

Diseño de máquina automatizada para conformar ojos u orejas de ballestas automotrices

Automated machine design to shape eyes and ears of automotive crossbows

Phd (c). John Ignacio Calle Sigüencia¹
Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador
jcalles@ups.edu.ec

Servio Vinicio Astudillo León²
Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador
sastudillo@est.ups.edu.ec

Hernán Patricio Morocho Campos³
Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador
hmorocho@est.ups.edu.ec

Édgar Odilón García Salinas⁴
Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador
egarcias@est.ups.edu.ec

Fecha Recepción: 22/08/16 - Fecha Aprobación: 18/10/16

Resumen: El presente artículo desarrolla el diseño de una máquina automatizada para realizar el conformado de los ojos u orejas en las ballestas automotrices. Este estudio tiene como objetivo solucionar los problemas ergonómicos que actualmente se presentan en el proceso manual de elaboración de estos elementos automotrices, para ello se analizaron y diseñaron las partes mecánicas más relevantes, empleando un criterio de falla, con factores de seguridad que garanticen un óptimo funcionamiento. En la teoría se revisaron algunas propiedades mecánicas de los aceros, se exponen las normativas a nivel nacional respecto a las ballestas automotrices, se conocen los distintos procesos para su elaboración y maquinaria internacional empleada para este fin. En el proceso de diseño se obtuvieron los componentes principales para la estructura de la máquina, partiendo de un análisis matemático que proporciona los datos necesarios para su dimensionamiento, se determinaron los elementos y el grupo hidráulico en general, en cuanto a los elementos normalizados se seleccionaron los más eficientes y fáciles de encontrar en el mercado nacional.

Palabras clave: Ballestas automotrices, control automático, zona elástica, zona plástica, cilindro hidráulico, centralita hidráulica.

Abstract: This article will develop the design of an automated machine for forming ears or eyes in automotive leaf springs. This study aims to solve the ergonomic problems currently presented in the manual process of making these auto elements. Therefore, it will analyze and design the most relevant mechanical parts, using a criterion of failure, with safety factors to ensure optimal functioning. In theory some mechanical properties of steels will be revised and regulations will be presented at the national level regarding automotive leaf springs, different processes for their preparation and international machinery used for this purpose will be exposed. In the design process the main components will be obtained for the structure of the machine, based on a mathematical analysis that will provide data necessary for sizing, the elements and the hydraulic unit generally determined in terms of standard elements will select the most efficient and easy to find in the domestic market.

Keywords: Automotive springs, automatic control, bending moment, plastic moment, hydraulic cylinder, hydraulic power unit.

1. Introducción.

El inicio de la revolución industrial marcó un cambio enorme en la producción de bienes, puesto que los procesos que antes se realizaban en forma manual y artesanal fueron reemplazados por la aparición de máquinas convencionales, las mismas que fueron facilitando la producción, ayudando de esta manera a la creación de nuevos productos en un menor tiempo y con menor esfuerzo por parte del ser humano.

En la actualidad, los procesos de producción cuentan con cierto grado de automatización, lo cual ha resultado conveniente para muchas empresas, ya que representa menor tiempo de producción, más disponibilidad de trabajo en las máquinas y mayor precisión en los trabajos, obteniendo de esta manera mayores beneficios económicos para la empresa.

1. Ingeniero Mecánico, Licenciado en Ciencias de la Educación, Especialista en Educación a Distancia, Magister en Gestión y Auditorías Ambientales, candidato a Doctor en Ingeniería. Docente Investigador de la Universidad Politécnica Salesiana.
2. Estudiante de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.
3. Estudiante de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.
4. Estudiante de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.

En vista de la nueva tendencia tecnológica surge la idea de diseñar una máquina conformadora con accionamiento automático, con el fin de optimizar el proceso del conformado de ojos u orejas de ballestas automotrices.

Con el diseño de la máquina se pretende dar solución a uno de los principales problemas que se presenta actualmente, y es el ausentismo generado por problemas lumbares debido a los altos esfuerzos realizados por los operarios, teniendo en cuenta que todo el proceso de conformado es manual.

2. Definiciones iniciales.

A continuación, se expone cada uno de los conceptos que se consideraron antes de llevar a cabo el diseño.

