

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/320211383>

Influence of Six Process Variables in a Forged Oil Piping Flange–DOE Analysis, using SIMUFACT Forming

Conference Paper · October 2017

CITATIONS

2

READS

202

3 authors:



German Abate

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

57 PUBLICATIONS 77 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Nicolas Deferrari

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

11 PUBLICATIONS 17 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Daniel Martinez Kraemer

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

140 PUBLICATIONS 145 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

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



Non conventional machining processes [View project](#)



Foundry technology [View project](#)



37th SENAFOR

21th International Forging Conference

20th National Sheet Metal Forming Conference / 7th International Sheet Metal Forming Conference / 4th BrDDRG Congress

7th International Conference on Materials and Processes for Renewable Energies – Brazil/RS

International Conference on Surface Engineering in Material Forming

Centro de Eventos do Hotel Continental Porto Alegre/RS

October 4-6, 2017

Influence of Six Process Variables in a Forged Oil Piping Flange - DOE Analysis, using SIMUFACT Forming

German R. Abate ^(1,4)

Nicolás Deferrari ⁽²⁾

Daniel O. Martinez Krahmer ^(3,4)

ABSTRACT

There are many variables in a hot forging process which affect the forging load and required energy very differently when forming a specific geometry.

The statistical design of experiments analyzes the influence of each of these variables (at different levels).

Empirically, evaluation and combination of each variable at its range of values, cannot be done due to the influence of tooling costs and time requirements. At the same time, even if costs were no obstacle, special machinery would be needed in order to properly isolate specific variables and to obtain precise load measurements from which to calculate energy evolution during forging.

During the design of a new geometry, FEA combined with statistical design of experiments help product developers identify the variables which most significantly influence critical outputs such as die filling, forging load, forming energy, die wear, etc.

In this paper, we study the influence of six different variables: starting material upsetting height, flash thickness, flash length, starting billet temperature, pre-heating temperature of upper and lower dies and friction coefficient. Each one is evaluated in two levels using FEA, analyzing the forge load and energy required to complete the forging.

The selected geometry is an axisymmetric oil piping flange 6 inches in diameter, while the forging machine is a mechanical (crankshaft) press, 4000 metric tonnes in capacity.

With the exception of the friction coefficient, every other analyzed variable can be directly related to a processing parameter. Friction coefficient cannot be changed directly but different lubricants can be evaluated using different techniques such as the ring-test and the pin-on-disk test, among others.

Key words — Hot forging, FEA analysis, DOE, forging variables, oil flange, optimization.

⁽¹⁾ Mechanical Engineer; INTI, gabate@inti.gob.ar, Buenos Aires, Argentina.

⁽²⁾ Materials Engineer; INTI, deferrari@inti.gob.ar, Buenos Aires, Argentina.

⁽³⁾ Professor, Mechanical Engineer; INTI, mkrahmer@inti.gob.ar, Buenos Aires, Argentina.

⁽⁴⁾ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Buenos Aires, Argentina.

1. INTRODUCCION

En el proceso de diseño de una pieza forjada influyen una gran cantidad de variables, algunas de ellas, que pueden ser definidas por el diseñador, y otras que quedan establecidas por el proceso en un determinado rango. La influencia de estas variables, en el tamaño del material de partida necesario (y en consecuencia en el scrap generado), la fuerza de forjado (necesaria para la selección de la máquina principal de forja) y la energía consumida durante el proceso de deformación (influyente en la vida útil de las matrices [1-2]), son determinantes para el diseño de un proceso eficiente y por lo tanto competitivo.

El mercado de piezas forjadas, está exigiendo a las empresas del sector una mayor diversidad de productos, con lo cual es cada vez más habitual que empresas que históricamente fabricaron piezas para el sector automotriz, empiecen a trabajar sobre diseños para el mercado petrolero, ferroviario, etc. A su vez, para poder participar de un mercado cada vez más competitivo, es necesario evaluar precisamente el diseño de la matricería y su desgaste en servicio, y optimizar el uso del material y de la maquinaria, según sea la fuerza de deformación requerida.

El diseño estadístico de experimentos (DOE) permite evaluar la influencia de variables en diferentes rangos (niveles), en una o más respuestas de interés. De esta manera, utilizando la combinación adecuada de ensayos, puede determinarse cuál de ellas tiene una influencia significativa sobre las respuestas del proceso que impactan en la productividad del forjado [3-4].

En la mayoría de los casos los costos involucrados en un diseño de experimentos realizado en planta a escala industrial serían inviables, debido al valor del herramental y el tiempo de máquina que es necesario ocupar. En este sentido, la simulación de procesos por elementos finitos (FE / FEA), tiene como principal virtud asistir al diseñador, tanto durante el proceso de diseño, como en la optimización del producto forjado.

