

03-034

DESIGN OF A MOULD WITH MORE NUMBER OF CAVITIES FOR THE MANUFACTURING OF INDUSTRIAL COMPONENTS BY SINTERING

Malón Litago, Hugo; Llena Chesa, Isabel; Valladares Hernando, David; Castejon Herrero, Luis

Universidad de Zaragoza

Sintering is a precision manufacturing process for producing industrial components in large series, without material loss, highly reliable and economical. In one phase of this manufacturing process, metallic powder is subjected to a pressing process, after which metal particles are joined together due to the mechanical deformation suffered. This pressing process is carried out in moulds, in which the cavities that will give rise to the green compact manufactured by pressing are mechanized.

The aim of this study is to design a new mould with more than 5 cavities, which is the number of cavities in the current one. If this new mould were achieved, then an increase in demand could be satisfied. The new mould must fulfil the same strength and fatigue requirements, as well as economic criteria, imposed to the current mould.

As conclusion of the work carried out, different configurations when designing the mould with more of five cavities are obtained. All of them fulfil to the existing strength and fatigue requirements.

Keywords: *Sintering; mould; design; cavities; FEM; fatigue*

DISEÑO DE UNA MATRIZ CON MAYOR NÚMERO DE CAVIDADES PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS INDUSTRIALES MEDIANTE SINTERIZADO

El sinterizado es un proceso de fabricación de piezas de precisión en grandes series, sin pérdida de material, altamente fiable y económico. En una fase de este proceso de fabricación el polvo metálico es sometido a un proceso de prensado, tras el cual las partículas metálicas se mantienen unidas debido a la deformación mecánica sufrida, dando lugar a la denominada pieza en verde. El proceso de prensado se realiza en conjuntos matriz, en los cuales se mecanizan las cavidades que darán lugar a las piezas en verde fabricadas por prensado.

En este trabajo se presenta el estudio realizado con el fin de analizar la viabilidad de diseñar un conjunto matriz con más de 5 cavidades (número de cavidades en la matriz actual), según criterios de resistencia y fatiga, así como económicos, que permitan hacer frente a un incremento de la demanda existente.

Como resultado del trabajo realizado se muestran las diferentes alternativas de diseño del conjunto matriz con mayor número de cavidades obtenidas, las cuales cumplen con los requisitos de resistencia y fatiga impuestos. Para el análisis y optimización estructural del conjunto matriz han sido empleado una metodología basada en el cálculo numérico mediante el Método de los Elementos Finitos.

Palabras clave: *Sinterizado; matriz, diseño; cavidades; MEF; fatiga*

Correspondencia: Hugo Malón: hml@unizar.es

Acknowledgements/Agradecimientos: A la empresa AMEX TAMARITE S.A. por su colaboración y asesoramiento durante la realización del estudio.



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El sinterizado es un proceso de obtención de piezas de precisión en grandes series, sin pérdidas de material, que la hacen altamente fiable y económica. Prácticamente todas las operaciones clásicas de acabado metalúrgico, mecanizado, tratamientos térmicos, recubrimientos superficiales, etc..., pueden aplicarse a las piezas sinterizadas. (Machado et al, 2017).

Figura 1: Piezas fabricadas mediante el proceso de Sinterizado



El proceso básico a seguir para el conformado de una pieza mediante sinterizado consta de tres operaciones, como son el mezclado de polvos, la compactación y la sinterización (Perrote y Ferrero, 2013).

El trabajo realizado en este estudio se centra en la fase de compactación, en la cual la mezcla de polvos metálicos se carga en el interior de un utillaje, para a continuación ser sometidos a una presión uniaxial de 200a 1500MPa en función de la geometría de la pieza y densidad final a conseguir. Una vez el proceso de compactación ha finalizado las partículas metálicas se mantienen unidas debido a la deformación mecánica sufrida, dando lugar a la denominada pieza en verde.

La fase de compactación, en la cual se realiza el proceso de prensado de los polvos metálicos, se realiza en conjuntos matriz. En estos conjuntos matriz es donde se mecanizan las cavidades que darán lugar a las piezas en verde fabricadas por prensado.

En este estudio se muestra el trabajo realizado con el fin de dar solución a un incremento de la demanda de una pieza a fabricar mediante sinterizado, en el cual se analiza la viabilidad de diseñar un conjunto matriz con más de 5 cavidades (número de cavidades de la matriz actual) según criterios de resistencia y fatiga, así como económicos, que permita hacer frente al aumento de la demanda creciente para los próximos años, la cual se estima en 25.000.000 de piezas al año.