2.1 Parámetros de diseño.

Los resortes tipo ballesta deben dar cumplimiento a lo señalado por la Norma propuesta NTE INEN 3017, que tiene como objetivo establecer los requisitos, inspección y definiciones que deben cumplir los paquetes multihoja de resorte tipo ballesta y sus hojas para la utilización en sistemas de suspensión de vehículos [1]. Para el diseño de la máquina conformadora con accionamiento automático será necesario tomar en cuenta estos requerimientos propuestos, debido a la consideración que se debe tener para las dimensiones que la misma señala en uno de sus apartados.

2.2 Proceso de elaboración.

Las ballestas, como se muestra en la Figura 1, están constituidas por un conjunto de hojas o láminas de acero especial para muelles, unidas mediante abrazaderas (2) que permiten el deslizamiento entre las hojas cuando éstas se deforman por el peso que soportan. La hoja superior (1), llamada hoja maestra, va curvada en sus extremos formando unos ojos en los que se montan unos casquillos de bronce (3) para su acoplamiento al soporte del bastidor por medio de unos pernos o bulones [2].

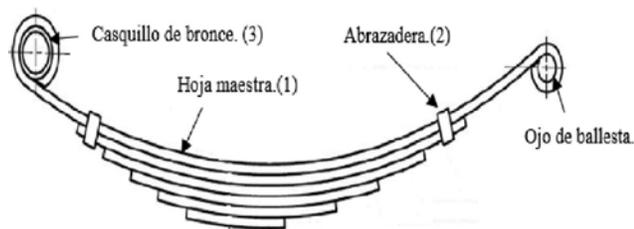


Figura 1. Partes principales de una ballesta automotriz [3].

El proceso productivo actual está definido por los siguientes procesos: transporte, conformado, corte, perforado, conformado de ojos u orejas, tratamientos térmicos, temple, revenido, acabados superficiales, proceso de limpieza y granallado, proceso de pintado, ensamblado, almacenaje [4].

Para la elaboración del presente documento, el análisis se centró en el proceso de conformado de ojos u orejas, puesto que para esta área será diseñada la máquina conformadora con accionamiento automático.

2.3 Maquinaria empleada.

2.3.1 Maquinaria y proceso actual para conformado de ojos u orejas.

En la actualidad, para este proceso son necesarios dos operarios como se puede observar en la Figura 2, el primero retira las hojas del horno a una temperatura de 700°C y las coloca en la conformadora manual, el segundo operario, haciendo uso de su fuerza lumbar le da el conformado final obteniendo como resultado una geometría circular al extremo de la ballesta.



Figura 2. Proceso manual para el conformado [Fuente: Autores].

2.3.2 Máquinas con accionamiento automático empleadas a nivel mundial.

En el mercado mundial existen varias máquinas para desarrollar este conformado de las ballestas automotrices de las cuales podemos citar dos de las más importantes manejadas internacionalmente: APM Leaf spring; Máquina APM SPRINGS SDN BHD [5], SDGT; Máquina APM SPRINGS SDN BHD [6].

3. Materiales y métodos.

3.1 Materiales para la estructura de la máquina.

Cuando se requieren aceros estructurales soldables por medios convencionales, para bancadas de máquinas, se usan normalmente los aceros estructurales de la norma EN 10025-2 [7], cuya equivalencia es la norma ASTM A-36. Este acero será usado para toda la estructura en general, a excepción de las mordazas y ejes machos que necesariamente deben ser sometidos a un tratamiento térmico posterior.

3.2 Método de conformado de la oreja de la ballesta.

El diseño que se realizó está basado en uno de los tres métodos conocidos para doblar chapas metálicas, que son: doblado por compresión, doblado por arrastre, doblado por prensado con cabezal. El método a usar será el doblado por arrastre. En este método la pieza de trabajo se sujeta contra un dado que tiene la forma del doblez, que gira arrastrando la pieza de trabajo por una matriz de presión (eje macho) como se muestra en la Figura 3.

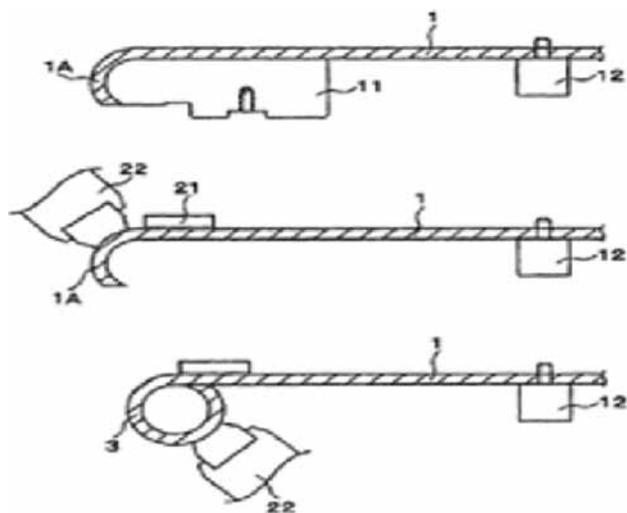


Figura 3. Doblado por arrastre [8].

