

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA MATRIZ PARA PROCESOS DE
CONFORMADO UTILIZANDO LA PRENSA HIDRÁULICA DEL
LABORATORIO LTI DE LA ESFOT**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA MATRIZ DE EMBUTICIÓN PARA LA
PRENSA HIDRÁULICA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR
EN ELECTROMECAÁNICA**

JENNY KARINA TISALEMA PURUNCAJA

DIRECTOR: JONATHAN GABRIEL LOOR BAUTISTA

DMQ, febrero 2024

CERTIFICACIONES

Yo, JENNY KARINA TISALEMA PURUNCAJA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Jenny Karina Tisalema Puruncaja

jenny.tisalema@epn.edu.ec

jennykarina-17@hotmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Jenny Karina Tisalema Puruncaja bajo mi supervisión.

Jonathan Gabriel Loor Bautista

DIRECTOR

jonathan.loor@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

JENNY TISALEMA

DEDICATORIA

A mi hija Emily por formar parte de mi vida, por cada alegría que me regala día con día por estar a mi lado apoyándome con sus travesuras y regalando el tiempo que es de ella a lo largo de esta carrera, por cada sonrisa llena de cariño y amor.

A mi esposo por todo su apoyo y comprensión he podido seguir adelante para cumplir mi meta.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su sabiduría y cuidado a lo largo de mi carrera universitaria permitiéndome llegar a la recta final.

A mis padres, por enseñarme el valor del trabajo y por cada palabra de aliento.

A mi esposo por su apoyo incondicional para culminar mi carrera universitaria.

A los ingenieros docentes que tuve la oportunidad de conocer en este camino y me apoyaron con su conocimiento para ser un mejor profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo General.....	2
1.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	3
2 METODOLOGÍA.....	16
2.1 Diseño de la matriz de embutición	17
2.2 Modelado de la matriz de embutición.....	20
2.3 Desarrollo del proceso de embutición mediante simulación.....	22
2.4 Fabricación de la matriz de embutición.....	27
2.5 Adaptación de la matriz de embutición a la prensa hidráulica	30
3 RESULTADOS.....	35
3.1 Funcionamiento	35
3.2 Pruebas y Análisis de Resultados	35
Prueba 1	35
Prueba 2.....	36
Prueba 3.....	38
Prueba 4.....	39
Prueba 5.....	39
3.3 Manual de funcionamiento de la matriz de embutición.....	42

3.4	Manual de mantenimiento de la matriz de embutición.....	42
4	Conclusiones.....	43
5	Recomendaciones	45
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
7	ANEXOS.....	48
	Anexo I. Reporte de Similitud Generado por Turnitin	49
	Anexo II. Certificado de Funcionamiento de Trabajo de Integración curricular	50
	Anexo III. planos de la matriz de embutición	51

RESUMEN

El objetivo de este proyecto de titulación fue la implementación y diseño de una matriz de embutición para procesos de conformado mecánico en frío. El proyecto se lo realizó para el Laboratorio de Control Industrial (LTI) de la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT), con esto se busca lograr que los estudiantes observen estos procesos y refuercen sus conocimientos en la asignatura de Procesos de Manufactura.

Para empezar el diseño se realizó una amplia investigación del funcionamiento de la prensa hidráulica con la que cuenta el LTI, luego de lo cual se obtuvo los resultados de los parámetros que se tuvieron en cuenta en la fabricación de la prensa. Considerando los parámetros se procedió a realizar al diseño de la matriz de embutición, así como la selección del material para su fabricación. Se realizó el modelado en el software “Autodesk Inventor” y el análisis estático en el programa computacional de simulación “Ansys Académico”, en donde se verificó la altura máxima de deformación y la viabilidad del proceso, para posteriormente proceder con la fabricación de sus componentes.

Para el funcionamiento de la matriz de embutición se instaló un sistema de fijación, una guía en el pistón y un sistema de seguridad en la subida y bajada del pistón hidráulico, lo cual permitirá el correcto funcionamiento de la matriz.

Para comprobar el funcionamiento de la matriz de embutición se planteó como aplicación la obtención de piezas cilíndricas huecas de diversas profundidades, y con diferentes diámetros de las láminas de aluminio para observar un proceso de embutición sin el uso de la fijación y otra con el uso de esta. Mediante estas pruebas se verificó el comportamiento del material y los efectos que se producen durante el proceso de embutición.

Finalmente, como última actividad, se elaboró un videotutorial donde se muestra la forma de uso y mantenimiento de la matriz de embutición.