El análisis numérico de los componentes llevado a cabo en el estudio ha sido realizado mediante técnicas numéricas basadas en el Método de los Elementos Finitos, siendo empleados los resultados obtenidos del análisis numérico en la estimación de vida a fatiga de los conjuntos matriz diseñados durante el estudio.

2. Objetivos

El principal objetivo del estudio es la obtención de un diseño de conjunto matriz que permita fabricar más de 5 piezas por golpe, número de piezas obtenidos por la matricería actual, con el fin de poder abastecer el incremento de la demanda estimado de una pieza en los próximos años.

Con el fin de alcanzar el objetivo global del proyecto se plantean dos opciones. La primera de ellas consiste en el diseño de un conjunto matriz de 7 cavidades en línea, mecanizadas en una matriz 240mm de diámetro, diámetro mayor que la matrices estándar. La segunda opción consiste en una matriz de 9 cavidades, las cuales se colocan a tresbolillo, mecanizadas en una matriz de diámetro estándar de 190mm.

En ambos casos los resultados de los diseños obtenidos deben cumplir con los requisitos de resistencia y fatiga impuestos, los cuales serán idénticos a los impuestos en el diseño de la matricería actual.

3. Conjunto matriz a desarrollar

Como se ha expuesto el objetivo del estudio es conseguir un conjunto matriz que permita aumentar el número de piezas a fabricar en cada golpe de prensado. Concretamente se plantean dos opciones una de 7 piezas y otra de 9 piezas. En un primer paso se plantea la fabricación de los conjuntos matriz mediante dos componentes, las anillas y el zuncho (Llena, 2018). Las anillas serán fabricadas con metal duro, y en ellas se mecanizarán las cavidades la cuales darán forma a la pieza en verde una vez prensado el polvo metálico. En el zuncho, se mecanizarán unos orificios con el fin de alojar a las anillas, siendo la unión entre estos componentes mediante zunchado.

3.1 Geometría del conjunto matriz

La primera opción a estudiar es el conjunto matriz de 7 cavidades, denominada como opción A, consta de 7 anillas alineadas en el centro del conjunto matriz, con una distancia de separación entre ellas de 22mm. La segunda opción, denominada B, consiste en colocar 9 cavidades a tresbolillo en dos filas (una de 5 y otra de 4 cavidades), centradas en el conjunto matriz y con una distancia entre centros de las cavidades de 23mm. La figura 2 muestra los modelos 3D de las opciones A y B de conjunto matriz realizados en el estudio.

3.2 Materiales

Los materiales empleados en los componentes del conjunto matriz son Impax para los zunchos y G-10 para las anillas. Las propiedades mecánicas de los materiales se muestran en la tabla 1.

3.3 Cargas

En relación las cargas generadas en el proceso de compactación, la presión específica de prensado en cada una de las cavidades es de $8,5\text{t}/\text{cm}^2$, lo que equivale a $833,57\text{MPa}$. Esta presión se aplica en la dirección axial de la prensa, siendo necesarios 35 kN (3,57t) para prensar cada una de las piezas. Por ello en el caso del conjunto matriz de 7 cavidades es necesaria una fuerza de 245,07 kN (24,99t) y de 315,09kN (32,13t) en el caso del conjunto matriz de 9 cavidades.

En la dirección radial, la fuerza ejercida sobre la pieza compactada se estima en 0,7 veces la fuerza de compactación, valor proporcionado por la empresa AMES TAMARITE S.A, la cual lo ha obtenido de forma experimental(Navarro, 2017). Por ello la fuerza radial en cada una de las cavidades será de $5,95\text{t}/\text{cm}^2$.

3.4 Condiciones de contorno

La unión entre la anilla y el zuncho se realiza mediante unión por presión o zunchado, siendo por ello el diámetro de anilla ligeramente superior al diámetro del alojamiento mecanizado en el zuncho.

Por otro lado la sujeción del conjunto matriz con el resto de la máquina se realiza mediante una brida. El conjunto matriz se coloca sobre la Mesa de prensa, siendo presionado contra la Mesa de prensa por la brida, la cual esta unidad al soporte de la máquina mediante cuatro tornillos. En la figura 3 se muestra una imagen 3D de la colocación del conjunto matriz en la máquina de prensado.

Figura 2: Modelos 3D de conjunto matriz: Opción A (izq) y Opción B (der.)