3.3. Determinación de la fuerza F para el conformado de los ojos u orejas de la ballesta.

En esta sección se determinó la fuerza F como se muestra en la Figura 4, necesaria para poder conformar la oreja de la ballesta. La fuerza que se va a aplicar para el curvado debe ser tal que pueda deformar la hoja, de manera que el material supere su zona elástica hasta pasar a su zona plástica, de esta manera se asegura que el material no regrese a su forma inicial.

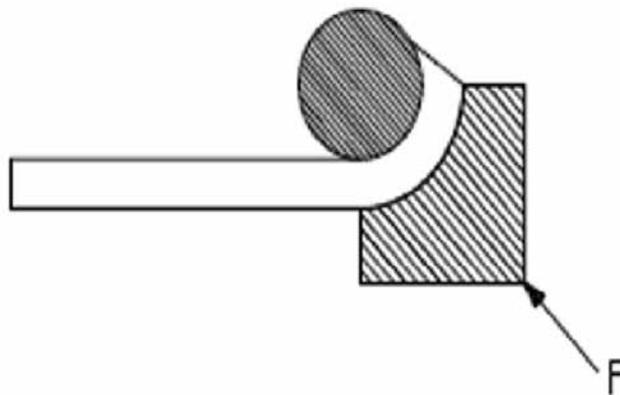


Figura 4. Fuerza aplicada para deformar la hoja de ballesta.

3.3.1 Análisis de las cargas en el curvado.

En la Figura 5, se muestra la disposición de los elementos de conformado antes de aplicar la fuerza F de conformado.

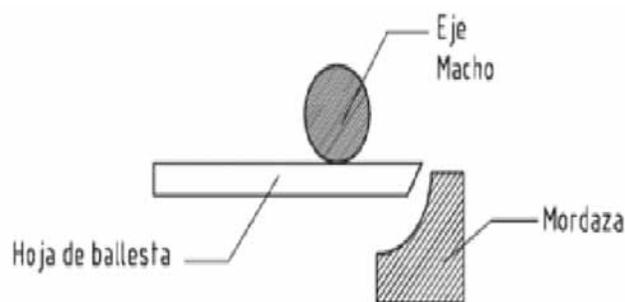


Figura 5. Disposición inicial de la dobladora.

Una vez que a la mordaza se le aplica la fuerza F, ésta comienza a girar y arrastrar la ballesta alrededor del eje macho, deformando plásticamente la hoja de la ballesta Figura 6 - a) y b). La conformación de la oreja se realiza en dos movimientos (dos giros de la mordaza sobre el eje macho), en la Figura 6- c) se puede observar el segundo movimiento de la mordaza.

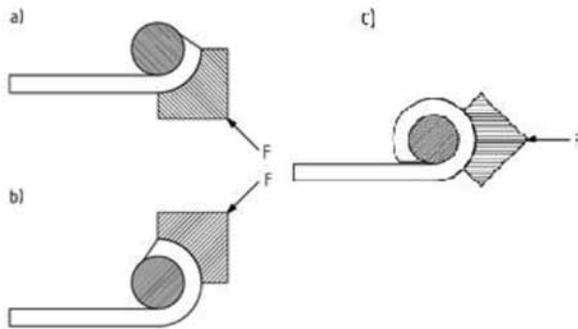


Figura 6. Disposición de la dobladora en el proceso de conformado a) Fuerza aplicada sobre la mordaza b) Giro del castillo alrededor del eje macho con fuerza aplicada sobre la mordaza c) Segundo giro del castillo rotativo.