En conclusión, el objetivo de este trabajo es evaluar mediante DOE la influencia sobre la fuerza de forjado, la energía de forjado y el tiempo de llenado (respuestas) de seis variables de proceso en dos niveles (diseño factorial 2^6): el espesor de flash, ancho de flash, temperatura del material de partida, temperatura de precalentamiento de las matrices y grado de aplastamiento del material de partida.

2. METODOLOGÍA

2.1. Características del proceso seleccionado

El proceso elegido fue el forjado en caliente de una Brida de petróleo de 6 pulgadas de acero SAE 1020, realizado en una prensa mecánica de 4000 toneladas métricas (tabla 1).

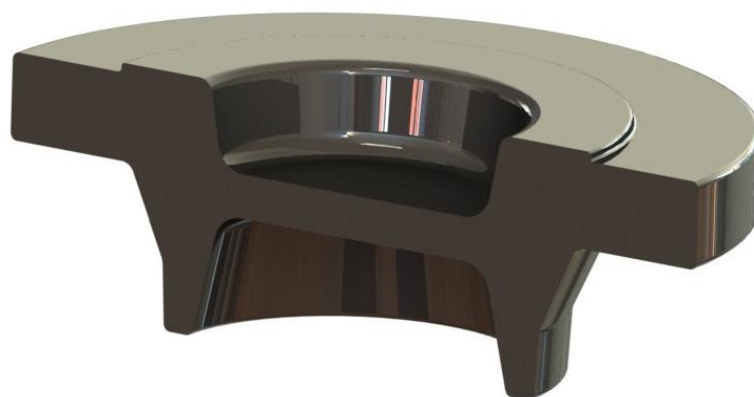


Figura 1: Brida de cañería de petróleo de 6 pulgadas utilizada para la simulación.

El proceso de conformado de la brida se realiza en dos pasos, un aplastado inicial (upsetting), siendo el material de partida una barra cilíndrica de 135mm de diámetro y 287mm de alto, seguido del forjado en matriz cerrada.

Tabla 1: Parámetros de máquina usados en la simulación

Parámetro	Valor
Excentricidad del cigueñal	400 mm
Largo de biela	1500 mm
Velocidad de rotación	1500 rpm

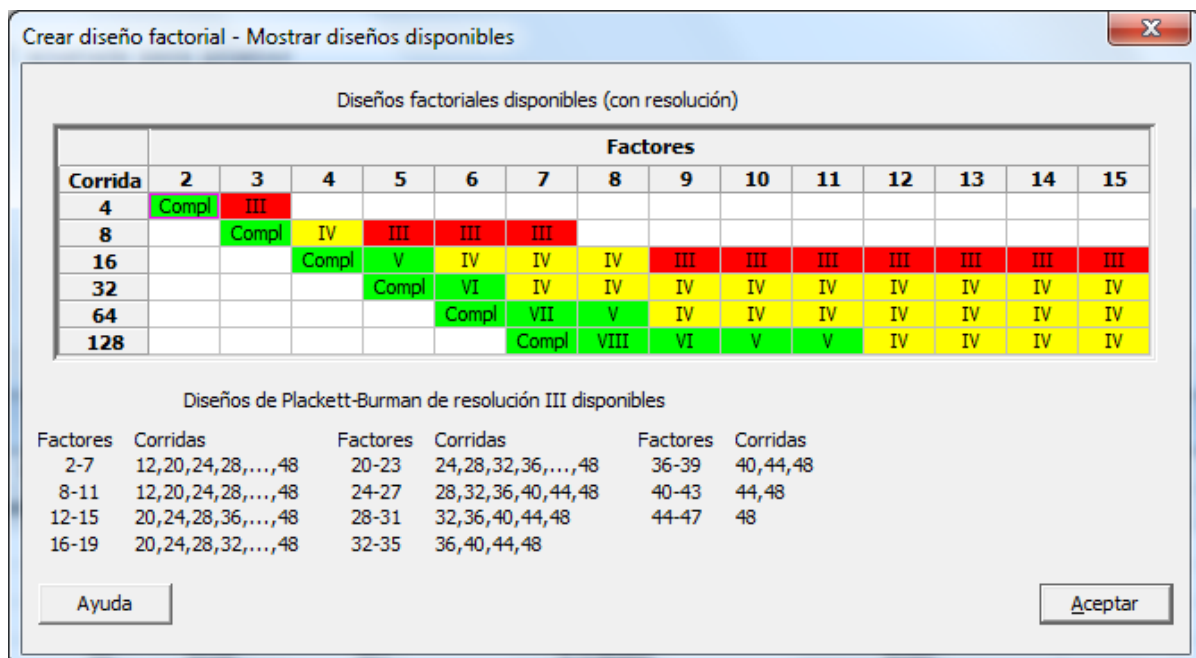
2.2. Definición de las variables a analizar por DOE y diseño del ensayo:

Las variables seleccionadas para el análisis estadístico son variables de proceso, establecidas por el diseñador, y controladas por los operadores de planta (a excepción del coeficiente de fricción, que se puede seleccionar indirectamente a través de la utilización de distintos lubricantes). En la tabla 2 se encuentran definidas las seis variables de análisis en sus dos niveles.

