
Diseño de un molde de corte para arandelas automotrices Design of a cutting mold for automotive washers

Jairo Edison Guasumba Maila¹, Diego Andres Calero Torres², Luis Patricio Criollo Yanchatipan³, Victor Alfonso Garay Cisneros⁴.

Resumen:

En la industria automotriz, la fabricación de componentes de precisión, como las arandelas, requiere moldes de corte de alta calidad y precisión. Este estudio analiza el diseño de un molde de corte utilizando SolidWorks 2018, una herramienta de modelado 3D ampliamente utilizada en ingeniería. La matricería es una técnica de manufacturación en frío que permite obtener elementos mediante el uso de una prensa, logrando fabricar varias piezas a la vez por corte o deformación. Los materiales más utilizados para la fabricación de moldes son el Acero K100, el AISI 1045 y el 4340, seleccionados por su tenacidad, resistencia y capacidad para soportar altas temperaturas. Utilizando el Método de Elementos Finitos (MEF), se aplica una fuerza de corte de 50.26 KN para el diámetro menor de la arandela y 80.52 KN para el diámetro mayor. El diseño de la matriz de corte es aceptado con un factor de seguridad de 3.7, dentro del rango recomendado de 2.5 a 4 según Robert Mott. Las partes que conforman la matriz incluyen la placa inferior y superior, la placa porta matriz, punzones, columnas de Ø25 y Ø45 mm, prensas chapas, topes, guías y matrices de corte.

Palabras clave: Matricería, Cizallamiento, Método de Elementos Finitos, Fuerza de corte, Matriz.

Abstract:

In the automotive industry, the manufacturing of precision components, such as washers, requires high quality and precision cutting molds. This study analyzes designing a cutting mold using SolidWorks 2018, a tool 3D modeling widely used in engineering. Die-casting is a technique of cold manufacturing that allows elements to be obtained through the use of a

¹ Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Diseño Mecánico con Mención en Fabricación de Autopartes, <https://orcid.org/0000-0002-0533-0397>

² Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Energías Renovables, <https://orcid.org/0000-0003-4754-4251>

³ Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Educación Mención en Gestión del Aprendizaje Mediado por TIC, <https://orcid.org/0000-0003-3647-2918>

⁴ Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Educación Mención en Gestión del Aprendizaje Mediado por TIC, <https://orcid.org/0000-0001-6739-9309>

Autor de correspondencia: jguasumba@istte.edu.ec

press, managing to manufacture several pieces at the same time by cutting or deformation. The most used materials for the manufacture of molds are K100 Steel, AISI 1045 and 4340, selected for their toughness, resistance and ability to withstand high temperatures. Using the Finite Element Method (MEF), a cutting force of 50.26 KN is applied for the smallest diameter of the washer and 80.52 KN for the largest diameter. The design of the cutting die is accepted with a safety factor of 3.7, within the recommended range of 2.5 to 4 according to Robert Mott. The parts that make up the matrix include the bottom plate and upper, the matrix holder plate, punches, Ø25 and Ø45 mm columns, presses plates, stops, guides and cutting matrices.

Keywords: Tooling, Shearing, Finite Element Method, Cutting force, Matrix.

Introducción

La industria ecuatoriana ha desarrollado nuevos procedimientos de trabajo, los cuales obtuvieron gran énfasis, a partir de la inclusión de producción que se dio en el país, destacando la producción de elementos en serie los mismos que se originan por la matricería, obteniendo una diversidad de productos.

La matricería es una técnica de manufacturación en frío que permite obtener un determinado elemento mediante el uso de una prensa, pudiendo producir varias piezas a la vez a través de corte o deformación, conservando el espesor inicial. Este proceso implica el uso de dispositivos mecánicos formados por un punzón y una matriz, donde se aplica una fuerza de compresión sobre la chapa, comenzando con una deformación, seguido de un cizallamiento y la rotura del material, y finalizando con la expulsión de la pieza cortada (García et al., 2018).

Las arandelas son componentes esenciales en la industria automotriz, utilizadas en múltiples aplicaciones para distribuir la carga de roscas de tornillo, reducir la fricción y prevenir el desgaste. La calidad de estas piezas depende en gran medida de la precisión del molde de corte utilizado en su fabricación. El objetivo de este estudio es analizar el diseño de un molde de corte para arandelas automotrices utilizando SolidWorks 2018, y evaluar cómo el modelado 3D puede optimizar el proceso de diseño y fabricación. Según Alvarado, Hernández y Montes (2014), una matriz generalmente está compuesta por el punzón y la matriz de corte. El punzón está fijado a una placa llamada porta punzones, que a su vez cuenta con un vástago sujeto a un cabezal. La matriz de corte, por otro lado, está asegurada a una placa porta matriz y puede incluir o no un extractor. Esta configuración incluye también una base matriz con un expulsor.

