

Rehabilitación de una máquina troqueladora JUNDIAI modelo EL25M26 Rehabilitation of a JUNDIAI die-cutting machine model EL25M26

Á. D. García Montaña ^a, V. López Ramírez ^a, J. L. Rodríguez Muñoz ^{a*}, J. S. Pacheco Cedeño ^a,
V. Rodríguez Lugo ^b, C. E. Borja Soto ^a

^aLicenciatura en Ingeniería Mecánica, Escuela Superior de Ciudad Sahagún, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad Sahagún, Carretera Cd. Sahagún-Otumba s/n, Zona Industrial, CP 43998 Hidalgo, México.

^bÁrea Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5, Pachuca de Soto, Hidalgo 42184, México.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo rehabilitar una máquina troqueladora JUNDIAI modelo EL25M26, la cual cuenta con varios años sin funcionamiento dentro del Taller de Manufactura de la Escuela Superior de Ciudad Sahagún. Para tal efecto, se realizó una inspección visual de la máquina para determinar los componentes que se encuentran en mal estado con el objetivo de realizar el mantenimiento correctivo correspondiente, así como llevar a cabo la lubricación de los principales componentes de la máquina. Por otra parte, se realizó el diseño y fabricación de diferentes punzones, a los cuales se les aplicó un tratamiento térmico para aumentar su dureza y se realizaron las pruebas de punzonado. Derivado del mantenimiento correctivo realizado a la máquina se efectuaron 100 pruebas de punzonado para garantizar que la troqueladora funcione correctamente. Finalmente, los punzones alcanzaron una dureza de entre 15-28 Rockwell C (HRC) y se encontró que los punzones son capaces de perforar láminas de Aluminio 6061-T6 de aproximadamente 6 mm de espesor.

Palabras Clave: Troqueladora, diseño, punzones, dureza, espesor.

Abstract

The objective of this work is to start-up a JUNDIAI model EL25M26 die-cutting machine, which has been out of service for several years within the Manufacturing Laboratory of Escuela Superior de Ciudad Sahagún. For this purpose, firstly, a visual inspection of the machine was performed to identify the components that need corrective maintenance, as well as those that require proper lubrication. In addition, different punches were designed and manufactured, which a heat treatment was applied to increase their hardness, and die cutting tests were conducted. After performing corrective maintenance on the machine, 100 die tests were conducted to ensure that the die-cutting machine was operating properly. Finally, the punches reached a hardness between 15-28 Rockwell C (HRC), which can cut sheets of Aluminium 6061-T6 of approximately 6 mm thickness.

Keywords: Die cutting, design, punches, hardness, thickness.

1. Introducción

Las máquinas troqueladoras comenzaron a existir a mediados del siglo XIX, estas eran utilizadas específicamente para cortar cuero para la fabricación de zapatos. Sin embargo, a paso del tiempo las troqueladoras se fueron incorporando a las industrias para cortar una amplia variedad de materiales como papel, tela, goma, láminas de metal y espuma, hoy en día estas máquinas se utilizan para la fabricación automotriz entre otros (Metalmecánica, 2024).

Las troqueladoras o mejor conocidas como prensas mecánicas, son máquinas las cuales acumulan energía mediante un volante de inercia que transmite movimiento de un mecanismo a una matriz o troquel mediante un sistema de biela-manivela accionada por un motor eléctrico, la fuerza que genera esta prensa va variando a lo largo de su recorrido de su funcionamiento, cuando más próximo este al punto PMI (Punto Muerto Inferior) mayor será la fuerza aplicada. Esta máquina tiene como finalidad deformar o cortar de manera permanente un material mediante la aplicación de una carga. Dichas

*Autor para la correspondencia: jose_rodriguez@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: ga464936@uaeh.edu.mx (Ángel Daimar García Montaña), lo465484@uaeh.edu.mx (Vicente López Ramírez), jose_rodriguez@uaeh.edu.mx (José Luis Rodríguez Muñoz), sergio_pacheco@uaeh.edu.mx (José Sergio Pacheco Cedeño), ventura.rl65@gmail.com (Ventura Rodríguez Lugo), carlos_borja@uaeh.edu.mx (Carlos Ernesto Borja Soto).

máquinas están construidas con materiales robustos que resisten el desgaste, ya que permiten manejar elementos duros como el acero, el aluminio y el cobre sin perder su eficiencia (Groover, 2007). Además, para su correcto funcionamiento, las troqueladoras utilizan varios tipos de mecanismos de transmisión, entre ellos se encuentran, los mecanismos excéntricos, los de eje de cigüeñal y los de junta de bisagra, los cuales transforman el movimiento rotativo del motor en el movimiento lineal necesario para el prensado. Para que la troqueladora realice su función, es necesario el uso de un punzón, el cual es esencial en la producción en masa, principalmente para piezas metálicas repetitivas y de alta precisión. Dicho proceso de troquelado implica el uso de matrices, que son responsables de cortar, perforar y deformar las piezas metálicas para obtener la forma deseada (Dibumet, 2021).