PALABRAS CLAVE: Ansys Académico, análisis estático, matriz de embutición

ABSTRACT

The purpose of this degree Project was the implementation and design of a drawing matrix for cold mechanical forming processes. The Project was carried out for the Industrial Control Laboratory of the School of Training of Technologists (ESFOT), this seeks to ensure that students observe these processes and reinforce their knowledge of them.

To begin the design, an extensive investigation of the operation of the hydraulic press was carried out, after which the results of the parameters considered for its manufacture were obtained. Considering the parameters, the design of the drawing matrix was carried out, as well as the selection of the material for its manufacture. The modeling was carried out in the "Autodesk Inventor" software and the static analysis in the computer simulation program "Ansys Academic", where the maximum deformation height and the viability of the process were verified, to subsequently proceed with the manufacturing of its components.

For the operation of the drawing die, a fixing system was installed, a guide on the piston and a safety system for the rise and fall of the hydraulic piston, which will allow the correct functioning of the die.

To check the operation of the drawing matrix, the application was to obtain hollow cylindrical pieces of various depths at different diameters of the aluminum sheets to observe a drawing process without the use of fixation and another with the use of it. Through these tests, the behavior of the material and the effects that occur during the drawing process will be verified.

Finally, as the last activity, a video tutorial is prepared showing how to use and maintain the drawing matrix.

KEYWORDS: Ansys Academic, static analysis, die drawing

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En el presente trabajo de integración curricular se ha implementado una matriz de embutición para procesos de conformado mecánico en frío, la cual tiene como finalidad reforzar los conocimientos teóricos adquiridos por los estudiantes de forma práctica al cursar la materia de Procesos de Manufactura en la ESFOT. La matriz de embutición implementada está compuesta por diferentes componentes como: un punzón, una matriz, una fijación y la estructura de la prensa hidráulica. Para el correcto funcionamiento se fabricó un sistema de soporte para el cilindro hidráulico como una guía para el pistón y se añadió un sistema de seguridad para el uso del pistón hidráulico.

Se realizó la revisión del manual de funcionamiento de la prensa hidráulica para conocer los parámetros de funcionamiento como son los esfuerzos mecánicos que soporta la estructura y el factor de seguridad de diseño. Se realizó el diseño de la matriz de embutición en el software computacional Autodesk Inventor Professional y el análisis estático en programa Ansys Académico, en el que se obtuvo el diseño final. Es así como, obtenidos los planos finales de diseño se procedió a la fabricación de los diferentes componentes de la matriz, y posteriormente a su respectivo ensamble en la estructura de la prensa hidráulica mediante el uso de tuercas, tornillos y arandelas de presión.

Ensamblados los componentes de la matriz de embutición en la prensa hidráulica, se procedió a implementar el sistema de soporte para prevenir la desviación del vástago al momento de accionar el cilindro; una guía para eliminar el giro del pistón cuando se acciona y un sistema de seguridad operativa mediante dos pulsadores para subir y bajar el pistón.

Una vez implementado el sistema de seguridad, se realizaron diversas pruebas de funcionamiento de la matriz de embutición tanto con la fijación y sin está, empleando láminas de diferentes diámetros los cuales se detallan en el capítulo de análisis de resultados.

Finalmente, se realizó un videotutorial para aclarar las posibles dudas en cuanto al funcionamiento y mantenimiento de la matriz de embutición y de la guía del pistón.

1.1 Objetivo General

Implementar una matriz para procesos de conformado mecánico utilizando la prensa hidráulica del laboratorio LTI de la ESFOT.

1.2 Objetivos Específicos

- Revisar los manuales de funcionamiento de la prensa hidráulica del LTI.
- Diseñar una matriz de embutición para soportar los esfuerzos y carga de los procesos de conformado mecánico en frío.
- Construir la matriz con base en el diseño realizado previamente.
- Adaptar a la prensa hidráulica la matriz de conformado mecánico de embutición del laboratorio LTI de la ESFOT.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del proceso de embutición.

Elaborar un videotutorial del funcionamiento del proceso de embutición.

1.3 Alcance

Para este proyecto se va a realizar el diseño, fabricación e implementación de una matriz de embutición para la prensa hidráulica del laboratorio del LTI de la ESFOT. Se utilizará netamente para reforzar los conocimientos de forma didáctica adquiridos en la asignatura de Procesos de Manufactura debido a que cada proceso en temas de conformado mecánico en frío es diferente.

Durante la etapa de diseño, se empezará con el dimensionamiento, luego con la elaboración de los planos cumpliendo las especificaciones de operación de la prensa hidráulica, posteriormente se obtendrá una matriz de embutición para una operación de conformado de láminas metálicas para hacer recipientes cilíndricos. Adicionalmente, una vez concluida la fabricación de la matriz de embutición se adaptará a la prensa hidráulica. De la misma manera es necesario adaptar un sistema de fijación para prevenir el desplazamiento del cilindro, una guía para eliminar el giro de la matriz cuando se accione y un sistema de seguridad operativa mediante la activación de dos pulsadores de encendido para que el pistón baje.

