

CONSTRUCCIÓN DE UNA PUNZONADORA NEUMÁTICA DE LAMINA PARA LA FABRICACIÓN DE ARANDELAS (ETAPA ELECTROMECAÁNICA)

*CONSTRUCTION OF A PNEUMATIC PUNCH BLADE FOR THE
MANUFACTURE OF WASHERS (ELECTROMECHANICAL STAGE)*

Luis Eduardo Bañuelos Mercado

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
luis.mercado@uas.edu.mx

Luis Eduardo López Escobar

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
luis_eduardo440@hotmail.com

Jorge Valentín Bajo de la Paz

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
e.vale.bajo@uas.edu.mx

Canek Portillo Jiménez

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
canekportillo@uas.edu.mx

Raymundo Bueno Rivera

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
e.raymundo.bueno@uas.edu.mx

Recepción: 23/noviembre/2023

Aceptación: 26/diciembre/2023

Resumen

Se presenta la construcción de una máquina punzonadora para la fabricación de arandelas de aluminio. Se propone que esta máquina punzonadora sea aprovechada en talleres locales relacionados a la industria de la transformación de chapa metálica, donde los procesos no estén automatizados o sean prácticamente artesanales, pues permite la optimización de recursos, aumento de calidad y seguridad de los procesos. El diseño consiste en una estructura de soporte, las herramientas matriz y punzón para el corte en la lámina de aluminio que forman el subsistema mecánico, además de los subsistemas neumático y eléctrico que forman parte de la máquina punzonadora. Al conjunto de estos subsistemas se le denomina sistema electromecánico. Se han realizado pruebas de funcionamiento, y se ha

obtenido arandelas como producto final elaborado. Se ha comprobado que se cumple adecuadamente con el proceso de fabricación, así como de seguridad del operario.

Palabras Clave: Arandelas, Electromecánica, Punzonadora.

Abstract

The construction of a punching machine for the manufacture of aluminum washers is presented. It is proposed that this punching machine be used in local workshops related to the sheet metal transformation industry, where the processes are not automated or are practically artisanal, as it allows the optimization of resources and increases the quality and safety of the processes. The design consists of a support structure, the matrix, and punch tools for cutting the aluminum sheet that form the mechanical subsystem, in addition to the pneumatic and electrical subsystem that are part of the punching machine. The set of these subsystems is called the electromechanical system. Functional tests have been carried out, and washers have been obtained as a final manufactured product. It has been proven that the manufacturing process is adequately complied with, as is operator safety.

Keywords: *Electromechanical, Punching machine, Washers.*

1. Introducción

Existen distintos procesos relacionados con la transformación y procesado de lámina metálica, por ejemplo: corte, doblado, embutido, entre otros. Dentro del procedimiento de corte, se encuentra el de punzonado, que consiste en un conjunto de operaciones mecánicas con el objetivo de transformar el metal laminado en una pieza con cierta geometría predefinida [Schvab, 2011], [Cabrero, 2023], [Pérez, 2018], [Cruz, 2015]. Se puede definir al punzonado como una operación de corte de láminas metálicas, generalmente en frío, mediante un dispositivo mecánico formado por dos herramientas: el punzón y la matriz [Luna, 2017]. Una de las aplicaciones para del punzonado de lámina es la fabricación de arandelas (discos delgados con un agujero localizado el centro). Éstas son ampliamente utilizadas en aplicaciones mecánicas, de manufactura y construcción (aplicaciones automovilísticas, naval,