Tabla 2: Variables analizadas y sus niveles.

Variable	Niveles	
Temperatura del material (°C)	1080	1200
Pre calentamiento Matrices (°C)	160	250
Coeficiente de fricción	0.1	0.4
Altura final del recalado (mm)	55	100
Espesor flash (mm)	3	4
Largo de flash (mm)	7	10

Una vez definidas las variables se determina la cantidad de simulaciones a realizar para obtener las respuestas de interés; en este caso la fuerza de forjado, la energía de deformación y el tiempo de llenado de la matriz. La selección del número de ensayos se obtuvo con asistencia del software Minitab en su versión 15. El diseño factorial, para una resolución óptima se muestra en la figura 2.

**Figura 2:** Diseños factoriales y su resolución

De la figura 2 se desprende que 64 corridas representan todas las combinaciones posibles (diseño factorial completo), de las 6 variables (factores) a analizar, en sus dos niveles.

2.3. Simulación del proceso de conformado

Para la simulación numérica se utilizó el software Simufact.Forming. El modelo elegido fue 2D axisimétrico con discretización en elementos finitos. En la figura 3 se muestra el paso de aplastado previo al forjado en matriz cerrada, teniendo en cuenta una altura final de 100mm y 55mm.

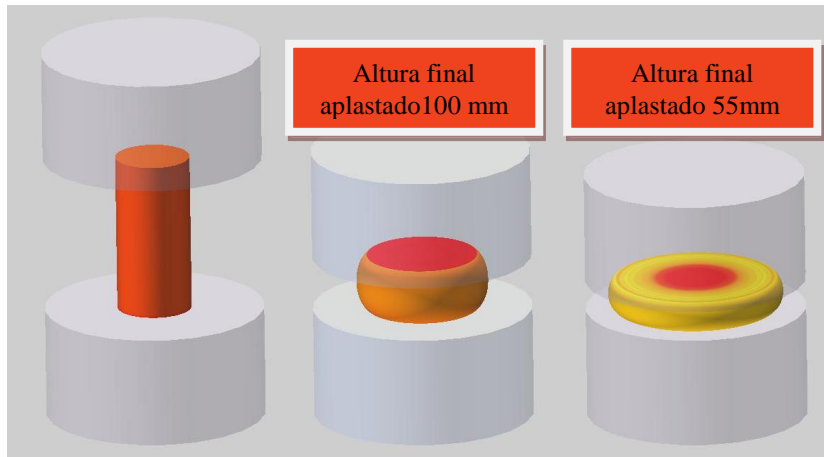


Figura 3: Proceso de aplastado previo (upsetting).

El tamaño del material de partida (135mm de diámetro y 287mm de alto), es el tamaño mínimo requerido para el llenado de la matriz en la condición de menor presión interna. En cuanto a las matrices, fue necesario realizar el diseño en CAD de cuatro geometrías, para cumplir con las combinaciones de los dos niveles, tanto de espesor, como de largo de flash.

Se realizaron un total de 68 simulaciones, 64 corridas correspondientes al diseño factorial de 6 factores con dos niveles cada uno, más cuatro simulaciones adicionales para generar el aplastado previo (55mm y 100mm), en combinación con las dos temperaturas de forja (1080°C y 1200°C). Una vez obtenidos los resultados, se extrajeron los valores de fuerza (t), energía (kJ) y tiempo de llenado (s) para cada una de las combinaciones posibles.

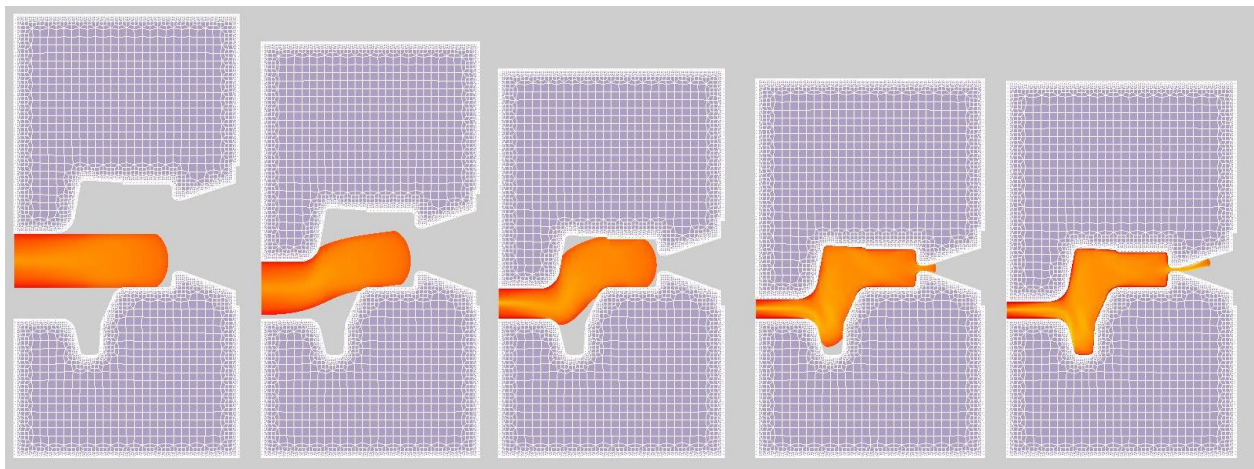


Figura 4: Proceso de conformado, aplastado previo a 55 mm.