Con el desarrollo de este proyecto se busca que los estudiantes puedan observar el proceso de embutición, el cual aborda la formación de chapas mediante deformación plástica. Durante este proceso, la chapa experimenta transformaciones simultáneas

debido al estiramiento y alargamiento, mediante la presión aplicada por un pistón obteniendo un recipiente cilíndrico de poca profundidad.

Así mismo, al finalizar el proyecto se realizará un video del proceso de embutición con la prensa hidráulica para garantizar el correcto funcionamiento de la matriz.

1.4 Marco teórico

Proceso de conformado mecánico

El conformado plástico de metales comprende todos aquellos procedimientos de fabricación cuyo objetivo es dar forma a piezas metálicas, asegurando que tanto su volumen como su masa se mantengan constantes. Para este proceso es importante identificar la zona de comportamiento plástico es decir la zona que se trabaja, lo cual requiere superar la zona de fluencia para lograr una deformación permanente. En este proceso, el material es sometido a esfuerzos que exceden los límites elásticos, disminución de la ductilidad del material, [1]. Lo mencionado anteriormente se lo puede apreciar en la Figura 1.1.

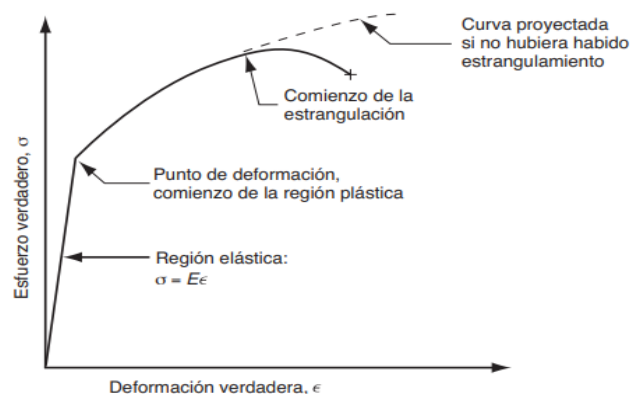


Figura 1.1 Diagrama del esfuerzo vs deformación unitaria, [1].

Al considerar los materiales se debe tener en cuenta algunas propiedades, como un límite de fluencia bajo y una alta ductilidad. Estas propiedades pueden verse afectadas por la temperatura. En caso de un aumento en la temperatura, el límite de fluencia disminuye y la ductilidad aumenta, [1].

El proceso de conformado en frío, en términos simples implica la manipulación de materiales a temperatura ambiente. Este procedimiento resulta en la obtención de materiales con un aumento de la resistencia, mejores acabados, tolerancias reducidas

y menor oxidación. Es importante tener en cuenta que, debido al endurecimiento por deformación, los materiales experimentan un aumento en su resistencia, lo que requiere que la máquina utilizada tenga una potencia de trabajo más elevada, [2].

El proceso de conformado en caliente se refiere a la deformación plástica de un material metálico a una temperatura de trabajo mayor a la recristalización, esto ofrece la ventaja de lograr una deformación plástica casi ilimitada, especialmente para dar forma a partes grandes porque el metal tiene una baja resistencia y alta ductilidad, [2].

Existen diversos procesos de conformado industrial que se emplean con el objetivo de dar una forma específica a una chapa. Desde este punto de vista se puede identificar varias operaciones de las cuales las más importantes se detallan en la Figura 1.2.



Figura 1.2 Proceso de conformado

Matricería

La matricería en la mecánica industrial se centra al estudio y desarrollo de técnicas para fabricar utillaje como: moldes y estampas, utilizado en la obtención de piezas en chapas metalizas sin eliminar material. Este proceso es ampliamente aplicado en diversos procesos industriales debido a sus ventajas y propiedades mecánicas. La formación de las piezas implica trabajar las superficies mediante mecanizado en máquinas industriales y la fundición o deformación plástica mediante golpes de una prensa. Aunque este método es más rápido, requiere la preparación previa de moldes o matrices que reproduzcan la forma deseada de la pieza, ya sea para fundirla en un molde metálico o para cortarla, estamparla o forjarla, [3].

Embutición

La embutición es un proceso de conformado por deformación plástica en el que se transforma una chapa metálica plana en un cuerpo hueco cilíndrico mediante la aplicación de presión por un punzón. Aunque teóricamente se infiere que la superficie de la pieza resultante debería ser igual a la chapa plana utilizada. Sin embargo, en la práctica esto no siempre se cumple con exactitud. La embutición puede llevarse a cabo en frío a (temperatura ambiente) o en caliente, siendo necesario elevar la temperatura de la chapa a alrededor de 800-850 (°C) en el caso de aceros suaves, [3].