3.3.2 Cálculo de la fuerza de conformado.

Dentro de la norma NTE INEN 3017 propuesta anteriormente, se hace mención a las diferentes dimensiones de las ballestas automotrices. El análisis de la fuerza de conformado se calcula a continuación y se hará basado en la hoja de mayor espesor con el cual se trabaja en la industria, es decir: 19 mm, debido a que este espesor requiere la mayor fuerza de conformado. Para el cálculo de la fuerza se utilizará la fórmula propuesta por Mario Rossi en su libro "Estampado en frío de la chapa" [9]:

$$F = \frac{\sigma_R \cdot b \cdot s^2}{3 \cdot l} \quad (1)$$

Donde:

F = Fuerza para el curvado, en N

b = ancho de la chapa, en m = 0.09m

l = distancia entre apoyos, en m = 0.08m

s = espesor de la chapa, en m = 0.02m

σ_R = Resistencia a la tensión = $724 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$

$$F = 108.6 \text{ kN}$$

3.4 Determinación del espesor del castillo rotativo.

Se analizó un elemento empotrado (soldado) en sus dos extremos como se muestra en la Figura 8 se puede dimensionar su espesor partiendo de la fórmula que proporciona Beer & Johnston en su libro "Mecánica de Materiales" [10]. Para el diseño de la máquina a proponer se usará Acero ASTM A-36 cuyo $\sigma_{perm} = 400 \text{ MPa}$.

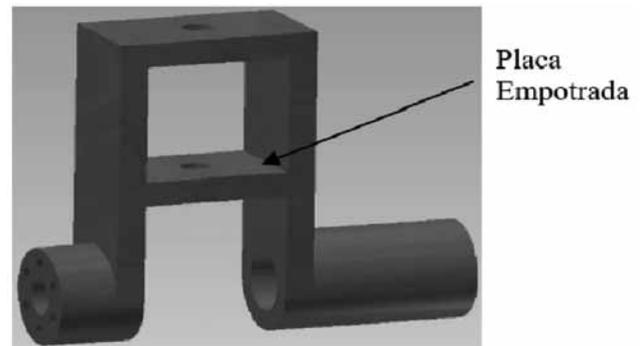


Figura 7. Vista del castillo rotativo.

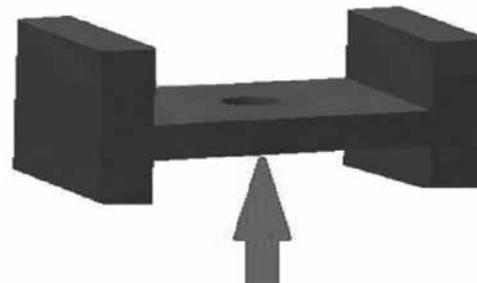


Figura 8. Placa empotrada (soldada).

Datos de la placa empotrada:

L = longitud = 0.15m

b = ancho = 0.09m

h = espesor

$$M_{max} = FL/8$$

$$|M|_{max} = 2036.25 \text{ Nm}$$

$$S_{min} = \frac{|M|_{max}}{\sigma_{perm}} = 5.090 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (2)$$

$$\frac{1}{6}bh^2 \geq S_{min}$$

$$h \geq 0.01842 \times 10^{-3} \text{ m} \geq 18.42 \text{ mm}$$

El espesor del castillo debe ser mayor a 18.42 mm. Para el diseño se tomó el espesor de 20 mm que es el espesor comercial más aproximado.

3.4.1 Cálculo de la fuerza (F_{PISTON}) que permitirá la rotación del castillo.

En esta sección se analizó la fuerza del pistón F_{PISTON} que permite el giro de toda la estructura del castillo, esta fuerza será ejercida sobre la palanca, tal y como se muestra en la Figura 9.

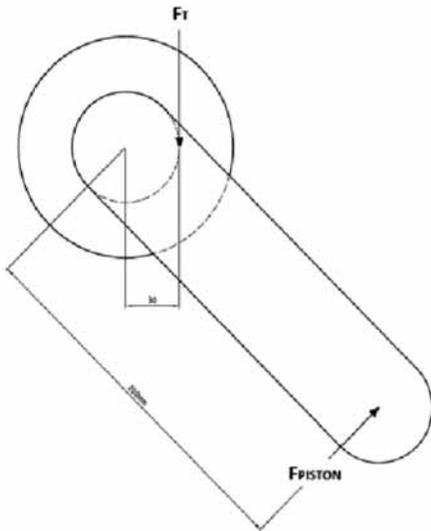


Figura 9. Palanca de rotación.

