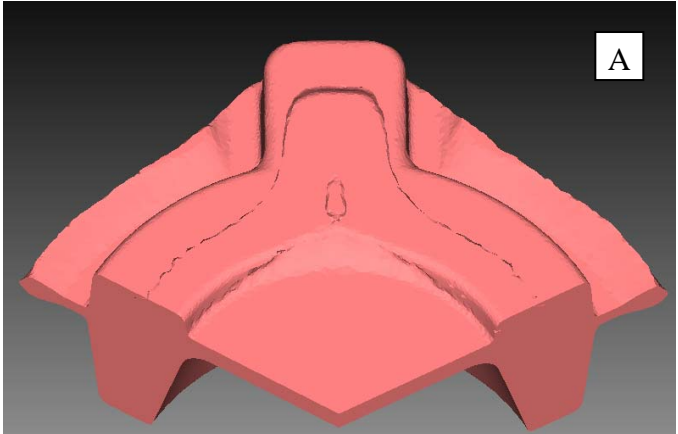


**Experimento 8:**  
**Figura 9:**  
**A-** Pliegues.  
**B-** Faltas de llenado (zonas en azul) Cara superior.  
**C-** Faltas de llenado, cara inferior.

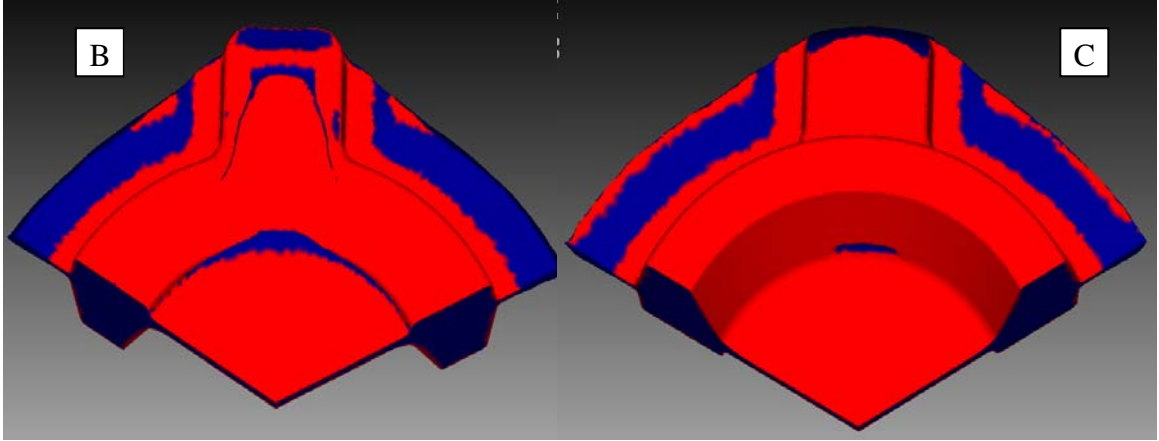
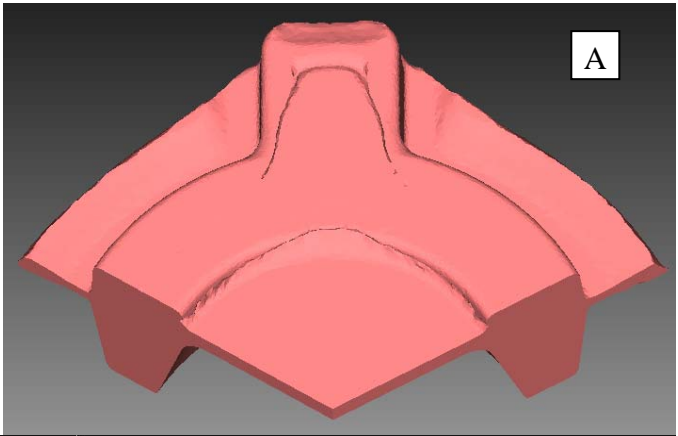




**Experimento 9:**  
**Figura 10:**  
**A-** Pliegues.  
**B-** Faltas de llenado (zonas en azul) Cara superior.  
**C-** Faltas de llenado, cara inferior.



**Experimento 10:**  
**Figura 11:**  
**A-** Pliegues.  
**B-** Faltas de llenado (zonas en azul) Cara superior.  
**C-** Faltas de llenado, cara inferior.



Efectuada una comparación grupal y visual de los defectos obtenidos, se desprende que básicamente son de dos tipos: pliegues y falta de llenado.