Proceso de embutición

El proceso de embutición implica deformar una chapa metálica utilizando fuerzas de tracción y compresión, manteniendo constante el espesor de la pared, [4]. Lo mencionando anteriormente se lo puede apreciar en la Figura 1.3.

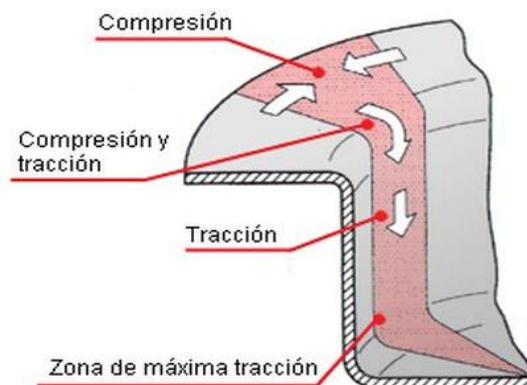


Figura 1.3 Representación de fuerzas que se presentan en el proceso de embutición, [5].

Dado que, en el proceso de embutición de chapas metálicas es crucial evitar arrugas mediante el uso de un sujetador o fijación de las chapas metálicas que, aplique fuerzas de compresión controladas, evitando el estiramiento excesivo de la chapa metálica. Para asegurar un resultado óptimo, se debe considerar varios factores, [4].

- a) Geometría de las herramientas: estas deben tener la forma adecuada para distribuir las fuerzas de tensión de manera acorde a la forma deseada, evitando posibles fisuras en la pieza final.
- b) Características de las herramientas: seleccionar un material con propiedades mecánicas idóneas es esencial para el éxito del proceso de embutición.
- c) Comportamiento a la fricción: garantizar una buena lubricación es crucial para el funcionamiento eficiente de las herramientas y lograr una deformación homogénea del material. El uso de materiales con acabados de calidad contribuye a obtener piezas bien terminadas.
- d) Relación entre fuerzas y máquinas herramientas: calibrar cuidadosamente la fuerza aplicada en la máquina, las matrices de diseño y la pieza final es fundamental. El exceso en la medición de fuerza puede resultar en defectos en las piezas finales durante el proceso de embutición.

Descripción del proceso de embutición

En el proceso de deformación, se observa varias etapas que se resumen a continuación y se las pueden apreciar en la Figura 1.4.

Etapas 1: el punzón dobla la lámina sobre la esquina del troquel, moviendo el perímetro exterior hacia el centro de manera leve.

Etapas 2: a medida que el punzón avanza, se produce un enderezado del metal doblado sobre el radio del troquel, desplazándose hacia abajo con el punzón.

Etapas 3: se requiere más metal para formar la pared del cilindro, y este proviene del borde exterior de la forma original. La porción exterior de la forma se embute hacia la apertura del troquel, reemplazando el metal doblado y enderezado que ahora forma la pared del cilindro, y este flujo restringido de metal es lo que define el proceso de embutición. En esta fase del proceso de embutición, la fricción y la compresión son elementos fundamentales en la formación de la pieza. La fricción estática inicial da paso a la fricción dinámica cuando el metal comienza a moverse. La fuerza de sujeción del sujetador y las condiciones de fricción son críticas por lo que se emplean

lubricantes para reducir la fricción. La compresión ocurre en las pestañas exteriores de la forma, disminuyendo el perímetro exterior y pudiendo resultar en el arrugado de la brida remanente, especialmente con láminas delgadas o fuerzas insuficientes del sujetador.

Etapa 4: la fuerza de sujeción es crucial, ya que si es demasiado pequeña puede causar arrugas y si es demasiado grande puede obstaculizar el flujo del metal, llevando a estiramiento o desgarramiento. Determinar las fuerzas correctas implica un equilibrio delicado entre estos factores opuestos.

Etapa 5: a medida que el punzón desciende, el metal fluye debido al estiramiento y la compresión. Las paredes del cilindro se adelgazan, y la fuerza del punzón se opone al metal, generando deformación y fricción. Es una operación exitosa, puede ocurrir hasta un 25% de adelgazamiento, principalmente cerca de la base, [6].