Cabe mencionar que el proceso de troquelado en la industria manufacturera juega un rol esencial durante la fabricación de piezas metálicas, ya que este proceso es el encargado de deformar o perforar las piezas metálicas en base a las especificaciones solicitadas por el cliente. Se trata de un proceso en el cual se utiliza un punzón y una taza para generar orificios y cortes proporcionando una respuesta más eficiente a la producción en serie. Basado en lo anterior, Barrientos (2022) realizó el diseño de una troqueladora para fabricar los soportes de los muelles de semirremolques. Para el diseño empleó el software SolidWorks y la simulación la efectuó con la ayuda del método de elementos finitos, con el objetivo de validar el modelo y la eficiencia de la máquina. Para llevar a cabo la fabricación de la máquina, primera mente, inició con la selección de materiales, seleccionando un acero AISI 51B60 para el punzón y las matrices, mientras la estructura fue fabricada de acero AISI 1020, determinando que la máquina es capaz de perforar una placa metálica de 7.9 mm de espesor. Gamboa Santana (2016) realizó el diseño de una máquina troqueladora lineal para optimizar el corte de cuero en la fábrica de calzado deportivo. Como resultado, el autor desarrolló un diseño técnico con cálculos detallados y un análisis económico para evaluar su viabilidad. Finalmente, realizó un reporte para el proceso de construcción y ensamblaje, asegurando un diseño eficiente y funcional. Mariza Zamora (2019) se centró en el diseño y la construcción de una troqueladora compuesta por un punzón y una matriz. Para que esta pueda funcionar correctamente, se le incorporó un sistema eléctrico-neumático con una unidad y una estructura de soporte en acero estructural ASTM A500 para garantizar estabilidad y resistencia a las fuerzas externas. Tras realizar los cálculos y pruebas experimentales, se seleccionaron cuidadosamente los materiales y componentes adecuados para optimizar el desempeño de la máquina, ya que durante las pruebas se concluyó que la troqueladora permite lograr una reducción significativa en el tiempo de trabajo, en comparación del proceso manual, validando así su eficiencia y utilidad. Borja Soto et al. (2025) detalló el proceso de fabricación de arandelas planas de acero 316L mediante el proceso de troquelado empleando una prensa con capacidad de 4000 kgf (4 toneladas). El diseño y análisis mecánico de los troqueles fue realizado en SolidWorks 2016, donde se confirmaron que los esfuerzos generados en los punzones no superaban su límite elástico, garantizando así su resistencia y funcionalidad y la producción adecuada de las arandelas mediante trabajo en frío. Ortiz (2018) implementó un prototipo

automatizado en una troqueladora para la fabricación de llaveros de cuero aprovechando la energía del aire comprimido mediante cilindros neumáticos. El trabajo fue enfocado en optimizar la producción y reducir los tiempos en los procesos de troquelado ayudando significativamente a mejorar la productividad y uniformidad en la fabricación de los llaveros. Tipán Guijarro (2009) se enfocó en mejorar la seguridad en una troqueladora de la planta Ecuamatrix. Para ello, se realizó un estudio general de la máquina troqueladora TR-100, debido a su historial de accidentes y su alta frecuencia de uso y se identificó que la mayoría de los accidentes ocurren por descuido. Como solución, se diseñó e implementó un sistema de seguridad con un sensor que detecta la presencia de manos, evitando que la máquina funcione en caso de riesgo. Además, se analizó la mejor ubicación para el sensor y se seleccionaron los materiales adecuados dentro del presupuesto disponible.

Como se mencionó en trabajos previos, el uso de troqueladoras es esenciales en diferentes procesos industriales para cortar, plegar, perforar y dar forma a diferentes tipos de materiales. Por tal motivo, el presente trabajo tiene como objetivo poner en marcha la máquina troqueladora JUNDIAI modelo EL25M26, la cual cuenta con varios años sin funcionamiento dentro del Taller de Manufactura de la Escuela Superior de Ciudad Sahagún. Para esto, se realizó una inspección visual de la máquina para determinar los componentes que requieren de mantenimiento preventivo y correctivo para su correcta labor. Posteriormente, se diseñaron y fabricaron los componentes necesarios para perforar las láminas, diseñando la base, porta tazas y los punzones mediante el uso de SolidWorks. Finalmente, se fabricaron cada uno de los componentes, se les aplicaron los tratamientos térmicos correspondientes y se realizaron las pruebas experimentales para determinar su viabilidad.

2. Descripción de la máquina troqueladora

En la Figura 1 se observa la máquina troqueladora JUNDIAI, modelo EL25M2, la cual cuenta con una capacidad de 25 toneladas y se encuentra ubicada en el Taller de Manufactura de la Escuela Superior de Ciudad Sahagún. Como se muestra en la figura, la troqueladora está constituida por los siguientes componentes principales: volante de inercia (1), el sistema de ajuste del punzón (2), cabezal y punzón (3), mesa de trabajo (4), penal de accionamiento (5), motor de transmisión (6) y biela o brazo excéntrico (7).

El volante de inercia se encarga de almacenar la energía y transmitirla al mecanismo general de la troqueladora, cuyo movimiento de este es esencial para poner en funcionamiento el sistema. Por otra parte, la biela o brazo excéntrico se encarga de conectar el volante con el punzón y convertir el movimiento giratorio del volante en movimiento lineal para ejercer la presión necesaria sobre el material que se va a punzonar, mientras el cabezal y punzón son los encargados de realizar el movimiento hacia abajo para presionar el punzón contra la taza y así generar una perforación o estampado sobre el material. Además, la mesa de trabajo es empleada para colocar el material con el que se va a trabajar, en la cual se incluyen algunas ranuras que ajustan los troqueles y el porta taza, lugar donde se carga el peso de la máquina y absorbe todas las vibraciones que esta genera al troquelar. Finalmente, el motor de transmisión y el sistema de ajuste son los encargados de

proporcionar toda la energía necesaria para mover el volante de inercia y calibrar la máquina de acuerdo a las dimensiones de los punzones.