Cálculo de la fuerza de resistencia F_T

$$F_T = F_r + W + F \quad (3)$$

$F = \text{Fuerza de conformado} = 108.6kN$
 $F_r = \text{fuerza de rozamiento o fricción}$
 $W = \text{Peso del castillo}$

$$F_T = 147.930kN$$

Finalmente se calculó la fuerza de arrastre F_{PISTON} :

$$F_T \cdot 0.03m = F_{PISTON} \cdot 0.2m$$

$$F_{PISTON} = \frac{F_T \cdot 0.03m}{0.2m} \quad (4)$$

$$F_{PISTON} = 22.1896kN$$

3.5 Cálculo de la soldadura.

Para el cálculo de la soldadura en el castillo rotativo se tomó como base lo expresado en el libro de "Diseño en Ingeniería Mecánica" de Shigley - 8 Edición [11]. Según el libro, se calculó el esfuerzo permisible tomando el tipo de carga a flexión y el tipo de soldadura a tope con una garganta de 6 mm.

$$\tau_{permisible} = 0,66 * SY \quad (5)$$

$$\tau_{permisible} = 496,42 MPa$$

Se calcula la magnitud del esfuerzo último mediante la relación de Pitágoras entre el esfuerzo nominal

primario y esfuerzo nominal secundario. El esfuerzo nominal primario se calcula con la relación entre la fuerza aplicada y el área de la garganta.

$$\tau' = \frac{F}{A} = \tau' = 17,68 MPa \quad (6)$$

El esfuerzo nominal secundario se calcula con la relación del momento flector y el segundo momento del área.

$$\tau'' = \frac{Mr}{I} = 188,59 MPa \quad (7)$$

La magnitud del esfuerzo máximo es la ecuación de Pitágoras:

$$\tau_{ult} = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} \quad (8)$$

$$\tau_{ult} = 189,41 MPa$$

Como el esfuerzo permisible es mayor al esfuerzo último, el tipo de soldadura a tope es el adecuado para el diseño y en base al esfuerzo máximo que no excede los 482 Mpase selecciona un electrodo E70xx.

3.6 Selección de elementos hidráulicos.

Se realizaron los cálculos estimando una presión basada en los datos de la central oleo hidráulica. Para que no exista confusión se denomina al cilindro que mueve a la mordaza como cilindro 1 ($\phi 1, A1, FR1, Q1$) y al cilindro que hace girar al castillo como cilindro 2 ($\phi 2, A2, FR2, Q2$) y un tercer cilindro que controla la posición del eje macho, el cilindro 3 no requiere mayor esfuerzo ya que su función es de controlar la posición del eje macho ya sea ingresándolo o retirándolo de la zona de conformado. La presión que corresponde a la bomba de engranajes es:

$$P = 20[MPa]$$

$$P = \frac{F}{A} \quad (9)$$

Donde:

$P = \text{Presión del cilindro.}$

$A = \text{Área del cilindro [m}^2\text{].}$

$F = \text{Fuerza de aplicación.}$

Despejando el área de la ecuación anterior y reemplazando los valores, se obtuvo:

$$A_1 = \frac{108.6 \times 10^3 N}{20 \times 10^6 Pa} = 5.4 \times 10^{-3} m^2 \quad (10)$$

$$A_2 = \frac{5.8996 \times 10^3 N}{20 \times 10^6 Pa} = 2.949 \times 10^{-4} m^2$$

Como la fórmula del área es:

$$A = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \quad (11)$$

Donde:

ϕ = Diámetro del cilindro [m].

Despejando el diámetro del cilindro de la ecuación y reemplazando los valores se tiene que:

$\phi_1 = 0.062m$ y $\phi_2 = 0.038m$.

3.7 Fuerza real ejercida por cilindros

La fuerza que realmente ejercerán cada uno de los cilindros hidráulicos será la calculada con el diámetro definitivo (diámetro comercial), es decir, con el diámetro real del cilindro.

$\phi_{com1} = 63mm$ (carrera 50mm) y $\phi_{com2} = 40mm$ (carrera 500mm)

De este modo, la fuerza resultante definitiva será:

$$F_{R1} = P \cdot A = 108.8kN \quad (12)$$

$$F_{R2} = P \cdot A = 6.001kN$$

3.8 Caudal de los cilindros.

Se calculó el caudal requerido por el cilindro para que su accionamiento se realice de manera adecuada.

Según fórmula de caudal se tiene que:

$$Q = V \cdot A \quad (13)$$

Donde:

Q = Caudal del cilindro [m^3/s].

V = Velocidad del vástago [m/s].

A = Área del cilindro [m^2].