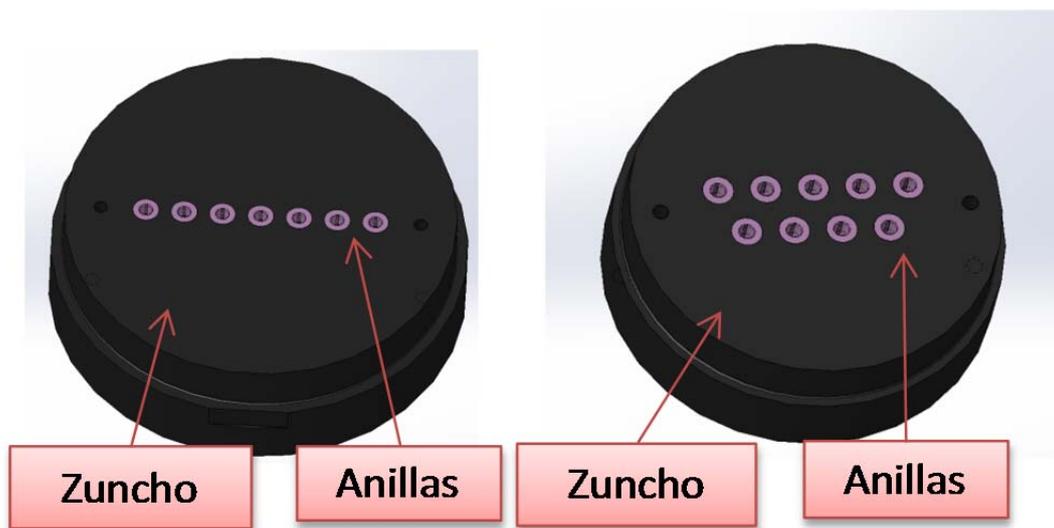
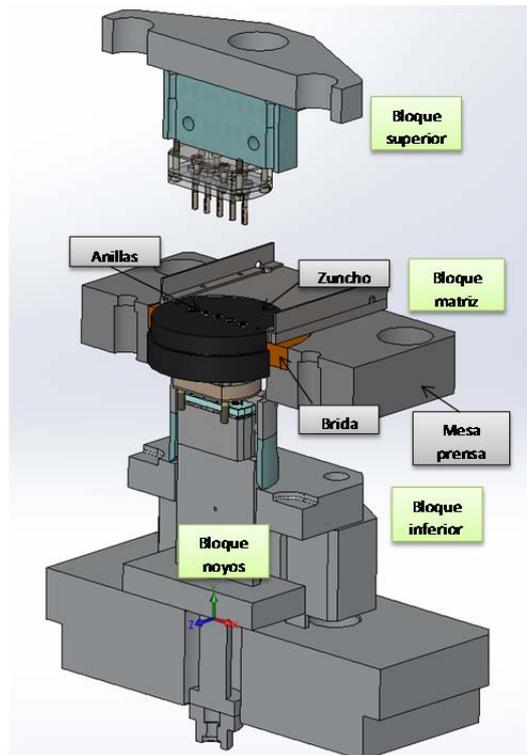


Tabla 1: Propiedades mecánicas de los materiales empleados en el estudio

Material	Módulo de Young (MPa)	Coefficiente de Poisson	Límite elástico (MPa)	Límite rotura (MPa)	Límite compresión (MPa)
Impax	205.000	0,31	750	950	---
G-10	608.000	0,22	345	1.471	4.020

Figura 3: Modelos 3D de la máquina de prensado



4. Análisis numérico

Una vez han sido definidos los dos modelos de conjunto matriz a analizar, opción A y B, tanto a nivel geométrico, como de materiales, fuerzas y condiciones de contorno a aplicar, se ha procedido al análisis numérico de las dos alternativas mediante el Método de los Elementos Finitos.

El modelo numérico discretizado de la opción A, el cual se muestra en la figura 4, consta de 305.279 nodos y 206.119 elementos, mientras que el número de nodos y elementos que conforma el modelo numérico de la opción B, figura 5, es de 251.101 y 161.789 respectivamente.

En la realización del análisis numérico han sido aplicados los materiales y las condiciones de contorno descritas en los apartados 3.2 y 3.4. En referencia los casos de carga han sido realizados dos cálculos en cada opción de conjunto matriz. El primero de los casos de carga, denominado *reposo*, corresponde a una situación en la cual no se está realizando la compresión del polvo metálico. En este caso las fuerzas aplicadas en el cálculo numérico corresponden a la presión que se ejerce entre las anillas y el zuncho debido a la unión por presión que une estos componentes, aplicado una rugosidad de 0,8 y una interferencia del 0,15%. El segundo caso de carga, denominado *trabajo*, corresponde a la situación en la cual se está realizando la compresión del polvo metálico. En este caso de carga a la presión generada por la unión zunchada se le suma la presión generada de forma radial en el proceso de compactación del polvo metálico que da lugar a la pieza en verde. El valor de esta presión es de $5,95\text{t/cm}^2$ en cada una de las cavidades como se he expuesto en el apartado 3.3.