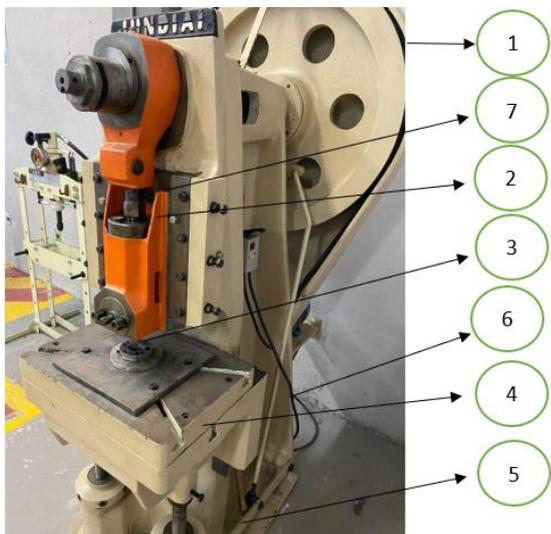


Figura 1. Máquina troqueladora JUNDIAI-EL25M26 y sus principales componentes. Fuente: Elaboración propia.

La importancia de trabajar con este tipo de máquinas troqueladoras es que transforman el giro del motor en un movimiento lineal que impulsa el pistón. En el conjunto troquelado, el punzón y el troquel se montan en dos puntos claves: la zapata superior, que sostiene el punzón, y la zapata inferior, que sujeta la matriz. Para poder garantizar la aleación correcta durante el proceso de troquelado, el sistema incorpora barras guía y bujes. Por otra parte, la zapata inferior se fija a la base de la prensa, mientras que la zapata superior se conecta al pistón. Con cada movimiento del pistón, acciona el prensado, permitiendo que la operación se realice con precisión y eficacia. Además de estos elementos, un troquel del corte o punzonado necesita un mecanismo que evite que las láminas se queden pegadas al punzón cuando este regresa hacia su punto inicial después de cortar. Por ende, los troqueles se pueden clasificar según la forma en que procesas el material. El más sencillo es el troquel simple, que realiza una sola operación con cada golpe de la prensa como el presentado en el presente trabajo. Sin embargo, existen troqueles más avanzados que permiten mayor eficiencia en la producción, como los troqueles compuestos, combinados y progresivos, aunque los costos son más elevados en comparación con los troqueles simples (Meza Meza, G. A. (2017). Además, para que la máquina troqueladora funcione adecuadamente, es recomendable emplear los siguientes lubricantes:

- ✓ ALVANIA EP1 (Shell), la cual son grasas a base de hidroxistearato de litio alternamente adherentes, resistentes al agua y efectivas en un amplio rango de temperatura, gracias a sus aditivos de presión extrema, son ideales para cojinetes, equipos expuestos al agua o altas temperaturas, sistemas centralizados y aplicaciones con pistola. Su rango de operación va de -35°C a 130°C.
- ✓ CARDIUM COMPOUND (Shell) son lubricantes constituidos por bituminosas con alta viscosas y adherencia, formando películas lubricantes gruesas y

resistentes a carga y choques. Además, son ideas para lubricar engranajes expuestos y cables de acero en condiciones de trabajo pesado.

- ✓ VITREA 100 (Shell), los cuales son aceites minerales puros, de base parafínica que son refinados con tecnología avanzada para garantizar alta calidad. Ideales para la lubricación de rodamientos y cajas de engranajes, destacan por su resistencia a la oxidación y su excelente desempeño en sistemas centralizados o de lubricación por baño.

En la Figura 2 se muestran los principales componentes que requieren de lubricación para el correcto funcionamiento de la máquina troqueladora, los cuales incluyen: guías, bielas, bujes, volante, engranes y rodamientos, marcados (1), tornillo esférico y caja de transmisión (2) y engrane del volante de inercia (3). En la Tabla 1 se muestran los tres tipos de lubricantes comúnmente empleados en las máquinas troqueladoras.

Tabla 1. Tipos de lubricantes empleados en troqueladoras. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de Lubricante	SHELL	ESSO	PETROBRAS
1	Alvania EP1	Beacon EP1	Lub. Ind. GMA 1-EP
2	Vitrea 100	Nuray 100	Lub. Ind. CL-60
3	Cardium compound	Surett U 80-K	Lub. Ind. GBA-300

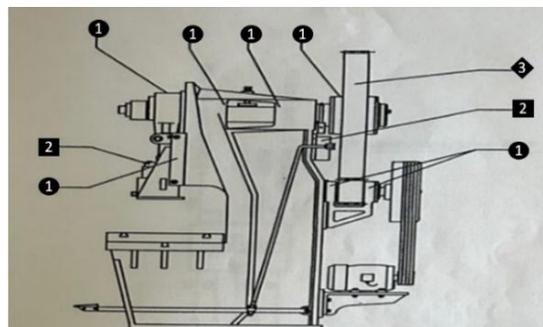


Figura 2. Puntos de lubricación de la máquina JUNDIAI-EL25M26 troqueladora. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se indican los puntos de lubricación de la troqueladora, la frecuencia o tiempos establecidos, así como el método de aplicación. De la tabla se puede observar que la lubricación para las guías, biela y buje del cuerpo se debe aplicar entre 4 y 8 horas de operación de la máquina. Sin embargo, los componentes con mayores horas de operación son el volante y codo, cuyos tiempos determinados para su lubricación son del 1200 horas y 600 horas, respectivamente. Para realizar el proceso de lubricación en el rodamiento, este se debe efectuar con pistola, el tornillo esférico se engrasa con a lmotolia cada 50 horas, el engranaje se lubrica con pincel cada 200 horas, mientras que las guías y biela requieren ser engrasado manualmente o usando un sistema automático.