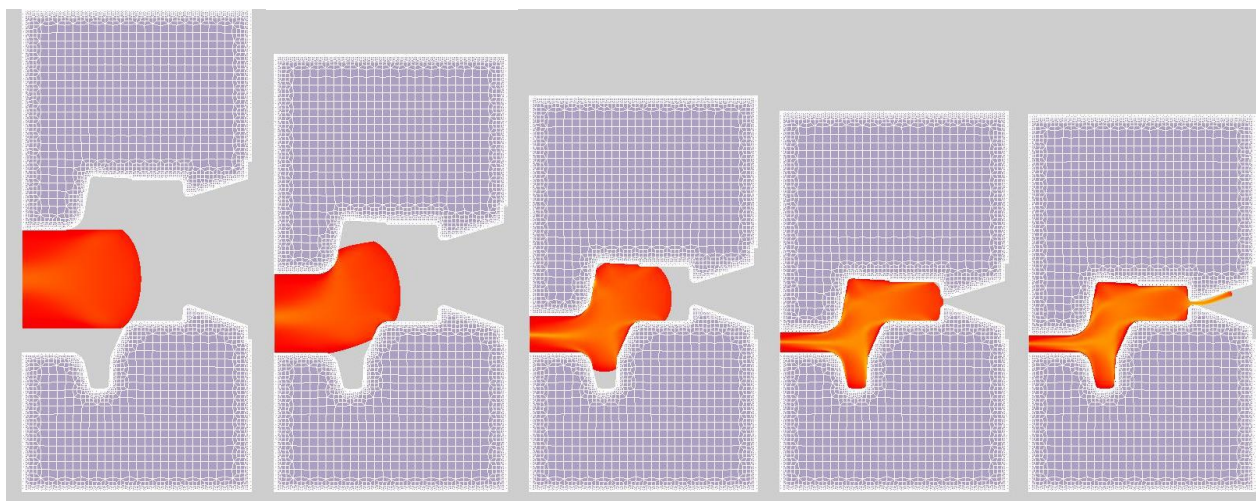


Figura 5: Proceso de conformado, aplastado previo a 100mm.

En las figuras 4 y 5 se muestra el comportamiento del material en función del aplastado previo, teniendo en cuenta que el volumen del material de partida se mantuvo constante para todas las combinaciones de variables en sus dos niveles.

2.4. Realización del análisis factorial para la determinación de las variables de influencia

Se utilizó un ANOVA balanceado para una confianza de 0,95 para obtener las variables que producen diferencias significativas en las respuestas de interés. Cumplirán esta condición aquellas cuyo valor estadístico p sea menor a 0,05. Una vez obtenidos se utilizaron gráficos de cajas para determinar la importancia relativa de cada una de las variables categóricas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento del material dentro de la matriz, se ve influenciado por el aplastamiento previo, así como también por los diferentes espesores y largos de flash. Como consecuencia, la cantidad de rebaba obtenida en cada condición, resulta diferente.

Es por esto que, se decidió analizar el tiempo de llenado con el objetivo de analizar a posteriori la combinación de variables que producen el mínimo tiempo, y reproducir el aplastamiento con el mínimo volumen de material. De esta forma, validaremos los esfuerzos y la energía resultante en esta condición, como así también el ahorro de material para evaluar su relevancia.

3.1. Influencia de las variables analizadas sobre la fuerza de conformado

Tabla 3: Variables análisis de varianza de Fuerza (t)

Fuente	p
Fricción	0,000
Pre calentamiento	0,660
Temperatura forja	0,000
Espesor flash	0,000
Largo flash	0,000
Aplastamiento	0,629

S = 337,853 R-cuad. = 93,80% R-cuad.(ajustado) = 93,14%

De la tabla 3 se desprende que las variables que tienen influencia significativa en la fuerza de conformado son; la fricción, la temperatura de forja, el espesor y el largo de flash. Asimismo que, dado el alto valor de R^2 , se puede concluir que no hay ninguna variable de influencia que no haya sido contemplada en el modelo estadístico.