Figura 4: Modelo numérico de la opción A, conjunto matriz de 7 cavidades

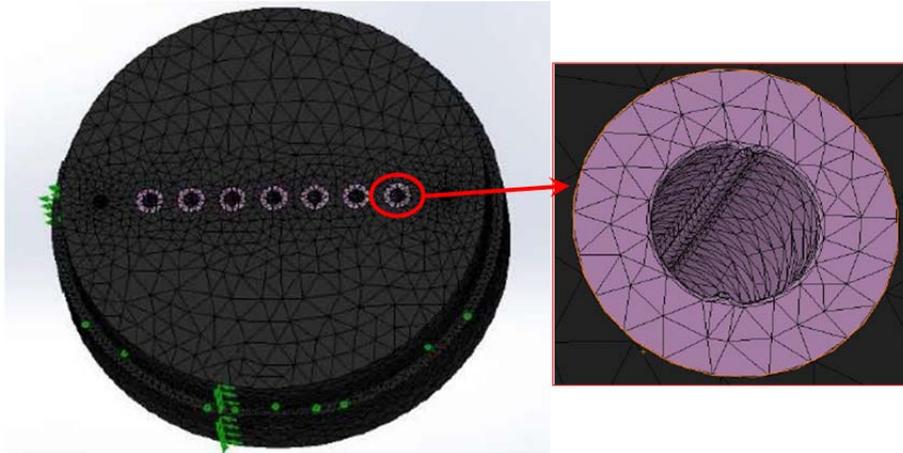
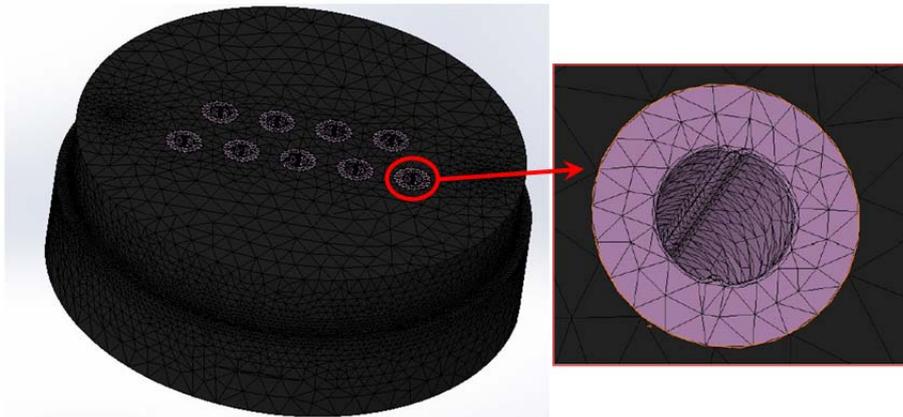


Figura 5: Modelo numérico de la opción B, conjunto matriz de 9 cavidades



Los resultados obtenidos se resumen en la tablas 2 y 3, siendo mostrados en la figuras 6 y 7 los mapas de tensiones de Von Mises en el zuncho en el caso de carga *reposo* de la opción A y de la suma de las tensiones principales en las anillas en el caso de carga de *trabajo* de la opción B.

Tabla 2: Resultados de tensiones del análisis numérico de la opción A de conjunto matriz

Componente	Tensiones analizadas	Caso de carga <i>reposo</i>	Caso de carga <i>trabajo</i>
Zuncho	Von Mises	699 MPa	717 MPa
Tracción	Suma de las tensiones principales	531 MPa	618 MPa
Anillas	Suma de las tensiones principales	-2.576 MPa	-2.697 MPa
Compresión			

Tabla 3: Resultados de tensiones del análisis numérico de la opción B de conjunto matriz

Componente	Tensiones analizadas	Caso de carga <i>reposo</i>	Caso de carga <i>trabajo</i>
Zuncho	Von Mises	695 MPa	616 MPa
Anillas	Tracción	306 MPa	563 MPa
	Compresión	-2.760 MPa	-2.753 MPa

Figura 6: Tensiones de Von Mises en el Zuncho (opción A) en el caso de carga *reposo*