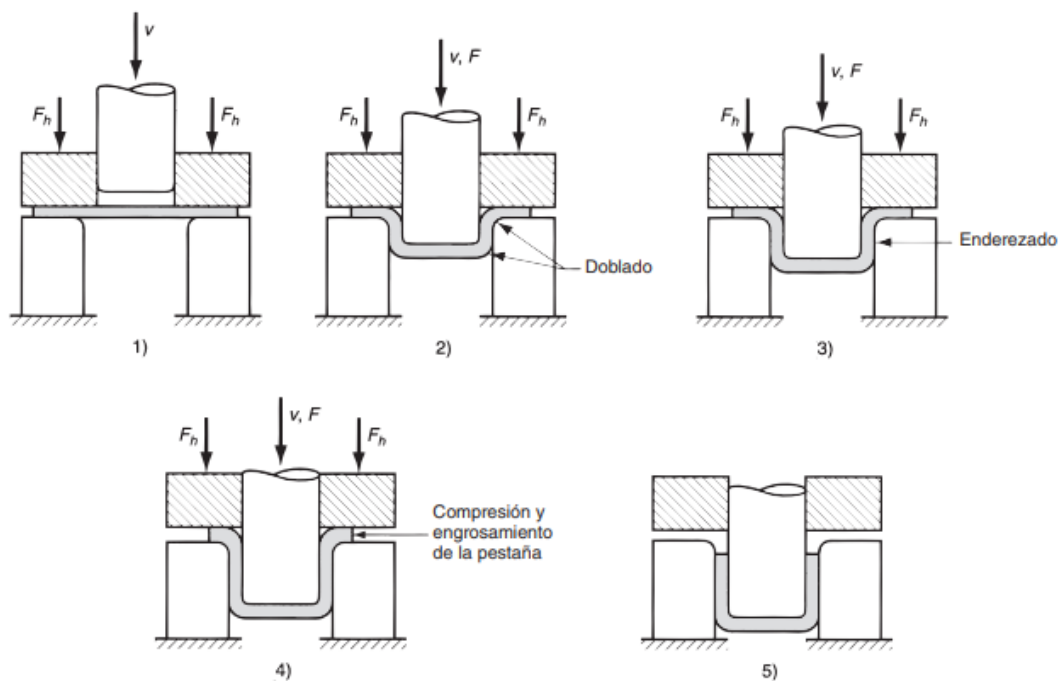


Figura 1.4 Etapas en la deformación del material en el proceso de embutición, [6].

Defectos de las piezas embutidas

“El embutido de lámina metálica es una operación más compleja que el corte o el doblado; por tanto; hay más cosas que pueden fallar. Pueden presentarse numerosos defectos en un producto embutido”, [6]. A continuación, se describen los defectos mayormente presentados, y que se muestran en la Figura 1.5.

- a) Arrugamiento en la brida o pestaña: el arrugamiento en una pieza embutida se refiere a pliegues que se forman en la parte exterior de la pieza provocado por el pandeo compresión.
- b) El arrugamiento en la pared: si se introduce la brida arrugada en el cilindro, se generan pliegues en la pared vertical del cilindro.
- c) Desgarramiento: se produce una grieta cerca de la base de la pieza embutida, esto sucede debido a los altos esfuerzos de tensión que provocan el debilitamiento y la ruptura del metal.
- d) Orejeado: se produce la creación de irregularidades, conocidas como orejas, el borde superior de la pieza embutida debido a la presencia de anisotropía en la lámina de metal. En caso de que el material sea completamente isotrópico, no se desarrollan estas protuberancias.
- e) Rayados superficiales: este fenómeno ocurre cuando las superficies del punzón y la placa matriz presentan irregularidades, y también puede deberse a la insuficiente lubricación, siendo esta una de las causas.

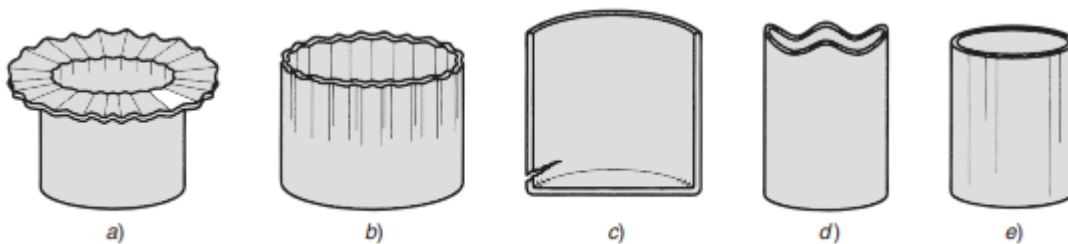


Figura 1.5 Defectos comunes en las piezas embutidas a) el arrugamiento puede ocurrir en la pestaña, b) en la pared, c) desgarramiento, d) orejeado, y e) rayado superficial, [6].

Tipos de embutición

La embutición se realiza de dos maneras: simple efecto y doble efecto.