Respecto de las faltas de llenado no parecieran existir diferencias significativas, ni en las barras de sección de igual forma y en sus diferentes medidas, como tampoco cuando se comparan los defectos resultantes en barras de sección cuadrada y redonda.

Por el contrario, y en referencia a los pliegues, si bien es cierto que, para barras de sección con igual forma son similares, cuando se los contrasta para barras de sección redonda y cuadrada, mientras que para las primeras se ubican concéntricamente con todo el perímetro de la pieza, en las segundas, no tienen un patrón definido.

Todos los experimentos computacionales mostraron pliegues sólo en la cara superior.

Otra idea que surge de la inspección visual, es que, en las piezas obtenidas a partir de barras redondas, se obtuvo una rebaba perimetral uniforme.

Para dar más detalles en referencia a los pliegues, mostramos a continuación, la evolución del pliegue perimetral, cuando como material de partida se utilizó un tocho redondo.

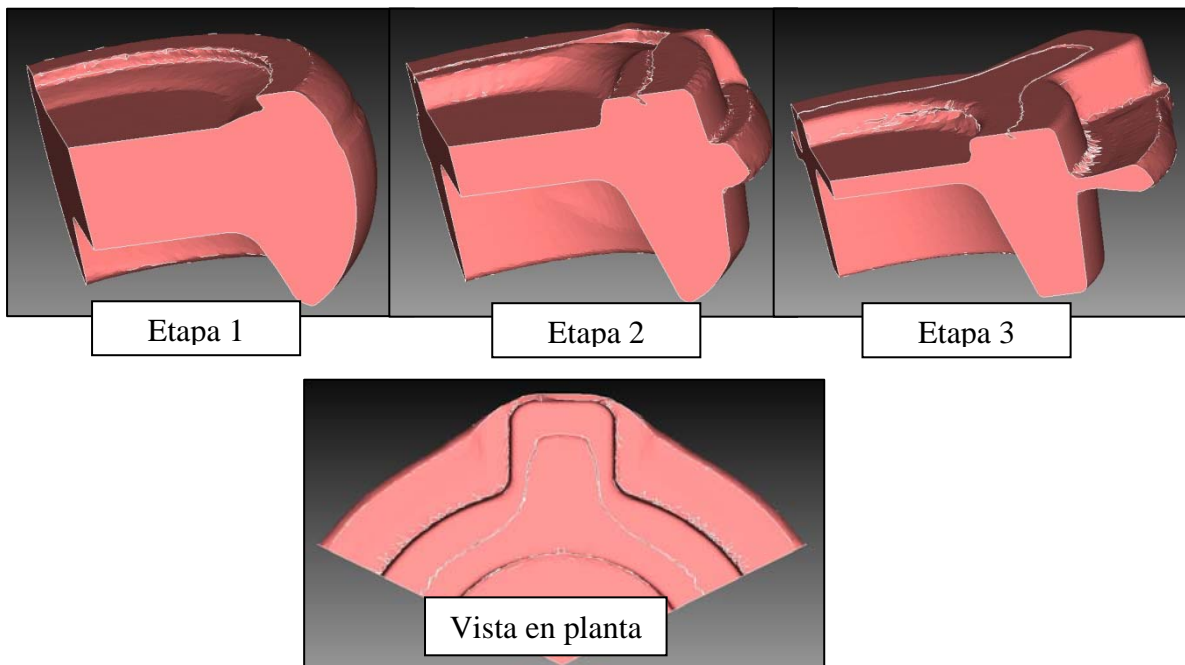


Figura 12: Evolución del pliegue perimetral en tres etapas (material de partida redondo)

En referencia a la falta de llenado, como información adicional se muestra seguidamente el flujo y la velocidad del material durante el conformado.