3.1.1. Análisis de las gráficas de cajas para la determinación de la influencia relativa de las variables categóricas.

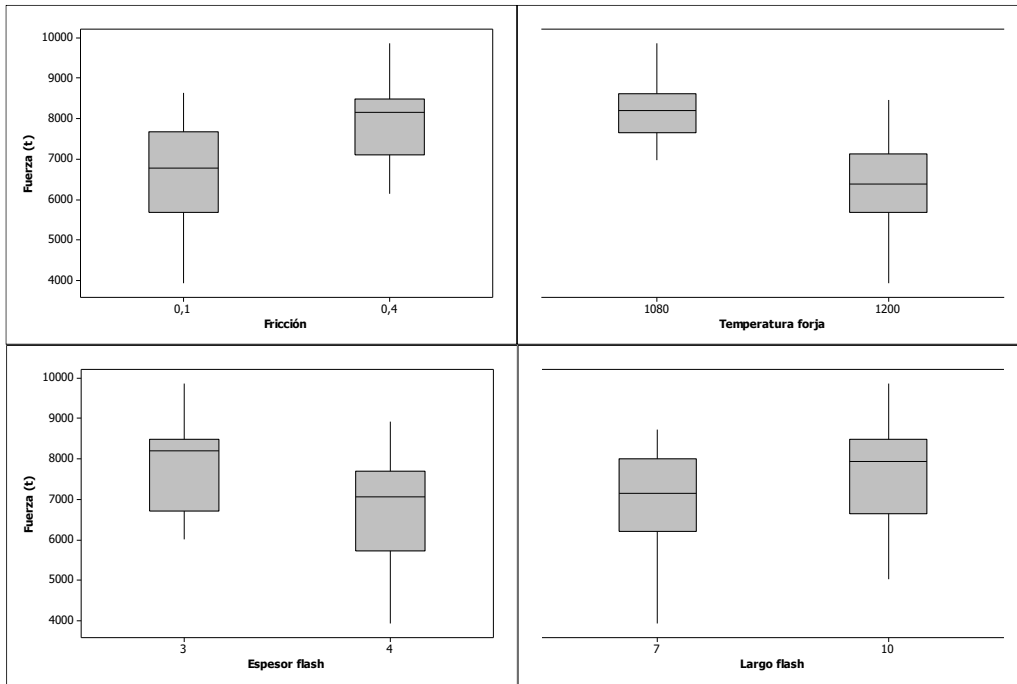


Figura 6: Influencia de las variables categóricas en la carga de conformado

De la figura 6 se desprende que la variable de mayor influencia en la fuerza de conformado es la temperatura de forja, conclusión que resulta del hecho que hay una diferencia sensible entre los valores de carga que componen la caja para cada nivel.

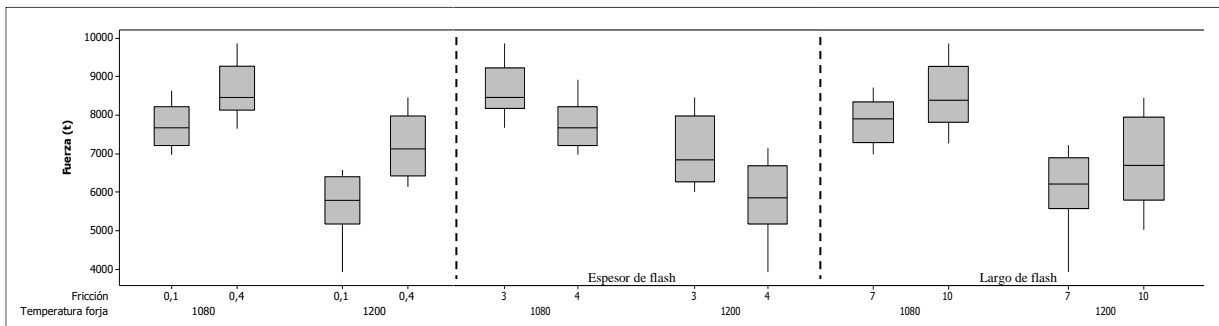


Figura 7: Influencia relativa (Temperatura forja como factor aleatorio)

La segunda variable de mayor influencia relativa es la temperatura de fricción (figura 7) y la tercera el espesor de flash (figura 8).

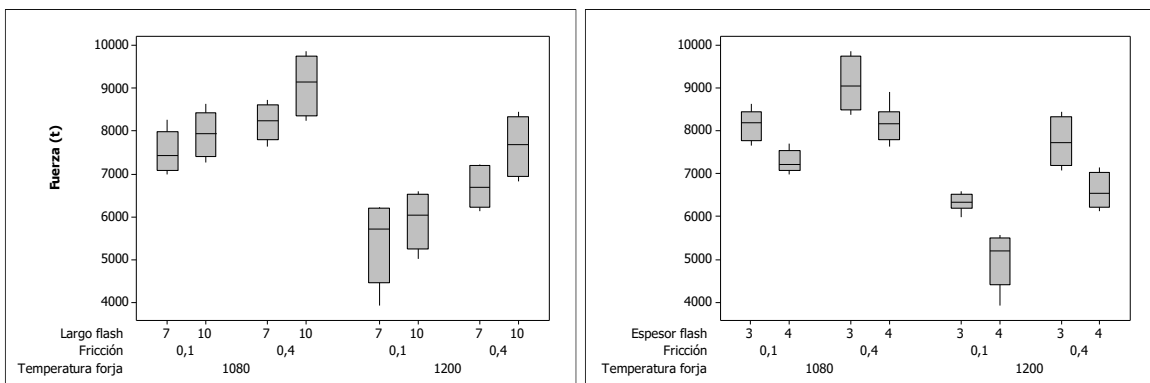


Figure 8: Influencia relativa (Temperatura forja y fricción como factores aleatorio)