alimenticias y médicas quirúrgicas [Wurth,2020], [Nord-Lock, 2014], [Gestión de Compras, 2021]). Normalmente las arandelas se utilizan para: soportar una carga de apriete, proteger superficies contra las erosiones que pudieran ocasionar tornillos y tuercas debido a las fricciones o rozamientos relativos, repartir homogéneamente las fuerzas de apriete, reducir los riesgos de aflojamiento y compensar faltas de paralelismo de piezas o de superficies irregulares [Boker's, 2023]. Por otro lado, a las punzonadoras cuya transmisión de la fuerza se controla por aire, se les denomina, punzonadoras neumáticas. Entre las ventajas de las punzonadoras neumáticas están: menor necesidad de mantenimiento y menor consumo de corriente que las hidráulicas, además, al hacer todo el recorrido completo aseguran la extracción del metal y tienen menos averías. Por otra parte, presentan la desventaja de ser lentas en comparación a las hidráulicas [Albuja, 2011]. En [Pérez, 2018] se diseña y construye un troquel de corte y perforado de platina metálica para una empresa local dedicada a la matricería. Aprovechan y adaptan para ello una máquina existente inutilizada. Esta máquina presenta un volante de inercia y tiene la opción de transmisión mecánica o neumática, por medio de un sistema de biela manivela y un motor de 5 hp. Esta máquina contribuye y mejora los procesos de las tareas de corte y punzonado requeridas en la empresa, pero no presenta algún tipo de automatización. En [Neppas, 2016] realizan un estudio de mercado para determinar la factibilidad de una microempresa de producción y comercialización de arandelas para su región. Mencionan la posibilidad de uso de aluminio y materiales reciclables para la fabricación de las arandelas. Determinan que sí existe factibilidad, dado la presencia de diversas empresas locales, tales como: talleres de metalmecánica, de mantenimiento mecánico, fabricación de aluminios, ferreterías, etc. Ellos consideran una máquina neumática semiautomática del tipo horizontal, la cual presenta un costo de \$10,000 dólares. La que en el actual trabajo se propone requiere un presupuesto menor a los \$ 1,000 dólares [presupuesto, 2023]. En [Albuja, 2011] implementan un sistema neumático para un taller de procesos de producción mecánica. El circuito neumático es similar al que se propone en el presente trabajo, sin embargo, lo realizan específicamente para la función de cizallado. Readaptan una máquina del tipo horizontal y realizan pruebas con

distintos materiales, incluyendo el aluminio, pero el control automático es muy básico, no incluyendo PLC. En [Guamán, 2017] justifican el diseño de una máquina multifunción para punzonado de láminas y perfiles, dado las necesidades de tener un aparato que realice los procesos automáticos o semiautomáticos, para optimizar recursos, tener productos finales de mayor calidad. Serviría, comentan, para pequeñas (procesos realizados generalmente de forma artesanal) o nacientes empresas del área metalmecánica, que no cuentan con suficientes recursos económicos para tener máquinas industriales. Sí contemplan automatización donde utilizan un PLC y consideran un sistema del tipo hidráulico. Sin embargo, todo queda en un buen diseño y no se llega a concretar su construcción. En este trabajo, se presenta la construcción de una máquina automatizada especializada en el proceso de punzonado de lámina para fabricar arandelas. Entre las ventajas existentes en esta máquina se encuentra: un menor costo de construcción, conservando un excelente control del proceso; es posible realizar una instalación rápida y sencilla; se tienen dimensiones relativamente pequeñas de la máquina, lo cual facilita ubicar y mover la máquina en diferentes áreas; la mayor parte de las piezas utilizadas y el personal requerido para mantenimiento son asequibles localmente, por lo que su costo es bajo y fácil de obtener; su operación es más sencilla y es más segura en comparación de los procesos manuales o artesanales, lo cual hace posible que el operador sólo necesite una mínima capacitación para poner en operación a la máquina punzonadora de lámina. En este trabajo se enfoca en la etapa electromecánica, que comprende la estructura mecánica de soporte para el proceso de punzonado, los actuadores eléctricos y neumáticos contemplados para lograr el funcionamiento óptimo de la máquina, y el control automático (PLC) de los distintos dispositivos que actúan en el proceso de fabricación de arandelas.

2. Métodos

Procedimiento de construcción y diseño

En la figura 1 se muestra el diagrama que explica los pasos seguidos en la elaboración de la punzonadora neumática. Inicialmente, se tiene el diseño, donde se presenta la estructura de la máquina, así como los diversos cálculos y

determinación de dimensiones y otras condiciones necesarias. El siguiente paso, involucra la selección de materiales y dispositivos que constituyen los sistemas de la máquina. Posteriormente, se realiza la construcción de la máquina (armado y acoplamiento de los distintos sistemas) y, finalmente, se efectúan pruebas de funcionamiento y ajustes.



Figura 1 Diagrama a bloques del método.