Embutición de simple efecto: este proceso se le denomina embutición sin fijación, se emplea en la formación de piezas de poca profundidad, es decir, con una altura limitada. En este proceso se utilizan herramientas específicas que incluyen el uso de un punzón y una matriz con un agujero que permite el paso del punzón, [7], como se indica la Figura 1.6.

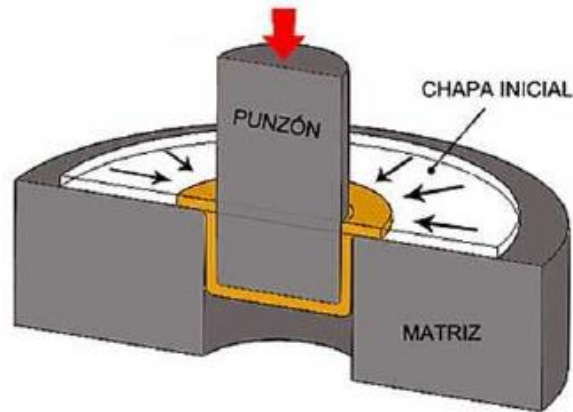


Figura 1.6 Esquema de embutición de simple efecto, [8].

Embutición de doble efecto: es un proceso de transformación en el que una chapa se convierte en una pieza con forma de cubeta, manteniendo constante el espesor de la chapa metálica. Los elementos clave en este proceso son el punzón, el pisador y la matriz, como se indica en la Figura 1.7.

Durante la embutición, el pisador ejerce una compresión lateral en las moléculas permitiendo su desplazamiento radial. Este enfoque evita pliegues no deseados, lo que sería un problema en embuticiones simples donde no se utiliza un pisador. La embutición de doble efecto aborda esta limitación y trabaja con todas las alturas posibles, ofreciendo mayor versatilidad en la formación de la pieza, [7].

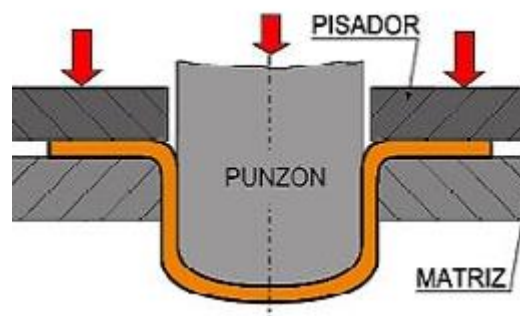


Figura 1.7 Esquema de embutición de doble efecto, [8].

Parámetros de embutición

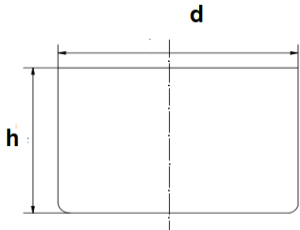
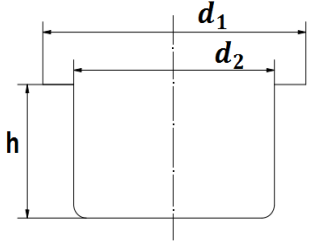
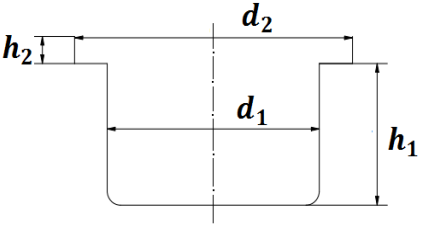
Determinación del tamaño de la lámina en forma original

Uno de los desafíos más significativos en el proceso de embutición reside en la tarea de establecer las dimensiones y la forma de la chapa, de manera que, una vez sometida al proceso de embutición genere la forma del recipiente deseado con el uso mínimo de material. A lo largo del tiempo, se han explorado y evaluado diversos métodos con el

objetivo de determinar de manera práctica y sencilla las dimensiones originales de una chapa. No obstante, estos enfoques solo resultan efectivos en figuras que presentan una geometría regular, ya sea de líneas rectas o de sección circular. Un método básico para realizar el cálculo del desarrollo es considerar como una superficie equivalente de la pieza desarrollada, en lugar de un valor lineal de la misma, [9].

En la tabla 1.1 se pueden observar, algunas formas de piezas con sus respectivas fórmulas para calcular el diámetro de la chapa a embutir.