Tabla 4: Cuadro resumen de la influencia de las variables analizadas sobre la carga

Parámetro	Influencia sobre la carga
Temperatura de forja	++++
Fricción	+++
Espesor de Flash	++
Largo de Flash	+
Aplastamiento	No significativo
Pre calentamiento	No significativo

3.2. Influencia de las variables analizadas sobre la energía de deformación

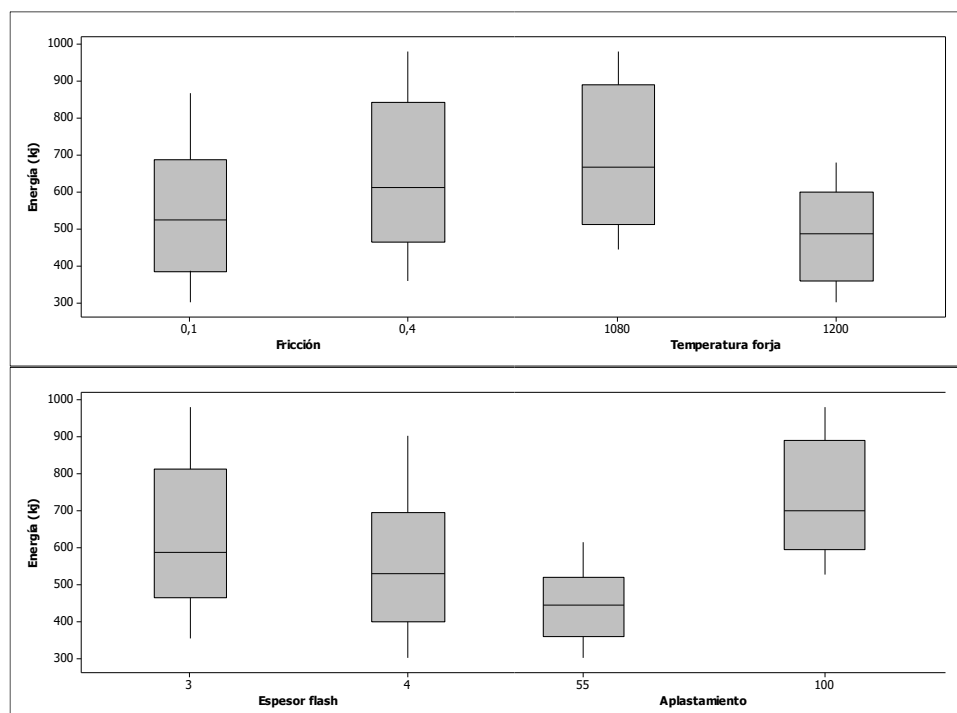
Tabla 5: Variables análisis de varianza sobre la energía (kJ)

Fuente	p
Fricción	0,000
Pre calentamiento	0,555
Temperatura forja	0,000
Espesor flash	0,000
Largo flash	0,108
Aplastamiento	0,000

S = 35,590 R-cuad. = 96,95% R-cuad.(ajustado) = 96,63%

De la tabla 5 se desprende que las variables que tienen influencia significativa sobre la energía de deformación son: la fricción, la temperatura de forja, el espesor de flash y el aplastamiento.

3.2.1. Análisis de las gráficas de cajas para la determinación relativa de las variables.

**Figure 9:** Influencia de las variables categóricas en la carga de conformado

De la figura 9 se desprende que la variable de mayor influencia relativa en la energía de conformado es el aplastamiento previo.

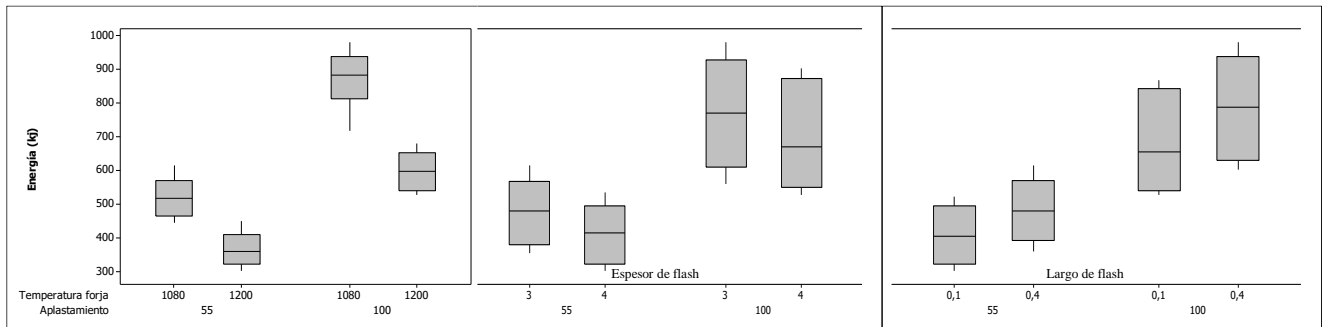


Figura 10: Influencia relativa (Aplastamiento como factor aleatorio)