Tabla 2. Puntos de lubricación en la máquina troqueladora. Fuente: Elaboración propia.

Puntos de lubricación	Tipo de Lubricante	Frecuencia	Aplicación
Guías	1	4h	C/Pistola
Biela		8h	
Buje		8h	
Volante/Engrane		1200h	
Rodamientos		600h	
Tornillo	2	50h	Almotolia
Esferico			
Caja de transmisión			
Engrane del volante	3	200h	C/Pincel

Debido a que la máquina no encendía, se procedió a realizar una inspección visual para revisar si la causa se debía a un componente eléctrico del motor. En primera instancia, se observó que la clavija estaba dañada y los polos estaban quebrados, por lo que se procedió a realizar el mantenimiento correctivo a la clavija, como se muestra en la Figura 3. Como se muestra en la figura, los cables blanco, verde y negro corresponden a las líneas L1, L2 y L3, mientras la tierra, está indicada por medio de la letra G.

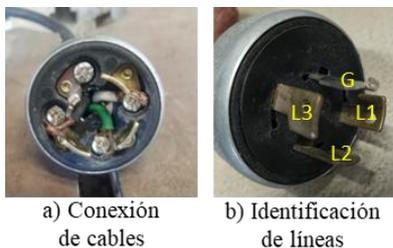


Figura 3. Mantenimiento correctivo a clavija del motor eléctrico: a) Conexión de cables y b) Identificación de líneas. Fuente: Elaboración propia.

Una vez corregido dicho problema, se procedió a conectar la máquina a la fuente de alimentación y se encendió el equipo, sin embargo, se pudo observar que la máquina no funcionaba de forma correcta, lo cual se debió a que el motor se encontraba conectado a un voltaje de 380 V. Posteriormente, se procedió a conectar el motor a un voltaje de 220V, para tal caso, primeramente, se deben de identificar las terminales y colores correspondientes basados a la configuración del diagrama eléctrico mostrado en la Figura 4. Como se puede apreciar, el diagrama cuenta con 12 terminales, donde cada terminal indica el tipo de conexión en el motor y voltaje utilizado, esto quiere decir que L1 se refiere a la fase 1, L2 a la fase 2 y L3 a la fase 3, de tal manera que la conexión a 220V debe seguir el siguiente cableado:

- 4-10-8-2 (L1)
- 11-5-9-3 (L2)

- 12-6-7-1 (L3)

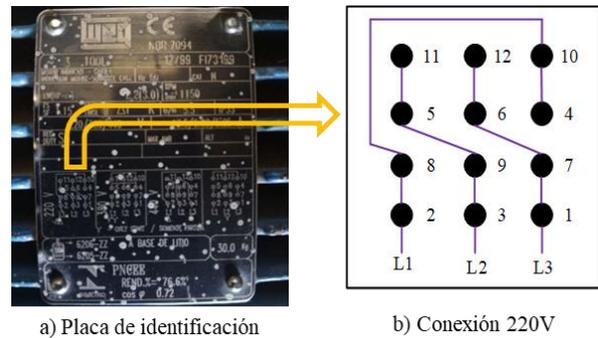


Figura 4. Cableado del motor eléctrico: a) Placa de identificación y b) Conexión 220V. Fuente: Elaboración propia.

Al realizar dicha configuración, el motor eléctrico quedará conectado a 220V, aunque también se debe de verificar los puntos de puesta a tierra para lograr una correcta conexión y funcionamiento del motor. En la Figura 5 se muestra la conexión del cableado del motor.



Figura 5. Conexión del motor a 220 V. Fuente: Elaboración propia.

2.1. Diseño de punzones

El diseño de los punzones fue realizado con la ayuda del software SolidWorks. Para realizar el presente trabajo, cinco punzones fueron diseñados tomando en consideración las siguientes dimensiones: a) 7.65 mm, b) 6.23 mm, c) 11.48 mm, d) 12.38 mm y e) 14.24 mm, los cuales van acompañados de sus tazas con su respectiva cavidad de hendidura, donde el material es retirado. Es importante mencionar que la taza y porta tazas van sujetadas a la mesa de la troqueladora, la cual cuenta con 40 mm de diámetro y una altura de 21.30 mm, por lo que el diámetro de la taza va cambiando dependiendo del tipo de punzón que se requiera utilizar. En la Figura 6 se muestran los tipos de punzones y tazas empleados en la troqueladora, así como sus respectivos diámetros, los cuales para una fácil identificación fueron etiquetados con las letras A (6.23 mm), B (7.65 mm), C (11.48 mm) y D (11.48 mm). Cabe mencionar que los punzones y las tazas fueron maquinados por medio de un torno CNC TL2 de Haas acorde a las dimensiones mencionadas previamente.