Tabla 1.1 Ecuaciones para el diámetro del disco en forma inicial D_b

Diámetro de la pieza inicial	Forma del recipiente
$D_b = \sqrt{d^2 + 4(d \times h)}$	
$D_b = \sqrt{d_2^2 + 4(d_1 \times h)}$	
$D_b = \sqrt{d_2^2 + 4(d_1 \times h_1 + d_2 \times h_2)}$	

Relación de embutido

La relación de embutido (DR) se emplea para evaluar la intensidad de una operación de embutido profunda. En el caso de una forma cilíndrica, se calcula dividiendo el diámetro del disco (D_b) en forma inicial entre el diámetro del punzón, como se puede ver en la Ecuación 1.1, [10].

$$DR = \frac{D_b}{D_p}$$

Ecuación 1.1 Relación de embutición (DR), [10].

Donde:

D_b : Diámetro del disco en forma inicial (mm)

D_p : Diámetro del punzón (mm)

Esta relación ofrece una indicación de la severidad de la operación de embutido. Cuanto menor sea la relación, menor será la severidad de la operación. Se estima que, para un valor inferior de 2, la operación de embutido se realizará en un solo paso, [10].

Reducción

La reducción (r) es otra forma de caracterizar una operación específica de embutición, como se puede ver en la Ecuación 1.2, [10].

$$r = \frac{D_b - D_p}{D_b}$$

Ecuación 1.2 Reducción (r), [10].

Donde:

D_b : Diámetro del disco en forma inicial (mm)

D_p : Diámetro del punzón (mm)

La reducción (r) está fuertemente relacionada con la relación de embutido (DR). De acuerdo con el límite establecido $DR \leq 2$. El valor de la reducción (r) debe ser inferior a 50%, [10].

Relación de espesor al diámetro

La relación de espesor al diámetro (e_d) se calcula dividiendo el espesor original del material o de la lámina entre el diámetro del disco en forma inicial, cuyo valor es recomendado que sea mayor al 1%, como se puede ver en la Ecuación 1.3, [10].

$$e_d = \frac{t}{D_b}$$

Ecuación 1.3 Relación de espesor al diámetro (e_d), [10].

Donde:

t: Espesor original del material o la lámina (mm)

D_b : Diámetro del disco en forma inicial (mm)

Razón máxima de deformación

La razón máxima de deformación (LDR) para formas cilíndricas se calcula dividiendo el radio del disco inicial entre el radio del punzón, siendo este último el máximo para embutir sin cometer errores, como se puede ver en la Ecuación 1.4, [11].

$$\text{LDR} = \frac{R_0}{R_i} = 2,72$$

Ecuación 1.4 Razón máxima de deformación, [11].

Donde:

R_0 : Radio del disco inicial (mm)

R_i : Radio del punzón (mm)

Se recomienda un valor de 2,72 para el LDR, el valor de 2,72 se establece por el análisis del criterio de fallo de Tresca para la máxima embutición sin producir errores. Si el valor es inferior de 2,72 indica que los diámetros de la matriz están correctamente dimensionados.

Radio entre el punzón (r_p) y la matriz (R)

Es crucial realizar un adecuado redondeo tanto en el punzón como en la matriz, con el fin de prevenir el desgarro o la ruptura del material en casos de aristas afiladas o poco pulidas. Asimismo, se debe evitar un redondeo excesivo ya que podría dar lugar a pliegues o arrugas excesivas en la chapa, [10], como se indica en la Figura 1.8.

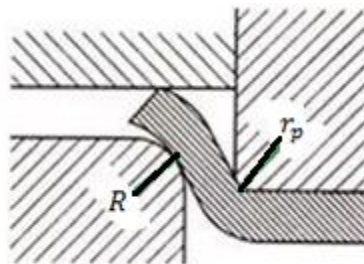


Figura 1.8 Radio de redondeo de punzón y matriz, [10].

A continuación, se puede ver la Ecuación 1.5 para el cálculo del radio de redondeo de la matriz.

$$R = 0,9 \times \sqrt{(D_b - D_p) \times t}$$

Ecuación 1.5 Radio de la matriz, [10].

Donde: $5t$

D_b : Diámetro del disco en forma inicial (mm)

t : Espesor original del material o la lámina (mm)

D_p : Diámetro del punzón (mm)

Para el cálculo de radio de redondeo del punzón (r_p) se aplica la relación $3t \leq r_p \leq 5t$

Juego entre punzón y matriz (c)

Se refiere a la distancia entre el punzón y el anillo de la matriz. Cuando hay una holgura considerable, se puede ocasionar deformaciones, ondulaciones y pliegues en la pieza. En cambio, si la holgura es mínima, se provoca un adelgazamiento en la pared. Un juego aceptable esta entre 1,4 veces el espesor de la chapa, como se puede ver en la Ecuación 1.6, [11].

$$c = 1,4 \times t$$

Ecuación 1.6 Juego entre punzón y matriz, [10]