La segunda variable de mayor influencia relativa es la temperatura de forja (figura 10), mientras que la tercera es la fricción (figura 11).

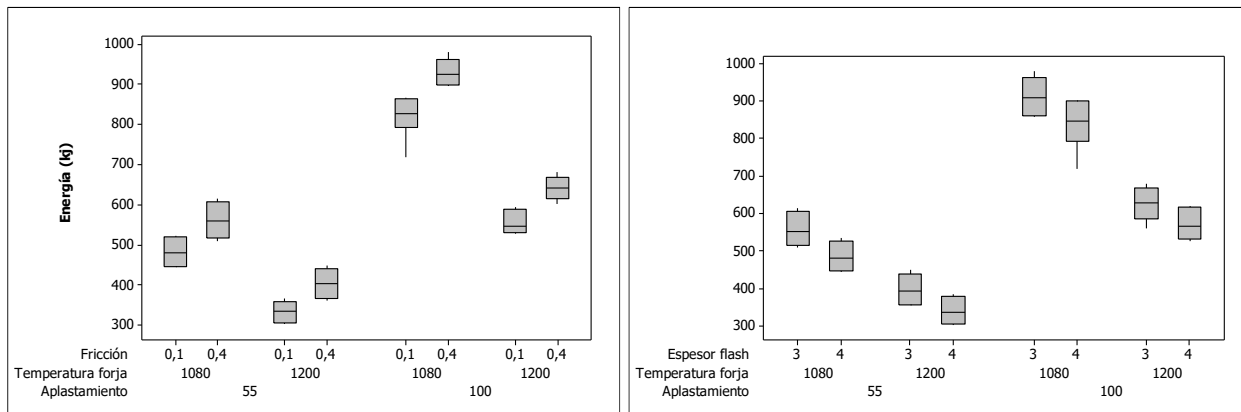


Figura 11: Influencia relativa (Aplastamiento y Temperatura de forja como factores aleatorios)

Como resumen de las figuras analizadas se presenta la tabla 6.

Tabla 6: Cuadro resumen de la influencia de las variables analizadas sobre la energía

Parámetro	Influencia sobre la energía
Aplastamiento	++++
Temperatura de forja	+++
Fricción	++
Espesor de Flash	+
Largo de Flash	No significativo
Pre calentamiento	No significativo

3.3 Influencia de las variables analizadas sobre el tiempo de llenado

Tabla 7: Variables análisis de varianza sobre el tiempo de llenado (s)

Fuente	p
Fricción	0,000
Pre calentamiento	0,843
Temperatura forja	0,021
Espesor flash	0,000
Largo flash	0,037
Aplastamiento	0,000

S = 0,002 R-cuad. = 93,18% R-cuad.(ajustado) = 92,47%

De la tabla 7 se desprende que las variables que tienen influencia significativa sobre el tiempo de llenado son: la fricción, la temperatura de forja, el espesor de flash y el aplastamiento.

3.3.1. Análisis de las gráficas de cajas para la determinación relativa de las variables.

Aclaración: la temperatura de forja y el largo de flash no fueron analizadas gráficamente dado que el estadístico p, es mayor a cero.

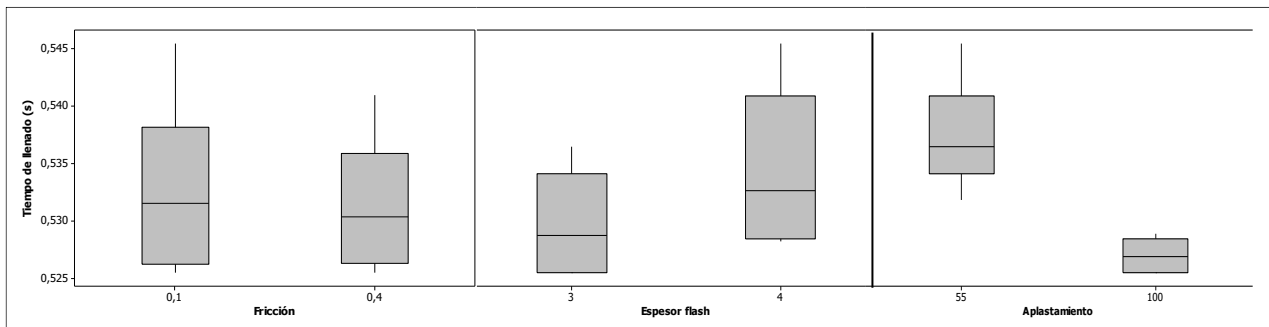


Figura 12: Influencia relativa en el tiempo de llenado de la matriz

De la figura 12 se desprende que la variable de mayor influencia relativa en el tiempo de llenado es el aplastamiento previo, en tanto que la segunda es el espesor de flash (figura 13).