La matricería es un proceso de manufactura en frío que implica el uso de una prensa para cortar o deformar material, generalmente metal, para obtener piezas de formas específicas. Este proceso se realiza mediante dispositivos mecánicos compuestos por punzones y matrices. La técnica de corte mediante matricería conserva el espesor inicial del material y consta de varias etapas: aplicación de una fuerza de compresión, deformación inicial, cizallamiento y ruptura del material, y finalmente, la expulsión de la pieza cortada.

Las fuerzas de corte actuantes según Archundia, 2015 en el proceso de corte son:

- Fuerza horizontales y verticales de corte actuantes en el punzón
- Fuerzas de fricción horizontales y verticales actuantes en el punzón.
- Fuerza de reacción de la matriz
- Fuerzas horizontales y verticales actuantes en la matriz.
- Fuerzas de fricción horizontales y verticales actuantes en la matriz.
- Momentos actuantes en la tira.
- Momentos internos en la pieza troquelada.

La trayectoria de la fuerza de corte está especificada como se detalla a continuación.

Figura 1

Trayectoria de la Fuerza de Corte



Nota: Archundia, 2015

La selección de materiales para estos componentes es crucial, y comúnmente se utilizan aceros como K100, AISI 1045 y 4340 debido a sus propiedades de tenacidad, resistencia y capacidad para soportar altas temperaturas.

Acero K 100

Se trata de un acero de tipo ledeburíticos de alta resistencia al desgaste y poca resistencia a la tenacidad, con un 12% de cromo, útiles para aumentar la vida de sus herramientas. (BÖHLER, 2013)

Figura 2

Parámetros del Acero K100

Parámetros	Unidades
Densidad (kg/dm ³)	7.70
Conductividad térmica (W/(mK))	20
Calor específico (J/(Kg*K))	460
Resistencia Eléctrica Específica (ohm*mm ² /m)	0.65
Módulo de elasticidad (N/mm ²)	210x10 ³

Nota. BÖHLER, (2013)

El modelado se realiza con una herramienta llamada SolidWorks 2018 que es un software de diseño asistido por computadora (CAD) que permite la creación de modelos 3D precisos de componentes y ensamblajes mecánicos. Entre sus características destacadas se encuentran:

- **Modelado Paramétrico:** Permite la creación y modificación de modelos a través de parámetros definidos, facilitando cambios y ajustes rápidos.

- **Ensamblajes Complejos:** Capacidad para diseñar y ensamblar múltiples componentes, garantizando que las piezas encajen y funcionen correctamente.
- **Simulación y Análisis:** Herramientas integradas para simular y analizar el comportamiento de los diseños bajo diversas condiciones de carga y operativas, utilizando el Método de Elementos Finitos (MEF).
- **Optimización del Diseño:** Identificación de áreas de alta tensión y posibles puntos de fallo, permitiendo ajustes antes de la fabricación del molde.

El diseño de moldes de corte debe considerar factores de seguridad para garantizar la durabilidad y fiabilidad del molde. Según Robert Mott, un factor de seguridad recomendado para este tipo de aplicaciones es de 2.5 a 4. Este rango asegura que el molde puede soportar las cargas operativas sin fallar prematuramente.

El uso de herramientas de modelado digital como SolidWorks 2018 en el diseño de moldes de corte ofrece múltiples ventajas:

- **Precisión:** Mejora la precisión del diseño, reduciendo errores y retrabajos.
- **Eficiencia:** Acelera el proceso de diseño y permite iteraciones rápidas.
- **Costos:** Reduce los costos asociados con prototipos físicos y pruebas, al permitir simulaciones detalladas en el entorno digital.

CAD se define como Diseño Asistido por computadora o Dibujo Asistido por Computadora, siendo un conjunto de aplicaciones que permiten al ingeniero “definir” un producto a producir, pudiendo representar en 2D y 3D, donde la información analítica incluye relaciones geométricas, algebraicas y restricciones, que pueden ser determinadas, mediante superficies cerradas o extrusiones de sólidos, partiéndose de un boceto inicial que colabore con una idea general de lo que se requiere, permitiendo procesar imágenes, archivos de tipo fotográficos, pudiendo rediseñar productos, mediante el uso de sistemas informáticos de tipo hardware y software, donde el SolidWorks han podido establecer referencias en un mercado educativo mundial. (La Cruz & Casariego, 2007).