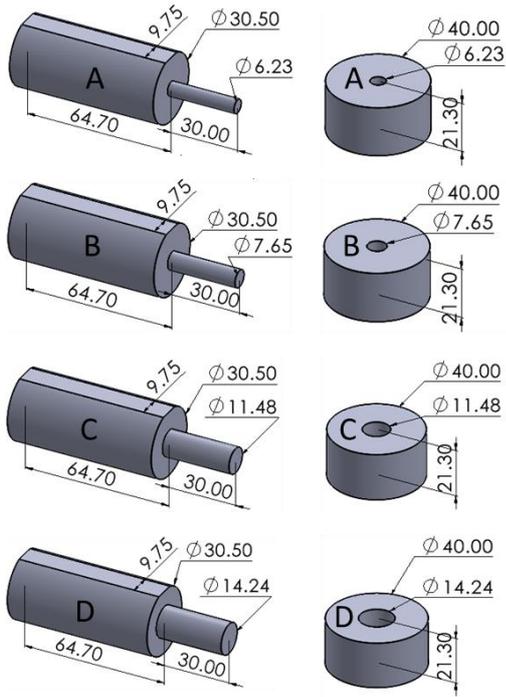


Figura 6. Tipos de punzones y tazas empleados en la troqueladora: a) 6.23 mm, b) 7.65 mm, c) 11.48 mm y d) 14.24 mm. Fuente: Elaboración propia.

2.2 Cálculo de la fuerza de punzonado

Los punzones suelen llevarse a cabo en aceros dulces o de baja aleación, por lo que la fuerza requerida en los materiales debe ser de mayor resistencia, para que al momento de punzonar estos no presenten dificultades, como deformaciones de material, desgaste de la matriz, desalineación, fuerza excesiva, etc. Para realizar el cálculo de la fuerza de punzonado de un troquel, es necesario conocer el proceso que se llevará a cabo, ya que esto dependerá del tamaño y el tonelaje de la prensa, para lo cual es necesario emplear la siguiente expresión:

$$F = \tau L \tag{1}$$

Donde, F representa la fuerza de punzonado en Newtons, T la resistencia del material al corte en MPa, mientras τ y L representan es el espesor del material y la longitud del borde de corte en metros. Estas fuerzas son requeridas para poder fundamentar un proceso de punzonado o de estampado de los materiales. Por lo que estas fuerzas permiten que el punzón pueda ejercer una presión sobre el material, hasta que este pueda alcanzar una deformación o el corte requerido. Para tal efecto, es necesario conocer la fuerza requerida para troquelar, esto ayudará a mantener la integridad del punzón, sin embargo, esto también garantiza un corte limpio y preciso utilizando la fuerza correcta para llevar a cabo una producción eficiente y se puedan evitar desgastes prematuros en los componentes de la máquina.

Por otro lado, si se tiene en cuenta la influencia de las geometrías usadas en diferentes perímetros, la fuerza de corte también puede ser calculada por medio de la ecuación 2:

$$F = LtS \tag{2}$$

Donde, F es la fuerza requerida en Newtons o toneladas, L es el perímetro del corte en metros o milímetros, t es el espesor del material en metros o milímetros y S es la resistencia del corte del material en Pa o N/mm². En la Figura 7 se ilustran los diferentes tipos de geometrías y los perímetros empleados para diferentes tipos de punzones. Para el caso de punzones redondos, el perímetro se puede se calculado por medio de la ecuación 3, donde A representa el diámetro del punzón en metros o milímetros.

$$L = \pi A \tag{3}$$

Forma	"A" Dimensión referencial para el tamaño.	"L" Perímetro del punzón
Redonda	A = Diámetro	L = 3.14 x A
Cuadrada	A = B x 1.414	L = 4 x B
Rectangular	A = $\sqrt{(B^2 + C^2)}$	L = 2 x (B + C)
Ovalada	A = C	L = 2C + 1.14B
Rectangular / Ovalada	A = $\sqrt{(B^2 + C^2)}$	L = 2C + 1.57B
Triángulo o equilatero	A = 1.334 x C	L = 3 x B
Cuadrada / Chafflan	A = Diámetro	L = (aprox.) 3.14 x A
Hexagonal	A = 1.155 x B	L = 3 x A

Figura 7. Perímetro de diferentes tipos de punzones. Fuente: Elaboración propia.

Debido a que se conoce la capacidad de la máquina troqueladora, por ende, es necesario realizar el cálculo del espesor necesario del material que se desea perforar, por lo tanto, de la expresión 2 se puede obtener el espesor del material, el cual puede ser calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$t = \frac{F}{LS} \tag{4}$$

Por lo tanto, para conocer el espesor de un acero inoxidable, se debe conocer la fuerza que la troqueladora va aplicar al material, para este caso la fuerza es de 196.13 kN. Considerando un perímetro de corte de 11.709 mm y una resistencia de corte de 450 N/mm², el espesor máximo (t) que la troqueladora puede perforar es obtenido de la siguiente forma:

$$t = \frac{196.13 \text{ kN}}{(11.709 \text{ mm}) \left(450 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)}$$

$$t = 3.72 \text{ mm}$$

En la Tabla 3 se muestra la resistencia de corte y el espesor para cinco diferentes tipos de materiales, considerando que se aplica a cada uno de ellos una fuerza de 196.13 kN. Los resultados muestran que la máquina troqueladora es capaz de perforar una lámina de aluminio con un espesor máximo de 5.98 mm, mientras al considerar una lámina de acero al carbono, el máximo espesor de corte es de 3.35 mm.

Tabla 3. Espesores máximos en cada uno de los punzones empleando ecuación 2. Fuente: Elaboración propia.