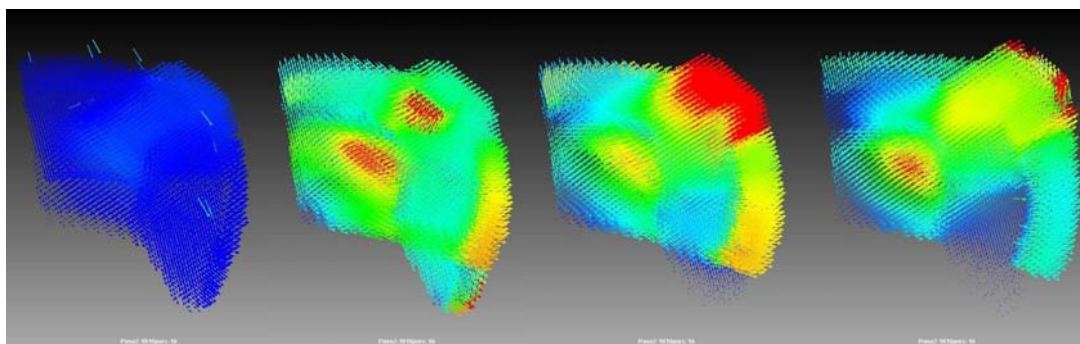
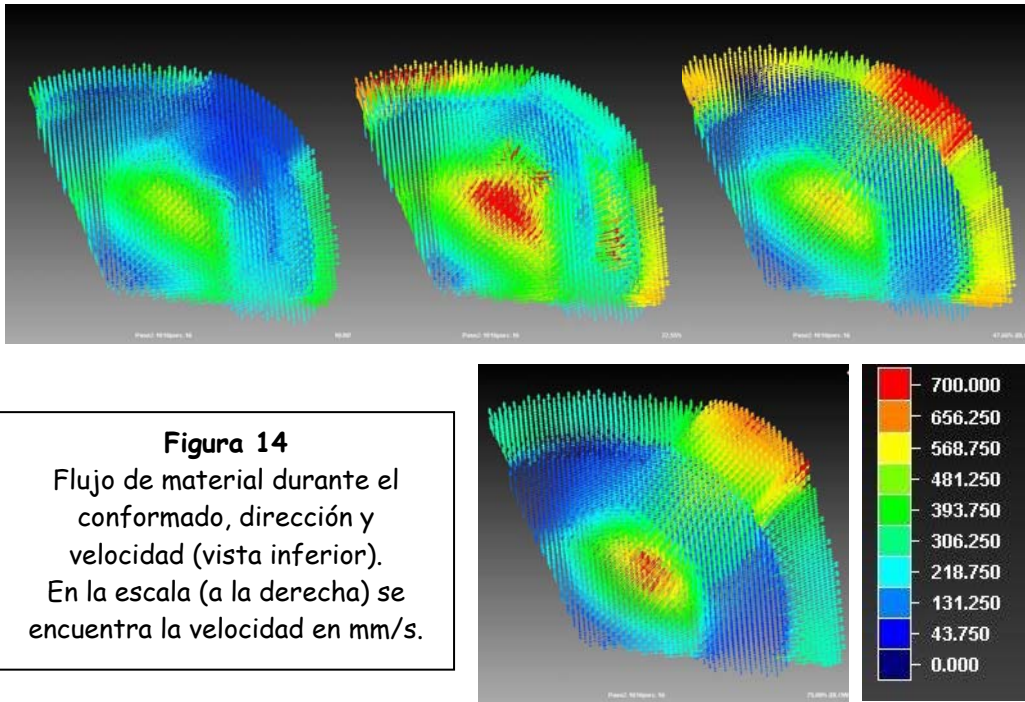


Figura 13: Flujo de material durante el conformado, dirección y velocidad (vista superior)



**Figura 14**  
 Flujo de material durante el conformado, dirección y velocidad (vista inferior).  
 En la escala (a la derecha) se encuentra la velocidad en mm/s.

En las figuras 13 y 14 podemos observar que la diferencia de velocidad entre las salientes de la tuerca y el resto del perímetro, sumado al volumen de material que debe trasladarse, produce en la totalidad de los experimentos computacionales realizados, faltas de llenado en el perímetro interior, tanto en la zona superior como en la inferior.

### 3.2 Energía-fuerza de conformado, y cierre de matriz

Seguidamente se presentan los valores de energía del segundo golpe dado en la matriz y la fuerza de conformado, obtenidos estos valores por simulación numérica, y diferenciados para cada experimento (sólo hemos considerado para el análisis aquellos valores obtenidos para la operación de forjado en matriz, por cuanto este proceso es quien genera los valores más elevados, y por consecuencia, se utilizan para la selección de la máquina).