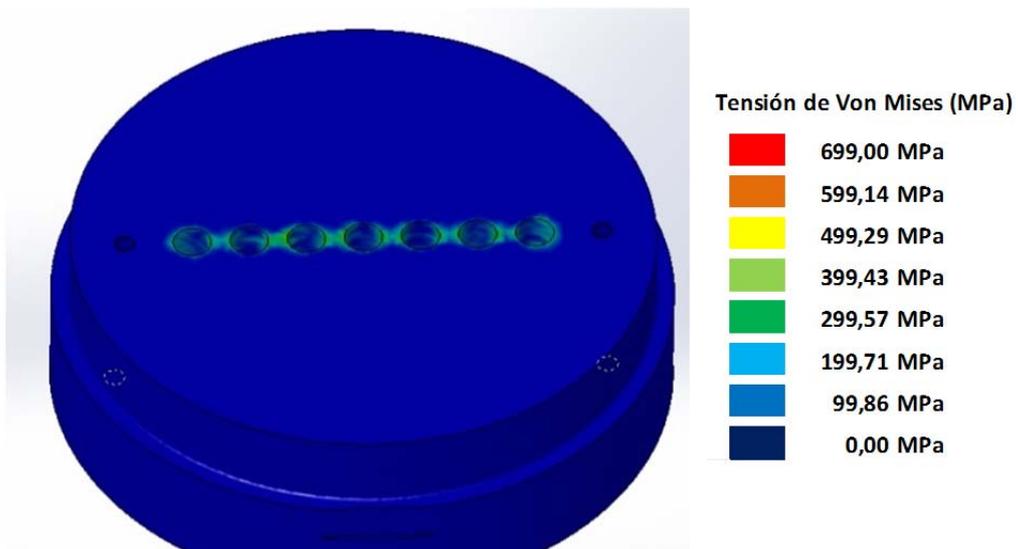
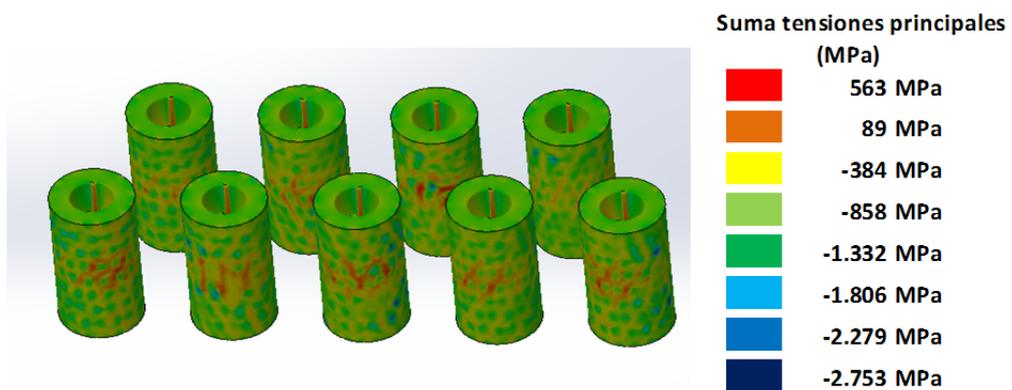


Figura 7: Suma de tensiones principales en las anillas (opción B) en el caso de carga *trabajo*



Al analizar los resultados obtenidos hay que indicar que los coeficientes de seguridad se obtienen con respecto al límite elástico del material para el zuncho, al estar conformado por un material dúctil. En el caso de las anillas, al estar fabricadas con un material frágil, el coeficiente de seguridad se obtiene con respecto al límite de rotura del material, considerando las zonas críticas aquellas que trabajan a tracción. Los coeficientes de seguridad obtenidos de los resultados numéricos para cada uno de los componentes de las dos opciones de conjunto matriz se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Coeficientes de seguridad de los componentes del conjunto matriz

	Componente	Tensión admisible (MPa)	Reposo		Trabajo	
			Tensión (MPa)	C.S.	Tensión (MPa)	C.S.
Opción A	Zuncho	750	699	1,07	717	1,04
	Anillas	1471	531	2,77	618	2,38
Opción B	Zuncho	750	695	1,07	616	1,21
	Anillas	1471	306	4,80	563	2.61

5. Análisis de vida a fatiga

Finalizado el análisis numérico de las dos opciones de conjunto matriz se procede con el análisis de vida fatiga, en el cual se emplean los resultados obtenidos de los cálculos numéricos mostrados.

En el análisis de vida a fatiga realizado han sido aplicados dos tipos de métodos, el Criterio de Goodman y el Método de estimación de vida a fatiga de alto ciclo basado en la curva de Wöhler.

5.1 Criterio de Goodman

El criterio de Goodman es un criterio de resistencia a fatiga utilizado para el análisis de la resistencia de piezas sometidas a tensiones fluctuantes con componente de tensión media positiva. El criterio se basa en los valores de tensión media (σ_m) y alternante (σ_a) en el punto analizado y establece que la pieza resistirá en el punto analizado siempre que se cumpla la ecuación 1 (Mott, 2006); (Mecapedia, 2014).