Sistemas de la máquina punzonadora

Por otro lado, la máquina punzonadora se compone de dos sistemas principales: sistema de control y el sistema electromecánico. El presente artículo se enfoca en lo correspondiente al sistema o etapa electromecánica, la cual se integra de tres subsistemas: el subsistema mecánico, que consiste en la estructura de soporte, las herramientas matriz y punzón, y el sistema de alimentación de lámina y expulsión de arandelas; el subsistema neumático que incluye un abastecedor de aire comprimido, una electroválvula de cinco vías y dos posiciones y un pistón neumático de doble efecto; y el subsistema eléctrico, compuesto de dos fuentes de alimentación eléctrica para abastecer de corriente directa al motor, al sensor óptico y a la lámpara rotativa. Además, consta de elementos de protección y cableado, tales como interruptor termomagnético y fusibles. Aunque queda fuera del alcance de este artículo, cabe mencionar de manera muy general, que el elemento principal del sistema de control se compone de un Controlador Lógico Programable (PLC) MOELLER Easy 819-AC-RC. En la figura 2 se muestra el diagrama a bloques de los subsistemas de la máquina punzonadora.

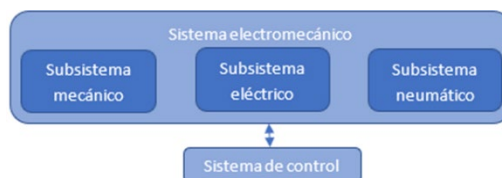
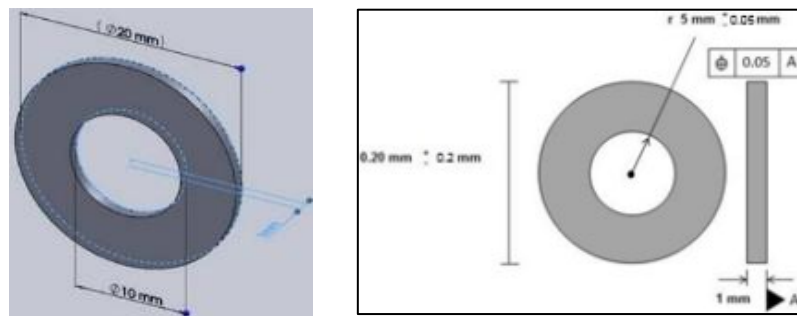


Figura 2 Diagrama a bloques de los subsistemas de la máquina punzonadora.

Aspectos técnicos del diseño

- **Características de la arandela:** El material de la arandela a fabricar es aluminio, que es dúctil, maleable y resistente a la corrosión. Además, conserva alta dureza una vez que se ha realizado el corte sobre la lámina metálica. El espesor de la lámina se fija de 1 mm debido a la disponibilidad comercial de la lámina de aluminio. La especificación de las dimensiones de los diámetros interno y externo de la arandela son de 10 mm y 20 mm, respectivamente. Aunque se ha considerado estas dimensiones tomando en cuenta el mercado local, de acuerdo con [Neppas, 2016], generalmente el diámetro externo es el doble del diámetro interno. Por otro lado, se han observado medidas de arandelas similares en aplicaciones de la industria automotriz e industria para la fabricación de muebles [Nord-Lock, 2014], [Wurth, 2020]. Estas dimensiones tienen una aproximación cercana a la norma DIN 125 (ISO 7089). En la figura 3 se especifican las tolerancias dimensionales y geométricas de la arandela.



a) Diámetros externo e interno.

b) Tolerancias dimensionales.

Figura 3 Dimensiones de la arandela.

- **Cálculo de fuerza para el corte de lámina de aluminio:** A partir de las características de la arandela se calcula la fuerza que necesita aplicar el pistón, para realizar el punzonado sobre la lámina. Esta fuerza se obtiene con la ecuación 1.

$$F = \tau \cdot F_s \cdot A_c \quad (1)$$

Donde:

F : Fuerza (N)

- τ : Esfuerzo último cortante (MPa)
- A_c : Área de corte sobre la lámina (m²)
- F_s : Factor de seguridad (Adimensional)