Metodología

Esta investigación se enfoca en un estudio descriptivo que explica paso a paso el proceso teórico de análisis de la estructura. También se basa en una técnica de investigación acción participativa, cuyo propósito es conectar el enfoque metodológico con el proceso computacional desarrollado por los participantes, incluyendo tanto a especialistas como a técnicos en el área. Esta integración busca superar la tradicional separación entre sujeto y objeto de estudio (Bernal, 2010).

Aunque esta técnica no es científica en el sentido estricto, los resultados se interpretarán desde un punto de vista técnico mecánico utilizando un enfoque de prueba y error. A lo largo del estudio, se monitoreará detalladamente cada paso del procedimiento para identificar el diseño más adecuado para el molde. Este enfoque colaborativo permite formar un equipo de trabajo cohesionado, que evaluará el proceso de análisis de la estructura mediante la comparación de los resultados computacionales y los obtenidos a través de cálculos.

Para llevar a cabo este análisis, se sigue un enfoque sistemático que incluye las siguientes etapas:

Tabla 1

Proceso de modelado

Etapas	Descripción
Especificaciones de la Arandela	Se establecen las dimensiones, tolerancias y materiales específicos de las arandelas automotrices que se fabricarán
Modelado del Molde de Corte en SolidWorks 2018	Utilizando SolidWorks 2018, se modela el molde de corte, considerando todos los componentes y mecanismos necesarios para el proceso de estampado
Análisis y Optimización del Diseño	Se realiza un análisis del diseño del molde utilizando las herramientas de simulación de SolidWorks, evaluando aspectos como el flujo de material, las tensiones en el molde y el desgaste potencial
Validación del Diseño	Se valida el diseño del molde mediante el Método de Elementos Finitos, en función de los resultados obtenidos en el estudio investigativo

Resultados y discusión

El modelado en SolidWorks permitió visualizar y ajustar detalles críticos del diseño del molde, tales como:

- **Distribución de Fuerzas:** La simulación del flujo de material K – 100 seleccionado y la distribución de fuerzas reveló áreas de alta tensión que fueron reforzadas para prevenir el desgaste prematuro del molde.
- **Precisión Dimensional:** El uso de herramientas de medición y tolerancia en SolidWorks garantizó que las dimensiones del molde cumplieran estrictamente con las especificaciones de las arandelas.
- **Optimización del Proceso de Estampado:** Se identificaron y corrigieron posibles problemas de alineación y funcionamiento de los mecanismos del molde, mejorando la eficiencia del proceso de estampado.

Diseño del ensamble de la matriz

Una vez diseñada las piezas de manera individual se procede a realizar un ensamble, utilizando relaciones de posición coincidentes, concéntricas, entre otras, las cuales son de tipo estándar, avanzadas y mecánicas

Obteniendo finalmente como resultado:

Figura 3

Despiece de la Matriz de Corte de Arandela de $\varnothing_{interior}$ 40 mm



Nota. Autores, (2024)

Al analizar la matriz, las placas a troquelar tienen las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior: 66.5 mm
- Diámetro interior: 40 mm
- Espesor de la pieza: 1 mm

Inicialmente se determina:

La fuerza de corte del diámetro menor de la arandela.

Donde:

- e = Espesor: 1 mm
- τ = Límite de Tracción: 400 MPa Material de la Platina – Acero.
- p = Perímetro: 125.66 mm
- F_{c1} = Fuerza de Corte 1

Por lo que la fuerza aplicar es:

$$F_{c1} = \tau * p * e \quad (1)$$

$$F_{c1} = 400 \frac{N}{mm^2} * 125.66 \text{ mm} * 1 \text{ mm} = 50264 \text{ N} = 50.26 \text{ KN} \quad (2)$$

A continuación, se determina la fuerza de corte del diámetro mayor de la arandela.

Donde:

- e = Espesor: 1 mm
- τ = Límite de Tracción: 400 MPa Material de la Platina – Acero.
- p = Perímetro: 208.82 mm
- Fc1 = Fuerza de Corte 2

Por lo que la fuerza aplicar es:

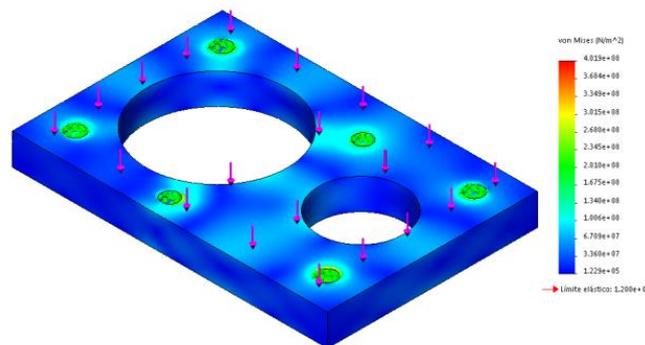
$$F_{c2} = \tau * p * e = 400 \frac{N}{mm^2} * 208.82 \text{ mm} * 1 \text{ mm} = 83528 \text{ N} = 83.52 \text{ KN}$$