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ult}} < 1 \quad (1)$$

La tabla 5 muestra los valores de resistencia a la fatiga obtenidos en los componentes zuncho y anillas para las dos opciones de conjunto matriz analizadas mediante técnicas numéricas. Como se puede comprobar en el caso de la opción A, el conjunto matriz de 7 cavidades el criterio indica que no se producirá el fallo a fatiga ni en el zuncho ni en las anillas. Por el contrario en el caso de la opción B, conjunto matriz de 9 cavidades, los resultados muestran que tanto el zuncho como las anillas fallaran por fatiga.

Tabla 5. Resultados de aplicar el criterio de Goodman de resistencia a fatiga

Opción	Componente	σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	S_e (MPa)	S_{ult} (MPa)	Resultado numérico	Fallo por fatiga
A	Zuncho	9,00	708,00	59,64	950,00	0,896	No fallo
	Anilla	43,50	574,50	102,69	1471,00	0,814	No fallo
B	Zuncho	39,50	655,50	61,48	950,00	1,332	Fallo
	Anilla	128,50	434,50	102,69	1471,00	1,547	Fallo

5.2 Curva de Wöhler

El segundo criterio empleado para estimar la resistencia a la fatiga está basado en las curvas de Wöhler o curvas S-N, el cual sirve para estudiar la vida a fatiga de alto ciclo. Este criterio permite obtener la vida a fatiga de un componente a partir de la Ecuación de Basquin (ecuación 2). Para ello es necesario definir el Coeficiente de resistencia a la fatiga (σ'_f) y el Exponente de resistencia a la fatiga (b), los cuales son característicos de cada componente y se muestran en la tabla 6 (Besa et al, 2003) (Malón, 2010).

$$\sigma_a = \sigma'_f * (2N)^b \quad (2)$$

No obstante la ecuación de Basquin está definida para ciclos alternantes, es decir ciclos en los cuales la tensión media es cero. En los casos a analizar en el estudio, los ciclos son fluctuantes (tensión media distinta de cero), razón por la cual es necesario calcular una tensión alternante equivalente (σ_n^{eq}), mediante la ecuación 3, que pueda ser empleada en la ecuación de Basquin, con el fin de estimar la vida a fatiga de los componentes a estudio (Avilés, 2015).

$$\sigma_n^{eq} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{S_{ult}}} \quad (3)$$

Los resultados obtenidos de vida a fatiga para los componentes zuncho y anillas de las dos opciones de conjunto matriz analizadas se muestran en la tabla 6. En función de los datos de vida a fatiga obtenidos se evidencia que el número de piezas que se puede fabricar con la opción A de conjunto matriz supera los 47 millones, mientras que con la opción B de conjunto matriz únicamente se puede llegar a 238.356 piezas. Los resultados obtenidos confirman los resultados del Criterio de Goodman, confirmando que la opción B de conjunto matriz, la cual dispone de 9 orificios dispuestos a tresbolillo, no es válida para la fabricación de 25.000.000 de piezas al año, demanda estimada al comienzo del análisis, mientras que la opción A sí es válida.

Tabla 6: Estimación de vida a fatiga según las curvas de Wöhler

Opción	Componente	σ'_f (MPa)	b	σ_n^{eq} (MPa)	Vida a fatiga (ciclos)
A	Zuncho	954,25	-0.2007	35,33	>13.500.000
	Anilla	1.410,19	-0.1896	71,37	>6.800.000
B	Zuncho	983,71	-0,2006	127,41	26.484
	Anilla	1.410,19	-0,1896	182,37	48.381

6. Mejora de la opción B de conjunto matriz

Una vez se ha evidenciado que el diseño inicial de la opción B de conjunto matriz, la cual dispone 9 cavidades a tresbolillo en dos hileras, no cumple con los requisitos de vida a fatiga impuestos, se ha procedido a una fase de rediseño de la misma con el fin de conseguir un diseño valido según el criterio de resistencia a la fatiga, es decir que permita fabricar 25.000.000 de piezas.

Como resultado del proceso de optimización planteado se ha obtenido la denominada opción B mejorada. A nivel geométrico en el diseño mejorado se plantea el uso de una única anilla central en la cual se mecanizan los nueve orificios a tresbolillo, como se muestra en la figura 8, a diferencia de tener 9 anillas alojadas en un zuncho. En el diseño de opción B mejorada la distribución de los orificios que darán lugar a las piezas en verde tras el proceso de compactación es idéntico al modelo original, y la unión de la anilla central y el zuncho se realiza mediante unión por presión como en el modelo original.