El valor del esfuerzo último cortante o límite de rotura para el aluminio es una constante para dicho material [Pytel, 2008]. Para garantizar el corte de la lámina, se multiplica este esfuerzo por un factor de seguridad mayor a 1, para asegurar que la fuerza utilizada sea mayor a la mínima requerida y el corte se realice. El área de corte sobre la lámina se calcula con la ecuación 2.

$$A_c = (P_{ext} + P_{int}) \cdot E \quad (2)$$

Donde:

- A_c : Área de corte sobre la lámina (m²)
- P_{ext} : Perímetro exterior
- P_{int} : Perímetro interior
- E : Espesor de la lámina

Se requiere determinar los perímetros interno y externo de la arandela, además de proporcionar el valor del espesor de la lámina. El cálculo del perímetro se calcula con la ecuación 3 o 4, utilizando el diámetro externo o interno según corresponda.

$$P = \pi \cdot D_{ext} \quad (3)$$

$$P = \pi \cdot D_{int} \quad (4)$$

Donde:

- P : Perímetro (exterior o interior dependiendo del diámetro)
- D_{ext} : Diámetro exterior
- D_{int} : Diámetro interior

- **Dimensión del pistón:** La fuente de aire para el sistema neumático trabaja a una presión de 7 bar (700,000 Pa). Para calcular el diámetro del pistón neumático se utiliza la ecuación 5.

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot A_t}{\pi}} \quad (5)$$

Donde:

D_p : Diámetro del pistón (m)

A_t : Área transversal del pistón (m²)

El área transversal del pistón se calcula con la ecuación 6.

$$A_t = \frac{F}{P} \quad (6)$$

Donde:

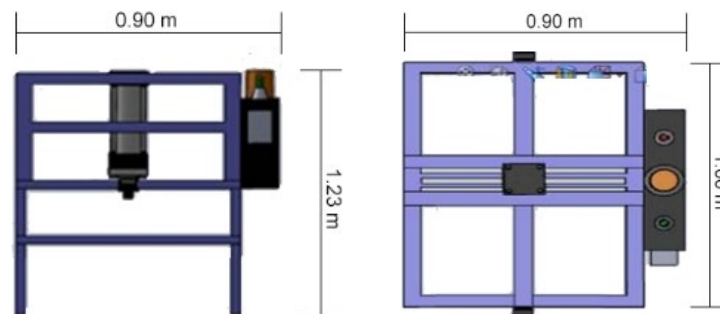
F : Fuerza aplicada por el pistón (N).

P : Presión del abastecedor de aire (Pa)

Subsistemas del sistema electromecánico de la máquina punzonadora

- **Subsistema mecánico**

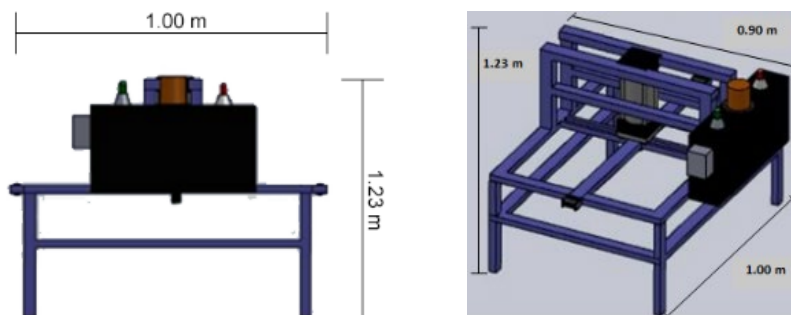
- ✓ **Estructura de soporte.** Se ha realizado el diseño de la estructura general en AutoCAD. Las figuras 4 y muestran sus vistas lateral, frontal, superior y trimétrica.



a) Vista frontal.

b) Vista superior.

Figura 4 Diseño punzonadora (parte 1).



a) Vista derecha.

b) Vista trimétrica.

Figura 5 Diseño punzonadora (parte 2).

Es una estructura de soporte donde van montado un pistón neumático, un espacio para colocar las herramientas de punzón y matriz, y un carril guía. También se tiene adjunta una caja de control donde van dispositivos eléctricos y electrónicos para el control y automatización de la punzonadora. Se cree adecuado mencionar también, que las dimensiones son: largo de 1 m, ancho de 0.9 m (incluyendo la caja de control), y altura de 1.23 m.