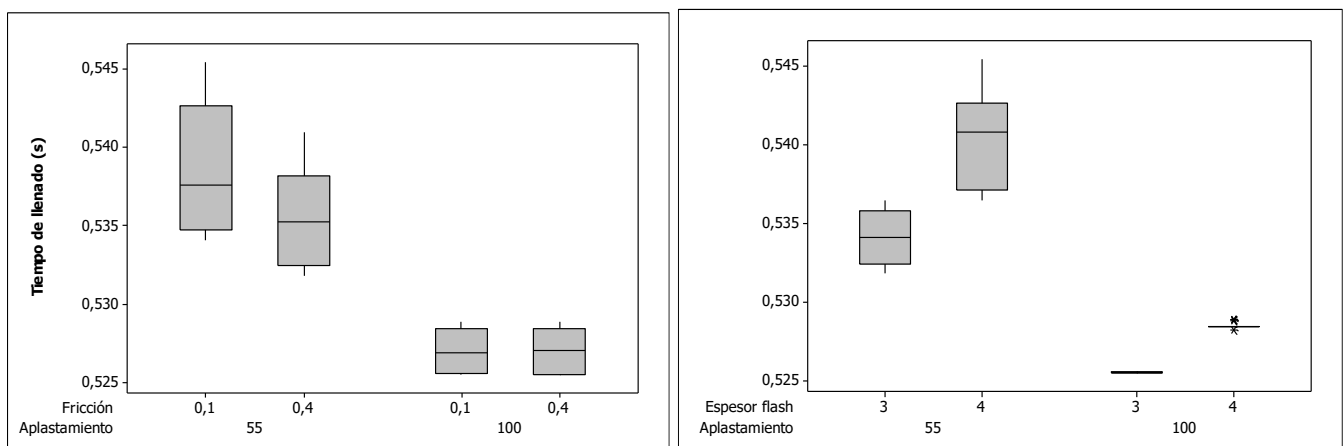


Figura 13: Influencia relativa en el tiempo de llenado de la matriz

Como resumen de las figuras analizadas se presenta la tabla 8.

Tabla 8: Influencia de las variables analizadas sobre el tiempo de llenado

Parámetro	Influencia sobre tiempo de llenado
Aplastamiento	+++++
Espesor de flash	++++
Fricción	+++
Temperatura de forja	++
Largo de Flash	+
Pre calentamiento	No significativo

4. CONCLUSIONES

El análisis por DOE permite analizar la influencia de las principales variables de un proceso de forjado en caliente en matriz cerrada con un buen ajuste (superior en todos los casos al 93%).

El pre calentamiento de las matrices no incide en ninguna de las respuestas analizadas, sin

embargo influye sobre el comportamiento del lubricante [5], y en consecuencia indirectamente sobre el coeficiente de fricción.

Para obtener mayor precisión en los resultados es necesario trabajar con los niveles de las variables en los rangos que se utilizan en planta (todas las variables analizadas en este trabajo, con excepción del coeficiente de fricción, son conocidas por la empresa de forjado).

Elevadas cargas de conformado pueden producir sobrecargas en la estructura de la prensa, elevadas energías de deformación, desgaste prematuro de las matrices, tiempos de llenado elevados y un excesivo consumo de material. Resulta entonces importante distinguir cuál de estas características es estratégica en nuestro diseño.

Diferentes geometrías producen que la influencia de cada una de estas variables pueda verse modificada, con lo cual los resultados obtenidos solo deben aplicarse al caso estudiado.

Referencias

- [1] B. TOMOV, R. RADEV, An example of determination of preforming steps for hot die forging, 10th International Scientific Conference; Conference Paper; December 2004.
- [2] R. RADEV, B. TOMOV, Preform design in hot die forging, 11th International Scientific Conference; Conference Paper; January 2002.
- [3] MD. ISRAR EQUBALA, RANDHIR KUMARB, MOHAMMAD SHAMIMC, R.K. OHDARDA, Grey-based Taguchi method to optimize hot forging process, 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014).
- [4] D.SHAHRIARI, A.AMIRI , M.H.SADEGHI, M.CHERAGHZADEH, Optimal Closed Die Finish Forgings for Nimonic80-A alloy Using FEM Method, Article in International Journal of Material Forming · April 2008.
- [5] H. E. STRASSER, Optimizacao do Processo de Forjamento através de Análise Termográfica, SENAFOR 2011 31° Forging Seminar. October 2011.