Material	Resistencia al corte (S)	Espesor (t)
Cobre	320N/mm ²	5.23 mm
Acero al carbono	500 N/mm ²	3.35 mm
Aluminio 6061-T6	280 N/mm ²	5.98 mm
Acero Inoxidable	450 N/mm ²	3.72 mm
Acero galvanizado	460 N/mm ²	3.64 mm

Otro método para calcular el espesor del material, es empleando la ecuación 5:

$$Ton = P \times E \times D \quad 5$$

Donde, Ton= Toneladas necesarias para efectuar el punzón, el término P se refiere al perímetro del agujero a perforar en mm, E es el espesor del material a punzonar en mm, D la dureza del material en kg/mm². Al despejar el espesor del material de la ecuación 6, esta queda expresada como sigue:

$$E = \frac{Ton * 1000}{PD} \quad 6$$

Para realizar el cálculo se utilizará la carga de la máquina troqueladora JUNDIAI, por lo que tienen una capacidad de 25 toneladas y se considerará que opera al 80%, con un perímetro de 11.709 mm y una dureza de 45 kg/mm², por lo tanto, el espesor se determina a continuación:

$$E = \frac{20 \cdot 1000}{(11.709) \left(450 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}\right)}$$

$$E = \frac{20,000}{(11.709) \left(450 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}\right)}$$

$$E = 3.79 \text{ mm}$$

De la Tabla 4 se puede observar que el espesor del material a cortar depende en gran medida del tipo de dureza que contiene cada uno de los punzones. Comparando los valores con aquellos de la Tabla 3, se puede observar que estos son muy similares entre sí, para el caso del cobre, se tiene una diferencia de 0.1 mm, mientras para el acero al carbono, aluminio 6061-T6, acero inoxidable y acero galvanizado, la diferencia del 0.06 mm, 0.12 mm, 0.07 mm y 0.07 mm, respectivamente. Lo anterior representa una desviación del 1.91% para el acero, 1.79% para el acero al carbono, 2.00% para el aluminio 6061-T6, 1.88% para el acero inoxidable y 1.92% para el acero galvanizado.

Por otra parte, no es recomendable usar la carga máxima de la troqueladora, por lo que esta puede presentar desgastes en los componentes de la máquina, como el bastidor, cigüeñal y los cojinetes. Si esta carga se trabaja constantemente en el límite de operación de la máquina, puede presentar deformaciones permanentes en la estructura de la máquina. Por lo que es recomendado trabajar debajo del 80% de su capacidad máxima, para que pueda hacer un trabajo seguro y prolongado al maquinar, y también para evitar fallos y desgastes excesivos de la máquina.

Tabla 4. Espesores máximos obtenidos en cada punzón empleando ecuación 2. Fuente: Elaboración propia.

Material	Resistencia al corte (S)	Espesor (t)
Cobre	320N/mm ²	5.33 mm
Acero al carbono	500 N/mm ²	3.41 mm
Aluminio 6061-T6	280 N/mm ²	6.10 mm
Acero inoxidable	450 N/mm ²	3.79 mm
Acero galvanizado	460 N/mm ²	3.71 mm

2.2.1 Composición química del material

Los punzones para troqueles generalmente son fabricados con aceros de alta aleación (aceros S1, O1, S5, S7, 408 y D2), los cuales ofrecen una excelente combinación de tenacidad y resistencia al desgaste. También se utilizan carburo de tungsteno en algunos casos, especialmente cuando se requiere alta dureza y resistencia al desgaste. Para el caso particular del presente trabajo, se empleó un acero O1 debido a que es menos costoso en comparación con los aceros S1, S5, S7, 408 y D2.

El cálculo de la composición química del acero O1 ayudará a controlar su calidad, así como la correcta fabricación de los punzones empleados en la troqueladora. Dicha composición química está relacionada con sus propiedades físicas, ya que su estructura química permitirá de alguna manera determinar su dureza, fragilidad, etc. Uno de los equipos empleados para determinar la composición química de los materiales, es un espectrómetro de emisión óptica, el cual funciona vaporizando la muestra con una chispa eléctrica, creando un plasma que emite luz característica. Esta luz se analiza para identificar y cuantificar los elementos presentes. En la Figura 8 se muestra el espectrómetro portátil tipo SPECTROPORT empleado para analizar la composición química de los punzones.



Figura 8. Espectrómetro tipo SPECTROPORT empleado para determinar composición química en los punzones. Fuente: Elaboración propia.

corrosión, aunque puede tener posible riesgo de fragilidad en condiciones extremas.

3. Tratamiento térmico

Se realizó un tratamiento térmico de temple a los punzones para mejorar sus propiedades mecánicas como la dureza y la resistencia al desgaste, por medio de una mufla marca Felisa modelo FE-340, la cual opera a un voltaje 120 V-60 Hz, una potencia de 1500 W y una temperatura máxima de 1100°C. Para llevar a cabo el proceso de temple, primeramente, se calienta la muestra hasta los 900°C (Figura 9a), donde se mantuvo durante un tiempo de 30 minutos para después sacarlo de la mufla (Figura 9b) y enfriarlo de manera rápida en aceite (Figura 9c). Este enfriamiento rápido genera una transformación en la estructura del acero, formando martensita, que es aquella fase extremadamente dura, lo cual ayuda a evitar y reducir el riesgo de la generación de grietas o deformaciones.

Para poder efectuar dicho procedimiento, primeramente, se calibra el equipo empleando un patrón y posteriormente se realizan las pruebas correspondientes a cada material. En la Tabla 5 se muestra la composición química para los cuatro tipos de punzones empleados en el presente trabajo. Los resultados muestran que los punzones B y C presentan similar composición, mientras los punzones A y D presentan variaciones significativas en la cantidad de carbono, manganeso, cromo y cobre. La diferencia en la composición química puede reflejar variaciones en las propiedades mecánicas, la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión y a la facilidad del procesamiento de los punzones.