- ✓ **Herramientas para el proceso de punzonado.** La fabricación de las herramientas matriz y punzón que intervienen en el proceso de punzonado fueron hechas con una fresadora y un torno, respectivamente. En la figura 6b se muestra la herramienta matriz realizada a partir de una placa de acero utilizando la fresadora de la figura 6a. La herramienta punzón es de acero *cold rolled* (SAE1018), como se muestra en la figura 7b, se ha fabricado con el torno de la figura 7a. Se le ha soldado una tuerca en la parte superior para acoplar al vástago del pistón neumático.



a) Fresadora.



b) Matriz.

Figura 6 Matriz y fresadora.



a) Torno.



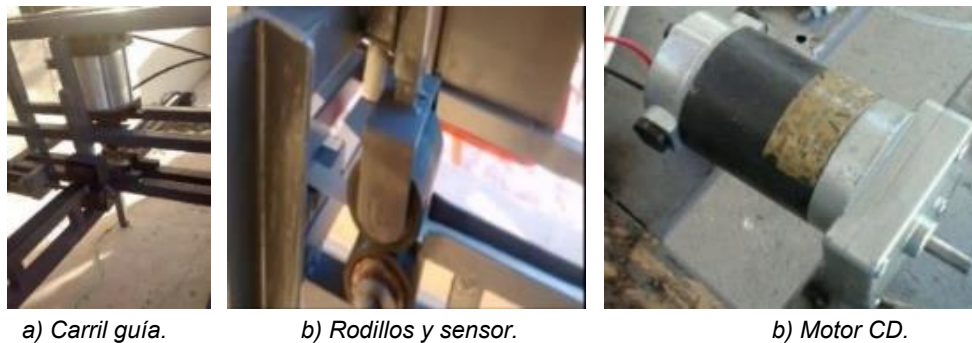
b) Punzón.

Figura 7 Punzón y torno.

Entre la matriz y el punzón debe de existir cierta holgura que permita la correcta unión entre ambas, ya que para el material de aluminio existe una tolerancia del 10% con respecto al espesor de la lámina. Al tratarse de una lámina con un espesor de 1 mm, el intervalo de tolerancia corresponderá a 0.10 mm, es decir, el espacio necesario entre la matriz y el punzón para lograr el corte, para obtener las arandelas con las dimensiones de los diámetros externo e interno requeridos.

- **Alimentación de lámina y expulsión de arandelas.** El funcionamiento del sistema inicia con la sujeción de la lámina de aluminio por medio de rodillos de material plástico. El proceso continúa al realizarse el primer punzonado. Se utiliza el motor de corriente directa (CD) para desplazar y alimentar la lámina, por un carril guía, a la ubicación de las herramientas punzón y matriz para que el punzonado se realice y se obtenga la fabricación de arandelas de manera automática. Todo lo anterior habrá de realizarse repetitivamente hasta que la tira de la lámina de aluminio suministrada se termine. En la figura 8 se muestra elementos del sistema de alimentación de lámina.

Por otro lado, en la figura 9, se muestra el diagrama del sistema de expulsión de la arandela. La fuerza aplicada por el pistón neumático sobre el punzón para perforar la lámina de aluminio logra producir la arandela en la herramienta matriz. Un resorte soldado al tubo metálico en la parte inferior es comprimido, al regresar el pistón al estado inicial, el resorte expulsa a la arandela fabricada para que salga de la herramienta matriz.



a) Carril guía.

b) Rodillos y sensor.

b) Motor CD.

Figura 8 Elementos del sistema de alimentación de lámina.

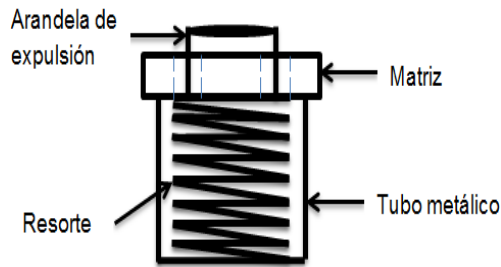


Figura 9 Diagrama del sistema de expulsión de la arandela.