En la tabla siguiente se presentan los valores de energía y fuerza obtenidos por simulación numérica. Adicionalmente se señala si la matriz alcanzó o no a cerrarse, y en caso de no haberlo hecho, la medida que quedó abierta, para los distintos experimentos realizados:

Experimento	Energía (kJ)	Fuerza (t)	Cierre de matriz
1	112	825	No - 0,7mm
2	108	985	Si
3	83	1518	Si
4	100	1095	Si
5	80	2000	Si
6	112	875	No - 1,4mm
7	112	990	No - 0,4mm
8	91	1890	Si
9	108	1180	Si
10	86	2178	Si

Tabla 2: Valores de energía, fuerza, y cierre de matriz por experimento

Con el objeto de mostrar la variación de los esfuerzos y la energía, conforme aumenta la medida de la sección del material y el grado de aplastamiento inicial, adjuntamos las figuras 15 y 16, en los cuales estas variables están agrupadas por tipo de sección (palanquilla y redondo).

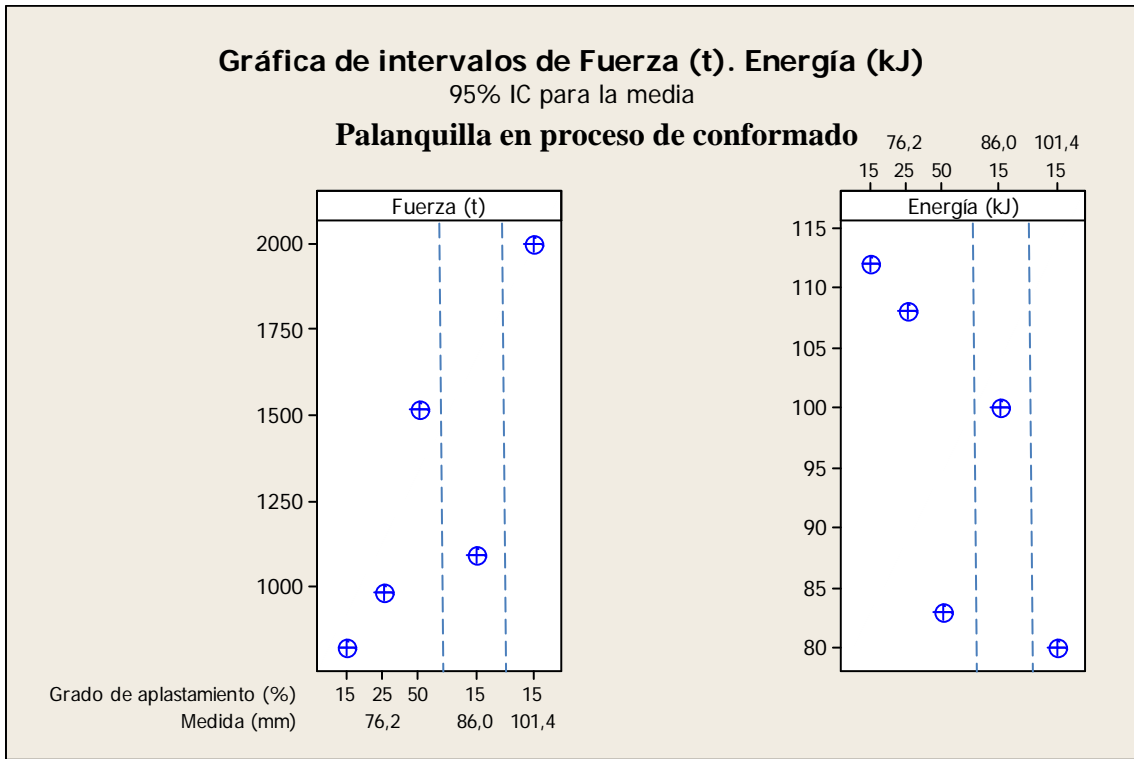


Figura 15: Valores de fuerza y energía, para la operación de forjado en palanquilla