Tabla 5. Composición química de los diferentes punzones. Fuente: Elaboración propia.

Elemento	Punzón A	Punzón B	Punzón C	Punzón D
C (%)	0.60	0.73	0.70	0.189
Si (%)	0.272	0.286	0.299	0.36
Mn (%)	0.81	0.77	0.78	0.68
P (%)	0.0103	0.0137	0.0145	0.0154
S (%)	0.0186	0.0072	0.0058	0.0176
Cr (%)	0.186	0.137	0.135	0.100
Mo (%)	0.041	0.0231	0.0209	0.0249
Ni (%)	0.104	0.072	0.064	0.062
Cu (%)	0.300	0.128	0.129	0.113
Sn (%)	0.0126	0.0053	0.0056	0.0051

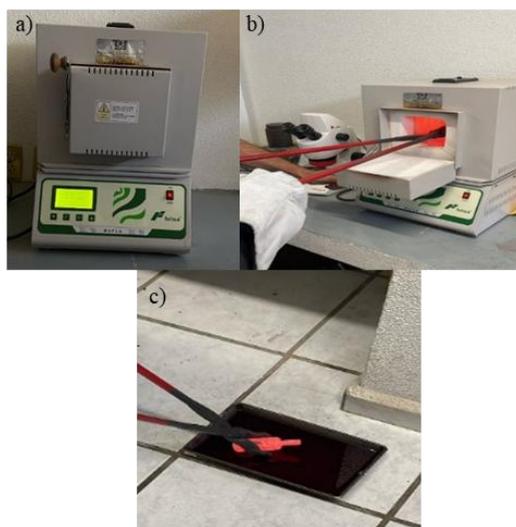


Figura 9. Proceso de temple aplicado a los punzones: a) Calentamiento, b) Extracción del punzón y c) Enfriamiento en aceite. Fuente: Elaboración propia.

Los punzones que tienen mayor porcentaje de cobre, tienen a aumentar la dureza y su resistencia mecánica, además reducen la ductilidad y su tenacidad. El Silicio ayuda a incrementar la resistencia a la oxidación y la resistencia a la fatiga, así como al desgaste térmico. Mientras el Manganeso, tiende a mejorar la templabilidad, la resistencia al desgaste y aumenta su tenacidad. Con lo que respecta al fosforo, este aumenta la dureza en la superficie del material, reduce la

4. Pruebas de dureza.

La dureza es una propiedad mecánica fundamental que indica la resistencia de un material a la deformación permanente, ya sea por indentación, rayado o desgaste. Esta propiedad se evalúa en diversas industrias para garantizar la calidad y el rendimiento de los materiales (ASTM International, 2019). Existen varios métodos de medición de la dureza: Dureza Brinell: Se determina mediante la presión de una esfera de acero o carburo de tungsteno sobre el material con una carga específica. La dureza se calcula dividiendo la carga aplicada por el área de la huella dejada (ASTM International, 2019). Dureza Vickers: Utiliza un penetrador de diamante en forma de pirámide y requiere la medición óptica de la huella resultante, lo que permite evaluar materiales con alta precisión (ASTM International, 2019). Dureza Rockwell: Se basa en la profundidad de penetración de un cono de diamante o una bola de acero bajo una carga aplicada en dos etapas: una carga menor y una carga principal (ASTM International, 2020). Dentro de la escala Rockwell, la escala HRC (Rockwell C) es ampliamente utilizada para materiales

duros, como aceros templados, Esta escala es la que se utilizó para hacer las pruebas de dureza a los punzones después de haber recibido su tratamiento térmico. Para realizar estas pruebas se utilizó un durómetro Hoytom Super Rockwell - Duplex 713-SR (Figura 10.), el cual permite realizar ensayos en diferentes escalas como son: ensayo Rockwell normal (10/60/100/150 kg) y superficial (3/15/30/45 kg), Brinell (31.25/52.5/187.5 kg) y Vickers (10/30/60/100).



Figura 10. Durómetro Hoytom Super Rockwell - Duplex 713-SR. Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente se utilizó la escala de dureza Rockwell C (HRC) para hacer las pruebas de dureza, en estas se utilizó un penetrador de diamante en forma de cono y se le aplicó una carga de 150 kg fuer para posteriormente leer el valor de dureza. Para evaluar la precisión en las mediciones de dureza en cada uno de los punzones, se repitió la medición cinco veces y los resultados obtenidos son mostrados en la Tabla 6. Los resultados muestran que los valores más altos de dureza se obtienen con los punzones B y C, alcanzando valores de hasta 28.8 HRC, mientras los menores resultados se obtienen con los punzones A y D, cuyos valores máximos son 20 y 16.8 HRC, respectivamente. Por otra parte, en promedio, la dureza del punzón A es de 19.56 HRC, la del punzón B es de 26.60 HRC, mientras en promedio, la dureza para los punzones C y D fue de 26.42 HRC y 15.72 HRC, respectivamente. Esto significa que el punzón A en promedio es 35.99% y 35.07% menor que la dureza obtenida por los punzones B y C. Sin embargo, al comparar la dureza promedio del punzón B respeto a la dureza del punzón D, esta fue menor en 19.63%.

los punzones A y D presentan en promedio 1.35 veces menor dureza en comparación con el punzón B y C. Al compararlo con el punzón D, esta fue 19.61% superior.

Tabla 6. Valores de dureza HRC obtenidas para los diferentes tipos de punzones. Fuente: Elaboración propia.