- **Sistema neumático**

- ✓ **Compresor, electroválvula y un pistón neumático.** En la figura 10, se muestra el diagrama del sistema neumático implementado en la máquina punzonadora de lámina, el cual se constituye de tres principales componentes: un abastecedor de aire comprimido (compresor), una electroválvula de cinco vías y dos posiciones con válvulas de escape con salidas regulables, y un pistón neumático de doble efecto.

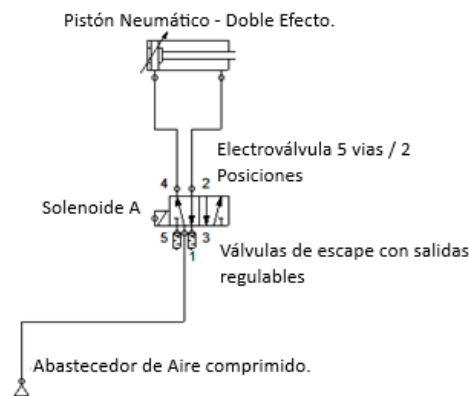


Figura 10 Diagrama del sistema neumático.

En la tabla 1 se muestran las especificaciones para el pistón, electroválvula y el abastecedor de aire (compresor) que se han utilizado. En la figura 11 se muestra al el pistón y la electroválvula.

- **Subsistema eléctrico**

- ✓ **Sensor óptico fotoeléctrico.** Se ha utilizado un sensor óptico capaz de detectar la presencia de materiales hechos de metal, con la

finalidad de utilizarlo para arrancar la máquina cuando la materia prima se encuentre en el lugar de inicio. El sensor se puede calibrar de acuerdo con su ubicación en la máquina. Las características del sensor implementado se presentan en la tabla 2.

Tabla 1 Especificaciones (pistón neumático, electroválvula y compresor).

Pistón neumático	Electroválvula	Compresor
Cilindro de doble efecto	5 vías / 2 posiciones Parker	Presión máxima: 150 PSI a 1 HP
Diámetro: 0.10 m	Activada por solenoide	Manguera de conexión compresor - electroválvula: 1/2 pulgada de diámetro
Presión máxima: 300 PSI	Conexiones de 1/2 pulgada	
Entradas de aire: 3/4 pulgadas	Válvulas de escape con salidas regulables	
Cilindro de aluminio y tapas de acero galvanizado (Diseño propio manufacturado en taller)	Manguera de conexión electroválvula-pistón: 3/4 pulgada de diámetro	



a) Electroválvula.



b) Pistón neumático.

Figura 11 Pistón y electroválvula.

Tabla 2 Características del sensor óptico fotoeléctrico.

Especificaciones
Sensor óptico fotoeléctrico Carlo Gavazzi: Modelo PA18CAD10PAM1SA
Rango: 1 m axial, 0.8 m radial.
Sensibilidad ajustable por potenciómetro
Voltaje de alimentación 10 a 30 V de corriente directa (CD)

- ✓ **Fuentes de alimentación.** En la caja de control se encuentran dos fuentes de alimentación eléctrica para abastecer de corriente directa al motor, al sensor óptico y a la lámpara rotativa. En la figura 12, se aprecia el esquemático de las conexiones realizadas con las fuentes de alimentación utilizadas para dos dispositivos de la máquina

punzonadora. Estos dispositivos son un motor a voltaje 0 – 90 V de corriente directa y una lámpara rotativa que funciona con 12 V.

- ✓ **Elementos de protección y cableado.** En la tabla 3 se especifican elementos de protección y cableado utilizados en la máquina punzonadora.

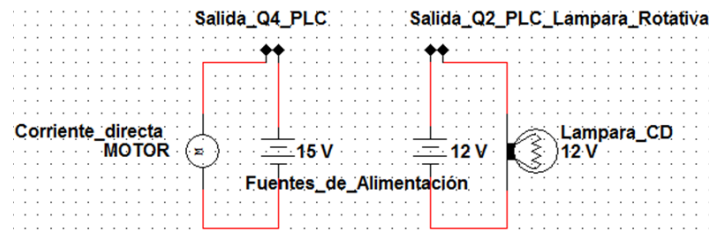


Figura 12 Fuentes de alimentación.

Tabla 3 Elementos de protección y cableado.