En referencia a los materiales empleados, se ha cambiado el material de las anillas a un ASP-23, manteniendo el material del zuncho. Las propiedades mecánicas de los materiales empleados en el estudio de la opción B mejorada se muestran en la tabla 7.

Los casos de carga y condiciones de contorno analizadas no varían con respecto a los modelos iniciales, los cuales han sido expuestos en los apartados 3.3 y 3.4 respectivamente

Figura 8: Modelo 3D de conjunto matriz Opción B mejorada

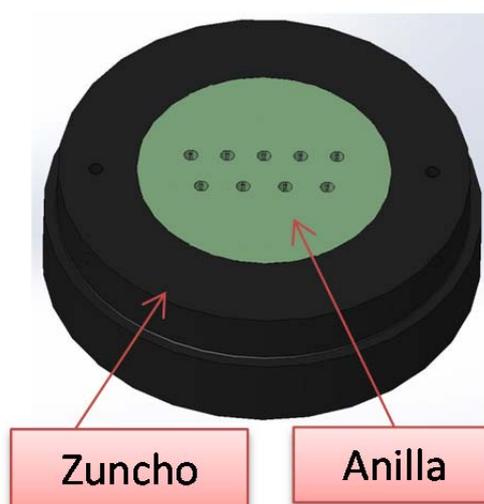


Tabla 7: Propiedades mecánicas de los materiales empleados en el estudio Opción B mejorada

Material	Módulo de Young (MPa)	Coefficiente de Poisson	Límite elástico (MPa)	Límite rotura (MPa)	Límite compresión (MPa)
Impax	205.000	0,31	750	950	---
ASP-23	230.000	0,25	2.000	2.800	4.000

En la tabla 8 se resumen los valores máximos de tensión registrados en el análisis numérico realizado, así como los coeficientes de seguridad obtenidos con respecto al límite elástico del material para el zuncho, al estar conformado por un material dúctil. En el caso de las anillas, al estar fabricadas con un material frágil, el coeficiente de seguridad se obtiene con respecto al límite de rotura del material, considerando la zonas críticas aquellas que trabajan a tracción.

Los resultados obtenidos de vida a fatiga para los componentes zuncho y anilla de la opción B mejorada de conjunto matriz se muestran en las tablas 9 y 10. Los resultados obtenidos muestran que ni la anilla ni el zuncho del modelo mejorado fallarán a fatiga según el criterio de Goodman, mientras que el criterio basado en las curvas de Wöhler indica que el número de ciclos que soportara el conjunto matriz es superior a 13 millones y medio, lo que supone poder fabricar más de 120 millones de piezas, superando el criterio de fatiga impuesto de 25.000.000 piezas. Por esta razón el diseño de la opción B mejorado del conjunto matriz es válido.

Tabla 8: Resultados de tensiones del análisis numérico de la opción B mejorada

	Componente	Tensión admisible (MPa)	Reposo		Trabajo	
			Tensión (MPa)	C.S.	Tensión (MPa)	C.S.
Opción B mejorada	Zuncho	750	400	1,87	450	1,66
	Anillas	2.800	209	13,37	230	12,17

Tabla 9. Análisis de fatiga según el criterio de Goodman de la opción B mejorada

	Componente	σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	S_e (MPa)	S_{ult} (MPa)	Resultado numérico	Fallo por fatiga
Opción B mejorada	Zuncho	25,00	425,00	62,64	950,00	0,846	No fallo
	Anilla	10,50	219,50	80,47	2.800,00	0,209	No fallo

Tabla 10: Estimación de vida a fatiga según las curvas de Wöhler de la opción B mejorada

Opción	Componente	σ'_f (MPa)	b	σ_n^{eq} (MPa)	Vida a fatiga (ciclos)
Opción B mejorada	Zuncho	1.002,29	-0.2007	45,24	>13.500.000
	Anilla	2.897,08	-0.2593	11,39	>1,8*10 ⁹

7. Análisis económico

Una vez analizados las opciones iniciales y obtenidos los diseños validos según criterios de resistencia y fatiga de las dos opciones de conjunto matriz, opción A y opción B mejorada, se ha procedido a la realización del estudio económico de estas opciones, tomando como referencia el coste de fabricación del modelo actual de conjunto matriz de 5 cavidades.