A	B	C	D
19.9	25.6	24.6	15.97
19.9	25.9	28.8	15.85
20.0	28.1	26.5	15.5
19.3	28.8	27.8	16.8

18.7 24.6 24.4 14.5

5. Resultados de las pruebas

Para realizar las pruebas de punzonado, lo primero que se debe de hacer es colocar las herramientas correctas a la maquina troqueladora como el punzón, la taza, y la porta punzón como se muestra en la Figura 11.

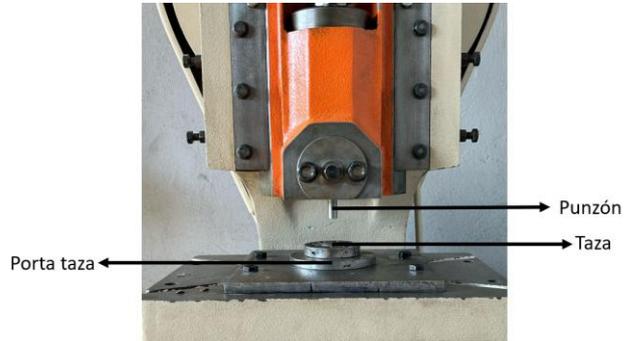


Figura 11. Ubicación de la Taza, Punzón y Porta taza en la máquina troqueladora. Fuente: Elaboración propia.

Una vez colocados los materiales, se procedió a seleccionar una lámina de acero al carbono de 3.2 mm de espesor. Posteriormente, se llevaron a cabo cinco pruebas utilizando los diferentes punzones, las cuales se muestran en la Figura 12. Los resultados muestran que la troqueladora funciona adecuadamente, permitiendo realizar las perforaciones en función del diámetro del punzón.

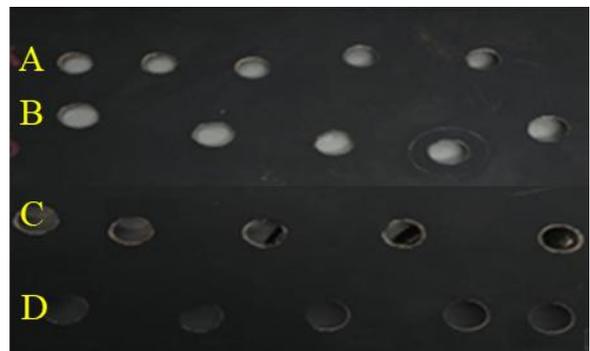


Figura 12. Pruebas de troquelado empleando los diferentes tipos de punzones. Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones

Derivado del estudio se pudo determinar que uno de los problemas que ocasionaron que la máquina no funcionara correctamente, es el deterioro de la clavija y la mala conexión en el motor. También, se pudo determinar que era necesaria una correcta lubricación y engrasado de los principales componentes para tener un adecuado funcionamiento y prolongar la vida útil de la máquina. Los resultados más relevantes que se encontraron, fue que la máquina es capaz de operar de manera eficiente, permitiendo realizar una perforación precisa y optimizando los procesos de manufactura en el laboratorio. Además, la máxima dureza fue obtenida por

los punzones B y C, cuyo valor fue de 28.8 HRC, mientras el menor valor de dureza corresponden al punzón D, el cual fue de 14.5 HRC, esto permite perforar láminas de entre 3-6 mm de espesor, acorde a las características mostradas en la Tabla 4.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por el apoyo brindado para el desarrollo del presente trabajo.

Referencias

Barrientos, S., Cuchula, R. y Ore, J., (2022). Diseño de la máquina troqueladora JKV para fabricar componentes de los soportes de muelles de semirremolques en la empresa Factoría Baltazar FBK E. I. R. L. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica, Universidad Continental, Huancayo, Perú. <https://repositorio.edu.pe/handle/20.500.12394/11989>

Gamboa Santana, D. S., (2016). Diseño y construcción de una máquina troqueladora lineal para la industria del calzado (Bachelor's thesis). <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13141>

Franco Rodríguez, O. S., Forero, P., & Andres, W., (2019). Diseño de una máquina para el filtrado de aceite lubricante, contaminado. <http://repositorio.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7556/1/4141759-2019-2-IM.pdf>

Hernández, G. A., Cipriano, F. R., & RIVERA, M. A. V., (2022). Diseño de alimentador para prensa troqueladora AIDA de 150 toneladas. In *Artículos del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Oaxaca 2022* (Oaxaca, Oaxaca, México 15 y 17 de junio de (Vol. 14, No. 4, pp. 7-12). <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1020/598>

Maliza Zamora, W. O., (2019). Diseño y construcción de una troqueladora para elaborar contrafuertes para calzado en el taller de calzado Creaciones Majo (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica). <https://repositorio.uta.edu.ec/items/da0de3e5-868d-47e1-a837-5823d6f776f2>

Soto, C. E. B., Silva, J. Z., Martínez, J. A. V., Damián, J. M. P., & Muñoz, J. L. R., (2025). Calado de chapa de acero inoxidable 316L mediante una prensa troqueladora y herramientas de acero D2 para la manufactura de arandelas planas. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 12(23), 45-49. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/sahagun/article/view/12757>

Tipán Guijarro, M. G., (2009). Implementación de un sistema de dispositivos y alarmas de seguridad industrial de una troqueladora en la Planta Ecuamatriz para disminuir accidentes laborales. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/d9fce925-0895-49d2-8d7f-a0bfa1092f>