Interruptor termomagnético	Fusibles	Cableado	Botón de paro
1 de 10 Amperios (protección general)	7 de 2 Amperios (entradas PLC)	14 AWG y 24 AWG (elementos de control)	Normalmente abierto sin enclavamiento

3. Resultados

Resultados de los cálculos de fuerza de corte y del diámetro del pistón

En la tabla 4 se muestran los resultados del cálculo de la fuerza de corte, del diámetro del pistón y de los demás parámetros involucrados en su determinación.

Tabla 4 Resultados de la fuerza de corte, diámetro de pistón y parámetros involucrados.

Fuerza de corte		Diámetro pistón	
F	7912.8 N	D_p	0.1 m
P_{ext}	0.0628 m	A_t	0.011 m ²
P_{int}	0.0314 m	P	700 kPa
A_c	$0.0942 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	F	7912.8 N
τ	70 MPa		
F_s	1.2		

Punzonadora terminada y arandelas fabricadas

En la figura 13 se muestra la máquina punzonadora terminada. Un indicador de color verde advierte al operador que el proceso está listo para iniciar; un indicador de color rojo avisa cuando el proceso está detenido y no está listo para iniciar [DOF,

2008]; y finalmente con una lámpara rotativa color naranja que señala al operador el estado cuando la máquina está efectuando su trabajo. En la figura 14 se observan algunas arandelas fabricadas.



Figura 13 Punzonadora terminada.



a) Conjunto de siete.



b) Una sola.

Figura 14 Arandelas fabricadas.

4. Discusión

Para la construcción de la estructura mecánica de soporte fueron considerados materiales con características de versatilidad, soporte y dureza, lo que sirvió para conformar una estructura de menor tamaño en dimensiones y bajo peso. Asimismo, esta estructura cumple con la función principal de soporte para la instalación y el funcionamiento de los actuadores de los sistemas implementados. Dentro de la definición y selección de los dispositivos electromecánicos implementados en los sistemas eléctrico, electrónico y neumático se observó que en conjunto pueden realizar el proceso de punzonado automáticamente, y acoplados a la estructura metálica, constituyen una máquina punzonadora de lámina especializada para la fabricación de arandelas. Se puede considerar que la máquina punzonadora de lámina aumenta la producción y cubre totalmente aspectos como la automatización

y control del proceso y la seguridad del operario. Existió especial atención cuando el punzón golpeaba a la matriz y la estructura absorbía el golpe. Se observó que la estructura tiene la suficiente resistencia para operar, debido a que aún con la fuerza con la que golpea el punzón a la matriz, no se detectó alguna deformación en alguna parte de la estructura y no se observó ni se sintieron vibraciones fuertes que pudieran afectar el funcionamiento de los dispositivos o del soporte que estos tengan con la estructura. Las características de producción de la máquina son flexibles, debido a que las señales que recibe de parte del control pueden modificarse, dependiendo de la capacidad del suministro de aire del compresor y de la velocidad de giro del motor, así como de la necesidad de producción. De acuerdo con la capacidad de los dispositivos con los que está conformada la máquina punzonadora, se programó una producción de 15 arandelas por minuto. La capacitación necesaria para poder operar la máquina punzonadora no es muy extensa o difícil. Para poder operarla es necesario sólo un operador, el cual debe de saber lo siguiente: cuál es su área de trabajo, el proceso de producción que realiza la máquina, la función de cada elemento que conforma la máquina, cómo se activa la máquina, las condiciones para activar a la máquina, cómo colocar la materia prima (lámina de aluminio), cómo es una arandela para poder identificar las piezas defectuosas, cuáles son las condiciones para apagar de emergencia.