Según la norma MiCRO en su manual para cilindros se establece que la velocidad de un cilindro según los diámetros calculados debe ser 0.016m/s [12]

$$Q_1 = V \cdot A = 8.64 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 5.184 \frac{l}{min}$$

$$Q_2 = V \cdot A = 2.0106 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 0.283 \frac{l}{min}$$

3.9 Bomba hidráulica.

Para el tipo de máquina, como en el caso de la conformadora, se necesita una bomba de engranajes externos de alta presión. En el interior de la carcasa van situados dos engranajes de dientes rectos rectificadas. Uno de los engranajes es el conductor y el otro, el conducido, ya que sus dos caras laterales de la carcasa quedan obturadas mediante sendas tapas. A continuación se presentan criterios para elegir este tipo de bombas como: la presión máxima de trabajo, el caudal máximo de trabajo, fácil mantenimiento, tener en cuenta la energía que requiere la bomba para su fase de arranque y la eficiencia de dicha bomba.

- Motor eléctrico

Potencia: 3hp

Velocidad: 1745rpm

- Bomba Hidráulica de engranes

Marzocchipump GHP1-D-13

Cilindrada: 9.3 cm³/rev

Caudal: 13.3 lit/min´

3.10 Fluido hidráulico.

Fluido hidráulico: Aceite hidráulico Anti desgaste (AW) ISO VG 68

4. Resultados.

Los resultados obtenidos parten del diseño de la estructura base mostrada en la Figura 10 que representa a la bancada (1) en donde se sitúan las guías para las hojas (2) y el alojamiento para la central oleo hidráulica (3) y luego la adaptación de los elementos de conformado mostrados en la Figura 11 que representan a la torre (4), castillo rotativo (5), cilindro 1 para conformado (6), cilindro 2 para el arrastre (7), mordaza (8), que mediante el método de arrastre, que ya fue explicado anteriormente, garantiza que el producto final cumpla con los requerimientos establecido en la norma propuesta.

Se puede observar también una estructura que brinda todas las facilidades para su mantenimiento y montaje de todos sus elementos constitutivos.

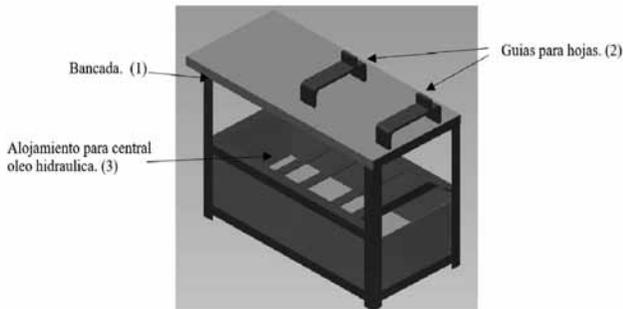


Figura 10. Estructura base.

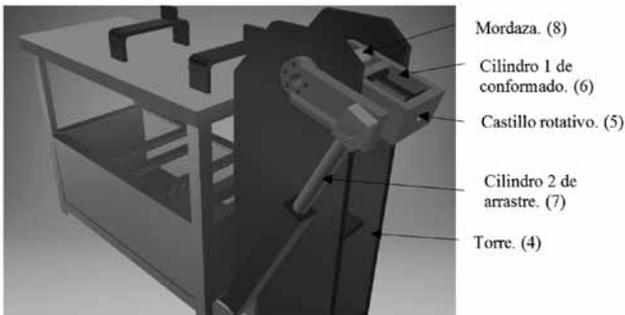


Figura 11. Diseño completo de la máquina propuesta.

El control de los cilindros hidráulicos que permiten el arrastre del castillo rotativo, la sujeción de la mordaza y la ubicación del eje macho en la posición de conformado, se deben en su totalidad a la disposición y al circuito eléctrico que controla los cilindros hidráulicos, esto se puede observar en las Figuras 12 y 13.