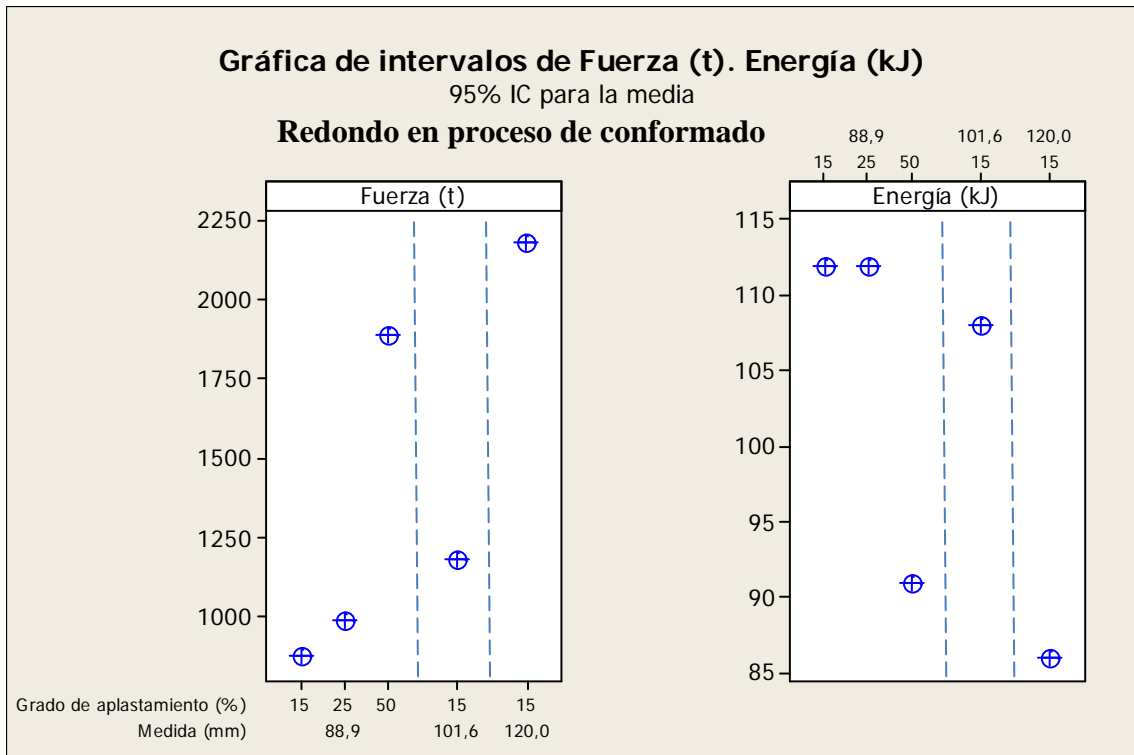


Figura 16: Valores de fuerza y energía, para la operación de forjado en redondo

Del análisis de estos últimos gráficos se desprende que, independientemente de la geometría del material (palanquilla o redondo), la fuerza en el conformado final aumenta, tanto si se incrementa la sección del material, como el grado de aplastamiento inicial.

En relación a la energía, el comportamiento es opuesto al anterior, dado que toda vez que aumenta la sección o el grado de aplastamiento inicial, la energía disminuye.

## CONCLUSIONES

- En relación a los defectos encontrados y dado que, las faltas de llenado podrían afectar la funcionalidad de la pieza, quedará pendiente hallar una solución a este problema, ya sea aumentando el peso de corte teniendo en cuenta las variaciones de energía y fuerza para la elección del diámetro, y/o usando un canal de rebaba con freno, y/o reemplazando el aplastado inicial con un repartidor.
- Por el lado de la relación energía/fuerza resulta evidente que, con el objeto de cuidar la prensa de tornillo y el herramental, será necesario alcanzar un equilibrio de estas variables, considerando la cantidad de golpes que se requieren para lograr el conformado final.
- Por último, es claro que la prensa de tornillo de 1000t está al límite de sus posibilidades para realizar esta pieza. Sería recomendable entonces utilizar una de 1350t, dado que esta prensa tiene disponible una energía bruta de 200kJ [8].

## REFERENCIAS

- [1] A. Bonnemezón y D. Martinez Kraemer, **Práctica industrial de la forja en caliente**, Editorial Nueva Librería, Buenos Aires, Argentina, 2012 (*libro*).
- [2] F. Magalhaes, **Simulacao numerica da evolucao de defectos superficiais durante o processo de recalamento a frio**, Congreso 31° SENAFOR, Porto Alegre, Brasil (*paper*).
- [3] G. Arfmann, **Cold forging process and tool design. How to use the simulation method most effectively**, Congreso 32° SENAFOR, Porto Alegre, Brasil (*paper*).
- [4] [www.simufact.de/en/solutions/sol\\_form.html](http://www.simufact.de/en/solutions/sol_form.html) (*página web*).
- [5] [www.cafor.org.ar](http://www.cafor.org.ar) (*página web*).
- [6] [www.acindar.com.ar](http://www.acindar.com.ar) (*página web*).
- [7] Vitaliy Martynenko y D. Martinez Kraemer, **Determinación de coeficientes de fricción, para la simulación numérica de los procesos de forjado, por el método pin-on disk**, Congreso TriBaires, Buenos Aires, Argentina, 2013 (*paper*).
- [8] [www.ficepgroup.com/forging](http://www.ficepgroup.com/forging) (*página web*).