5. Conclusiones

Se realiza la construcción y automatización de una punzonadora neumática de lámina para la fabricación de arandelas. Consta de una estructura principal elaborada de PTR, donde se acoplan los sistemas neumático, eléctrico, electrónico y de control. Se propone esta máquina punzonadora para aprovecharse en talleres locales relacionados a la industria de la transformación de chapa metálica, donde los procesos no estén automatizados o sean prácticamente artesanales. El proceso de punzonado consiste en inserción de la lámina por un carril guía, luego existen rodillos que arrastran la lámina. La presencia de la lámina metálica se detecta por un sensor colocado cerca de los rodillos, por encima de la herramienta matriz y el punzón. Cuando el sensor detecta que hay lámina dentro de la máquina, se activa

un elemento de señalización visual para indicar presencia, además es una condición necesaria para iniciar el proceso automático. Cuando el operador inicie el proceso, el motor arrastra la lámina por el carril durante un determinado tiempo programado, cuando el tiempo de arrastre termine, se inicia el periodo de golpeo del punzón. Las acciones anteriores se repiten cíclicamente hasta que la lámina se termine o hasta que el operador decida desactivar el proceso. Como trabajo futuro relacionado al control del proceso, se piensa acoplar un dispositivo de adquisición de datos y utilizar el software de LabVIEW, disminuyendo la necesidad de intervención del operario y aumentando la seguridad de este. Lo anterior le permitiría tareas relacionadas con monitorización y registro de datos del proceso y la atención de alguna situación que se presentara. Se propone realizar mediciones de productividad del proceso donde se obtendrían gráficas del registro de datos del proceso de fabricación de arandelas, dichas graficas proporcionarían información para evaluar el desempeño de la máquina, tomando variables como el número de arandelas fabricadas y el tiempo de producción. En cuanto a la estructura mecánica, se propone la modificación del carril guía por donde se desplaza la lámina de aluminio, de tal forma que se incremente el ancho de esta, esto para mejorar la sujeción por parte de los rodillos y el arrastre realizado por el sistema de alimentación de lámina. Así también, se propone elaborar diferentes diseños para las herramientas matriz y punzón, ya sea para producir arandelas con distintas dimensiones o para la fabricación de otros productos finales a través de los procesos de corte y conformado de lámina de metal. Una propuesta de trabajo relativa a la seguridad es la implementación un sistema de detección mediante sensores que permitan detener el proceso de fabricación de arandelas cuando algún individuo u objeto traspase el área o zona de seguridad permisible.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Albuja, F. Implementación de un sistema de aire comprimido en la automatización de la cizalla manual del taller de Procesos de Producción Mecánica. Tesis de licenciatura. Quito, 2011.
- [2] Boker's. Selecting the optimal washer solution. Catálogo, USA, 2023.

- [3] Cabrero, J. Operaciones de máquinas-herramientas para punzonado y plegado FMEH0209. IC Editorial, 2023.
- [4] Cruz, J. Automatización de una troqueladora y diseño de un troquel para arandelas de cobre. Tesis de licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador, 2015.
- [5] DOF. NOM-026-STPS-2008 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. México, 2008.
- [6] Gestión de Compras. Arandelas. Catálogo. Gestión de Compras industrial sourcing, España, 2021.
- [7] Guamán, E. Diseño y simulación de una máquina multifunción para punzonado de láminas y perfiles de acero de bajo carbono de hasta 3 mm de espesor. Tesis de maestría. Escuela Politécnica Nacional. Quito. 2017.
- [8] Neppas, J. Estudio de factibilidad para la creación de una microempresa de producción y comercialización de arandelas planas troqueladas a base de material reciclado en la Ciudad de Ibarra, Provincia de Imbabura. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, mayo, 2016.
- [9] Nord-Lock. Arandelas Nord-Lock – Información de producto. Catálogo, Nord-Lock Group. España, 2014.
- [10] Pérez, E. Diseño y construcción de un troquel de corte y perforado de platina metálica de espesor 1/8 de pulg. para la empresa ingeniería del acero y matricería en la ciudad de Ambato provincia de Tungurahua. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica de Ambato. 2018.
- [11] Presupuesto. Cotización de dispositivos y materiales de la máquina punzonadora. Julio 2023. Disponible en drive institucional: https://drive.google.com/drive/folders/10CWtvTqT7QL3_eAtTQdfrCW6HwZlVJip?usp=sharing.
- [12] Pytel, A. & Singer, F. Resistencia de materiales. Oxford University Press, México, 2008.
- [13] Schwab, L. Máquinas y herramientas. Ministerio de educación, Instituto de Educación Tecnológica: Argentina, 2011.
- [14] Wurth. Wurth Hardware. Catálogo. Wurth USA Inc. USA, 2020.