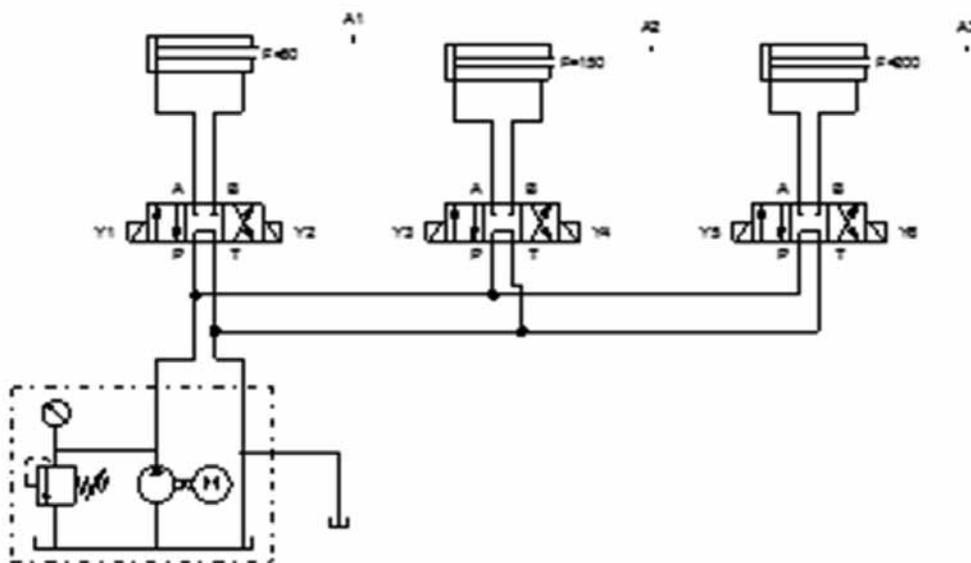


Figura 12. Circuito Hidráulico.

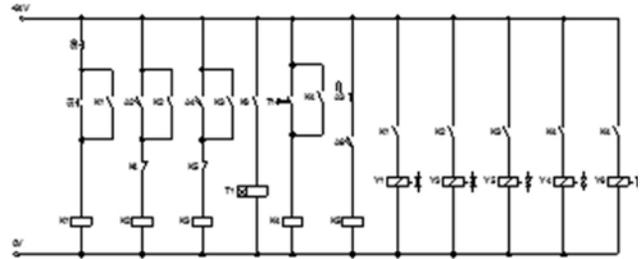


Figura 13. Circuito Eléctrico.

En la Figura 14, se puede observar el diagrama de estado, en este se muestran los estados de los 3 cilindros hidráulicos que intervendrán durante un ciclo de conformado, es decir, las posiciones de cada uno de los cilindros durante la conformación de una oreja de ballesta.

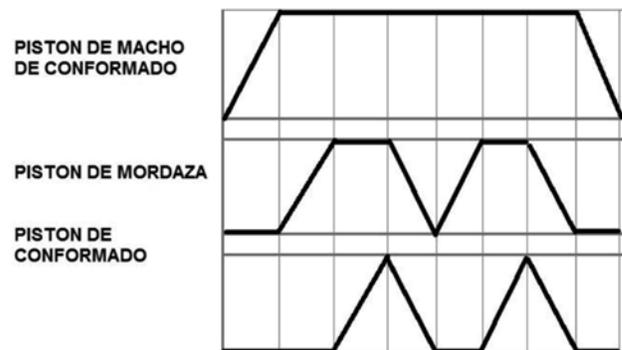


Figura 14. Diagrama de estados.

Para la validación del diseño se utilizó ANSYS, un software encargado de simular elementos mecánicos sometidos a fenómenos físicos.