En esta fase del estudio se analizan los procesos de fabricación necesarios para cada una de las matrices planteadas, considerando el tiempo estimado para realizar cada una de las operaciones, de esta forma se calculará el coste de operación que tendrá cada una de las opciones. Adicionalmente se tiene en cuenta la materia prima necesaria, considerando su coste como un incremento del 15% al coste del proceso, dado que el coste de la materia prima varía según proveedores y momentos de consumo. Este método de cálculo ha sido recomendado por la empresa AMES TAMARITE S.A para realizar las aproximaciones en el precio (Lena, 2018).

El coste de las dos opciones estudiadas en el trabajo desarrollado, así como el coste del conjunto matriz existente actualmente se muestra en la tabla 11. Como se puede comprobar el coste de fabricación de las nuevas opciones es superior al coste del diseño actual de conjunto matriz con 5 cavidades, pero los diseño realizados en el estudio permiten asegurar la fabricación de la demanda prevista en un futuro próximo.

Analizando el coste por pieza de la opción A, 0,0096 céntimos de euro por pieza, frente a los 0,0012 céntimos de euros por pieza fabricada por la opción B modificada, se observa que el coste por pieza es muy inferior en la opción B modificada de conjunto matriz.

Tabla 11: Coste de fabricación de las opciones de conjunto matriz analizadas

Opción de matriz	Coste por anilla (€)	Numero de anillas	Coste total anillas (€)	Coste zuncho (€)	Coste material (€)	Cote total (€)
Actual	167,76	5	838,80	348,96	178,16	1.365,91
A	167,76	7	1.174,32	406,38	237,10	1.817,80
B mejorada	903,76	1	903,76	392,24	199,40	1.495,40

8. Conclusiones

En el estudio realizado se han desarrollado y analizado dos opciones de conjunto matriz para la fabricación de una pieza mediante sinterizado, las cuales permitirán cubrir un incremento de la demanda hasta 25.000.000 piezas al año.

Concretamente se han analizado dos opciones, la primera consiste en un conjunto matriz con 7 cavidades dispuestas linealmente, opción A, mientras que la segunda opción, opción B, dispone de 9 cavidades a tresbolillo distribuidas en dos filas.

Los diseños realizados han sido analizados según criterios de resistencia y fatiga, pudiendo fabricar los modelos definitivos más de 47 millones de piezas con la opción A y más de 120 millones de piezas en con la opción B.

Adicionalmente se ha realizado un análisis económico de las opciones desarrolladas que cumplen con los criterios de resistencia y fatiga impuestos, obteniendo un coste por pieza de 0,0096 céntimos de euro con la opción A, y 0,0012 céntimos de euro con la opción B mejorada.

Por todo ello se puede concluir que ambas opciones de conjunto matriz cumplen con los requisitos de resistencia y fatiga impuestos, siendo capaces de proporcionar los 25.000.000 de piezas al año, siendo el coste por pieza muy inferior en el caso de la opción B mejorada, en la cual se pueden fabricar 9 piezas en cada proceso de compactación, frente a la opción A, en la cual únicamente se pueden fabricar 7 piezas en cada golpe de la prensa.

Referencias

- Avilés, R. (2015) Métodos de cálculo de fatiga para ingeniería. Madrid (España). Ediciones Paraninfo
- Besa, A.J., Giner, E., Ródenas, J.J., Tarancon, J.E. & Valero, F.J. (2003). Componentes de máquinas. Madrid (España). Pearsons Educación.
- Llena, I. (2018). Análisis por elementos finitos de la viabilidad de aumentar el número de cavidades en una matriz. Trabajo Final de Grado, Universidad de Zaragoza. Valladolid
- Machado, A.S., Shimomoto, E.K, Silverio, R., García del Pino, G., Chagoyén, C.A., & Moya, J. L. (2017). Sinterización, un proceso de conformación de metales como alternativa económica con un bajo impacto ambiental. *Centro Azúcar*. Vol 44, nº 3
- Malón, H. (2010). Desarrollo de un método innovador de análisis de comportamiento frente a cargas de fatiga de uniones soldadas y componentes estructurales de semirremolques. Ph.D. Thesis, University of Zaragoza.
- Mecapedia – Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica. (2014) *Área de Ingeniería Mecánica – Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Jaume I. Castellón*: http://www.mecapedia.uji.es/criterio_de_Goodman.htm
- Mott, R.L. (2006) Diseño de máquinas (4ª edición). México. Pearsons educación
- Navarro, P. (2017) Anàlisis de l'ampliació de la actual matriu tripe a una matriu quintuple per la peça 668000. Sant Vicenç dels Horts. España. AMEX
- Perrote, O.A. & Ferrero C. (2013). Diseño y puesta a punto de un sistema de vacío para sinterización de probetas pulvimetalúrgicas de acero inoxidable. Proyecto Final de Carrera, Universidad de Valladolid. Valladolid