Una vez definida la Fuerza se procede a analizar por el Método de Elementos Finitos. Por lo que los resultados y discusión originados son:

Los resultados obtenidos son aceptables, por lo que se puede identificar que en la sección donde genera mayor tensión, según el código de colores es celeste, con un valor promedio de $6.709e+007$ (N/m²), el cual es despreciable.

Figura 4

Análisis de tensiones de la matriz de corte

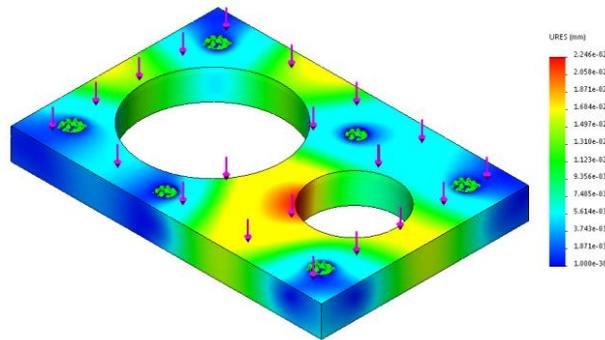


Nota. Autores, (2024)

Los resultados obtenidos son aceptables, por lo que se puede identificar que el mayor desplazamiento originado es de 0.02246 mm.

Figura 5

Análisis de desplazamiento de la matriz de corte

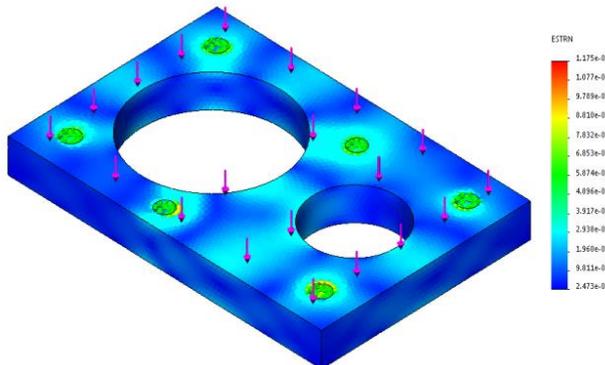


Nota. Autores, (2024)

Los resultados obtenidos al igual que las tensiones son aceptables, por lo que se puede identificar que en la sección donde genera mayor deformación, según el código de colores es celeste, con un valor promedio de 0.0002938.

Figura 6

Análisis de deformaciones de la matriz de corte

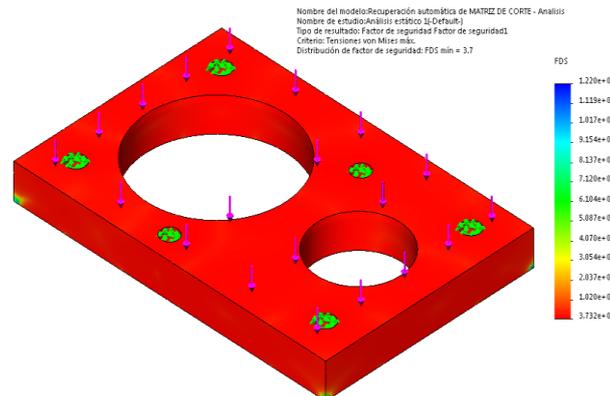


Nota. Autores, (2024)

El factor de seguridad mínimo es de 3.7, el cual según Robert Mott (2006) es útil para diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, el cual recomienda que sea 2.5 a 4, por lo que se da por aceptado el diseño de la matriz de corte.

Figura 7

Análisis del Factor de Seguridad de la matriz de corte



Nota. Autores, 2024

El uso de SolidWorks 2018 en el diseño de moldes de corte para arandelas automotrices demostró ser una herramienta poderosa para mejorar la precisión y eficiencia del proceso de fabricación. La capacidad de simular el comportamiento del molde bajo condiciones reales de uso permite realizar ajustes precisos antes de la producción, reduciendo costos y tiempo de desarrollo.

Conclusiones

La definición precisa de las dimensiones, tolerancias y materiales específicos para las arandelas automotrices es esencial para garantizar la calidad y funcionalidad de los componentes finales. Esta fase inicial permite establecer los parámetros críticos que guiarán el diseño y la fabricación del molde de corte, asegurando que las arandelas cumplan con los requisitos de rendimiento y durabilidad establecidos por la industria automotriz.