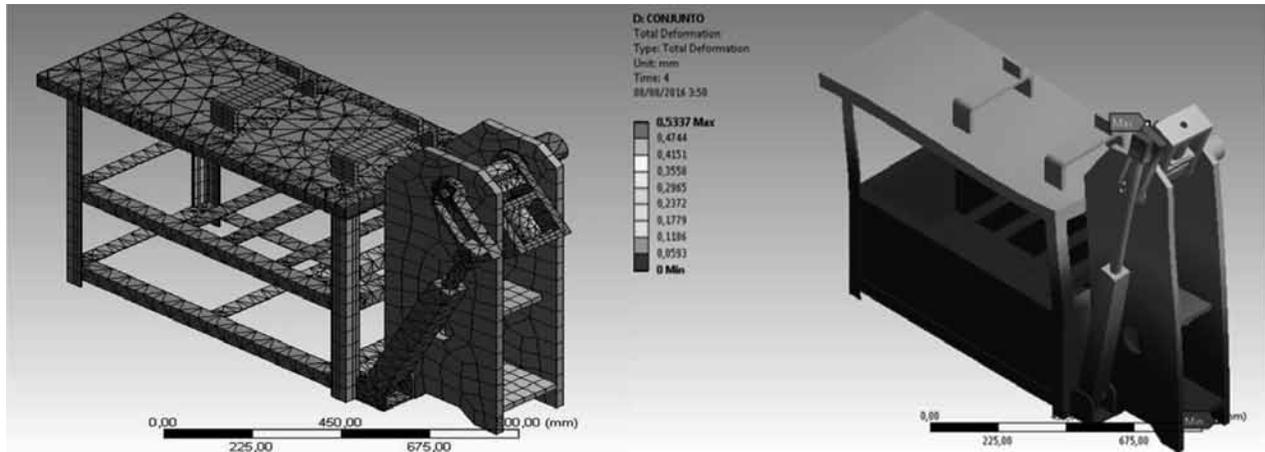


Figura 15. Mallado y deformación total del conjunto Simulado en ANSYS.

La simulación del diseño final en la Figura 15 muestra la sección donde la deformación máxima es 0.5mm analizado al espesor máximo de ballesta que la máquina puede conformar (19 mm), esto significa que la parte mencionada sufrirá un cambio de estado con respecto a su posición natural, sin embargo dicha deformación no implica un problema que comprometa la funcionalidad de la máquina.

Para la validación del principio de funcionamiento se construyó un prototipo logrando la conformación de chapas metálicas de 2mm de espesor como se puede observar en la Figura 16.

varios espesores (19 mm máximo) mediante el método de doblado por arrastre, con un factor de seguridad adecuado que garantice el funcionamiento de todos los elementos de diseño y por último que cumpla con los estándares de la norma propuesta y satisfaga la necesidad existente en la industria. Además, por su diseño, esta máquina cuenta con accesos que brindan facilidades para el mantenimiento de los sistemas constitutivos.

Con el diseño generado se da una solución viable, confiable y versátil al problema presentado actualmente y, de esta manera, eliminar los niveles de ausentismo siendo una máquina segura y eficiente, también la disminución en los tiempos de conformado con un producto que cumple los requisitos de la norma propuesta.



Figura 16. Prototipo de máquina para conformar ojos u orejas de ballestas.

5. Conclusiones.

Dentro de los requerimientos iniciales está el diseño de una máquina automatizada impulsada de manera hidráulica, que sea capaz de conformar ballestas de

Se pudo obtener un diseño óptimo, funcional y, por las características presentadas, de fácil construcción. La fijación de la máquina al suelo también es un factor importante puesto que de esta manera se garantizará la estabilidad de la misma durante el proceso de doblado.

Referencias.

- [1] Servicio Ecuatoriano de Normalización, "NTE INEN 3017", INEN, Quito.
- [2] IMAC. Sistema de suspensión. [Consultado:15-Jun-2016]. Disponible en internet: http://www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/docencia/assignaturas/maquinas-iti/Trabajos/Amortiguadores.pdf.
- [3] Mecánica del automóvil: sistema de suspensión. [Consultado:15-Jun-2016]. Disponible en internet: <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/sistema-de-suspension.html>.
- [4] A. Pintado Pizarro. Propuesta para la optimización del proceso productivo en la fábrica de resortes vanderbilt. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Mención en producción. Universidad Politécnica Salesiana, 2010.
- [5] APM. Automotive Holding Berhad. [Consultado:15-Jun-2016]. Disponible en internet: <http://www.apm-automotive.com.my/suspensiondiv.htm>.
- [6] Product Details from Shandong General Technology Co. Parabolic rolling machine/leaf spring making machine, View parabolic rolling machine, SDGT. [Consultado:15-Jun-2016]. Disponible en internet:http://sdgt.en.alibaba.com/product/277235409-9707358/parabolic_rolling_machine_leaf_spring_making_machine.html.
- [7] Selección de materiales en el diseño de máquinas. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España, 2008.
- [8] Method for manufacturing leaf springs. US 9,278,387 B2, 2012.
- [9] M. Rossi y R. Fortet Gay, Estampado en frío de la chapa. Barcelona: Dossat, 1979.
- [10] F. Beer, E. Johnston y J. DeWolf, Mecánica de materiales. México: McGraw-Hill, 2007.
- [11] J. Shigley y C. Mischke, Standard handbook of machine design. New York: McGraw-Hill, 1986.
- [12] SMC Cilindros hidráulicos. [Consultado:15-Jun-2016]. Disponible en internet: https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/local/ES/cilindros_hidraulicos/CH_cat_es.pdf.