El uso de SolidWorks 2018 para modelar el molde de corte ha demostrado ser una herramienta eficaz para visualizar y diseñar cada componente del molde con alta precisión. Este software permite crear modelos detallados que consideran todos los mecanismos necesarios para el proceso de estampado, facilitando la identificación y solución de posibles problemas en la fase de diseño. La capacidad de SolidWorks para manejar ensamblajes complejos asegura que todas las partes del molde encajen y funcionen correctamente desde el inicio.

El análisis del diseño del molde mediante las herramientas de simulación de SolidWorks proporciona una comprensión profunda del comportamiento del molde

bajo condiciones de operación reales. Evaluando el flujo de material, las tensiones en el molde y el desgaste potencial, se pueden realizar ajustes precisos para optimizar el diseño. Esto no solo mejora la eficiencia del proceso de estampado, sino que también prolonga la vida útil del molde, reduciendo costos y tiempos de mantenimiento.

La validación del diseño mediante la comparación con moldes de corte existentes y pruebas de prototipos confirma la precisión y eficiencia del diseño propuesto. Este proceso es crucial para verificar que el molde diseñado en SolidWorks cumpla con los estándares de calidad requeridos y funcione correctamente en un entorno de producción real. La validación también permite identificar y corregir cualquier discrepancia antes de la fabricación en masa, asegurando que las arandelas producidas sean consistentes y de alta calidad.

Analizando el factor de seguridad obtenido para asegurar tanto la durabilidad como la fiabilidad del molde y tomando en cuenta las recomendaciones de Robert Mott, se ha utilizado un factor de seguridad dentro del rango de 2.5 a 4, lo que garantiza que el molde puede soportar las cargas operativas sin fallar prematuramente.

Referencias

- Alvarado, C., Hernández, E., & Montes, A. (2014). *Diseño y fabricación de un troquel progresivo para elaborar una arandela por golpe, Norma DIN 125*. Azcapotzalco: Autor - Editor.
- Archundia, M. (2015). *DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN TROQUEL DE CORTE CON FINES DIDÁCTICOS*. Universitaria: Autor - Editor.
- Alvarado, J., Hernández, P., & Montes, R. (2014). *Fundamentos de la matricería en la industria automotriz*. Editorial Técnica.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (3ª ed.). Pearson Educación.
- BÖHLER. (2013). *K100*.
- Cía. General de Aceros S.A. (2013). *SAE 1020 Y SAE 1045*. Barranquilla.
- Cruz, J. (2015). *AUTOMATIZACIÓN DE UNA TROQUELADORA Y DISEÑO DE UN TROQUEL PARA ARANDELAS DE COBRE*. Riobamba: Autor - Editor.
- IBCA. (2018). *CATÁLOGO DE PRODUCTOS*. Quito: Autor - Editor.
- Meza, G. (2017). *Diseño de una troqueladora para corte de perfiles de aluminio en la empresa OSPINA SAC-HUANCAYO*. Huancayo: Autor- Editor.
- Robert Mott. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Naucalpan: PEARSON EDUCACION.

- Saúl, B. (2007). *Dimensionamiento y construcción de una roladora manual para laboratorio*. Quito: Autor - Editor.
- Shigley, Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico. D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES. S.A. DE C.V.
- García, L., Pérez, J., & Ramírez, M. (2018). *Fundamentos de la Matricería y su Aplicación en la Industria Automotriz*. Editorial Técnica Industrial.
- García, L., Pérez, J., & Ramírez, M. (2018). *Fundamentos de la matricería y su aplicación en la industria automotriz*. Editorial Técnica Industrial.
- Mott, R. (2017). *Machine Elements in Mechanical Design* (6ª ed.). Pearson.
- Smith, J., & Brown, A. (2016). Advances in 3D modeling for automotive manufacturing. *International Journal of Automotive Engineering*, 34(2), 123-135.
<https://doi.org/10.1016/j.ijae.2016.02.003>
- Dassault Systèmes. (2018). *SolidWorks 2018: Fundamentals of 3D Design and Engineering*. Dassault Systèmes.
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 2768-1: General tolerances - Part 1: Tolerances for linear and angular dimensions without individual tolerance indications*. ISO.
- Rodríguez, M. (2019). *Diseño de moldes de corte para arandelas automotrices utilizando SolidWorks* (Tesis de maestría). Universidad Tecnológica de Monterrey, México.
- Society of Automotive Engineers. (2020). *Standards and Publications*. Recuperado de <https://www.sae.org/standards>