Fuerza de embutición

La fuerza es una variable esencial en el proceso de embutición, siendo fácil de calcular en cuerpos cilíndricos, pero más complicado en piezas con formas irregulares. Su magnitud aumenta rápidamente al iniciar la embutición y alcanza su máximo cuando el punzón logra la profundidad o altura deseada en el material. A continuación, se describe uno de los métodos para determinar la fuerza o presión necesaria en el punzón durante este proceso, [9]. Mediante la Ecuación 1.7 se puede obtener la fuerza de embutición. Considerando un valor de 0,7 para el factor de corrección para la fricción entre la matriz de embutición y el material, este valor se determina considerando la residencia al flujo del material, las pérdidas de energía debido a la fricción y otras variables del proceso basadas en experiencias y estudios empíricos en diversas situaciones prácticas.

$$F = \pi \times D_p \times t \times (TS) \times \left(\frac{D_d}{D_p} - 0,7 \right)$$

Ecuación 1.7 Fuerza de embutición, [9].

Donde:

F: Fuerza de embutición (N)

t: Espesor original del material o la lámina (mm)

TS: Resistencia a la tensión del material a usar (MP)

D_d : Diámetro del disco en forma inicial (mm)

D_p : Diámetro del punzón (mm)

Fuerza en la prensa chapa

En la operación de embutido, la fuerza de la prensa chapa o fijación es clave. La presión adecuada es fundamental, ya que la insuficiencia puede generar arrugas y pliegues, mientras que una presión excesiva puede provocar la rotura o el estiramiento de la lámina. A continuación, se puede ver la Ecuación 1.8 para el cálculo de la fuerza de la prensa chapa, [9].

$$F_h = 0,015 \times Y \times \frac{\pi}{4} \times [D_b^2 - (D_p + 2,2t + 2R_d)^2]$$

Ecuación 1.8 Fuerza de embutición, [9].

Donde:

F_h : Fuerza de sujeción en la embutición, (N)

Y: Resistencia a la fluencia de la lámina, (MPa)

t: Espesor original del material o la lámina, (mm)

D_p : Diámetro del punzón, (mm)

D_b : Diámetro del disco en forma inicial, (mm)

R_d : Radio de la esquina del troquel, (mm)

Velocidad máxima de embutición

Es la velocidad a la que se mueve el punzón durante la ejecución del proceso de embutición. Se han identificado velocidades óptimas específicas para cada tipo de

material, mismos que se detallan en la Tabla 1.2 con el propósito de prevenir la formación de arrugas en las láminas, [9].

Tabla 1.2 Velocidades máximas de embutición.

Material	Velocidad V_e en (mm/s)
Zinc y acero inoxidable	200
Acero Dulce	280
Aluminio	500
Latón	750

Lubricación de la chapa metálica

Para prevenir una resistencia excesiva al desplazamiento de la chapa, se recomienda lubricarla. Esto no solo reduce la fuerza necesaria para embutir, sino también para evitar un desgaste prematuro de la herramienta, [9], como se observa en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Lubricantes a usar en embutición fría, en relación con el material a deformarse.

Tipo de trabajo	Tipo de lubricante	Lubricantes para usar			
		Aceros al carbono	Aceros inoxidables y aleados	Aluminio	Cobre, latón, bronce.
Embutición poco profunda	Hidrosoluble	Pasta de grasa, jabón y polvo lubricante	-	-	Jabón líquido, o pasta de grasa y jabón no pigmentada.
	Oleosoluble	Aceite de base clorada	Aceite de base clorada	Aceite de base clorada	Aceite graso sulfurado.
Embutición profunda	Hidrosoluble	Polvo granular jabonoso	-	-	Pasta de grasa, jabón y polvo lubricante.
	Oleosoluble	Aceite graso	Aceite de base clorada	Aceite de base clorada	Aceite graso sulfurado.

2 METODOLOGÍA

Para el diseño e implementación de la matriz de embutición, para la prensa hidráulica se realizó una amplia investigación proyectiva. Esta iniciativa surge como respuesta a la necesidad práctica identificada en el laboratorio LTI de la ESFOT, donde se busca proporcionar a los estudiantes la facilidad de observar y poner en práctica el proceso de embutición en frío, logrando así reforzar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Electromecánica, estimulando los intereses de los estudiantes en la aplicación de estos procesos.

En la Figura 2.1, se presenta detalladamente el esquema empleado para llevar a cabo la ejecución de este proyecto.

Se realizó la revisión de los manuales de funcionamiento de la prensa hidráulica del LTI destinada a procesos de conformado mecánico en frío. La revisión de estos manuales fue un paso fundamental para comprender de mejor manera los parámetros con los cuales el sistema opera de manera normal. Además, se pudo realizar la selección de los mejores materiales a usar para la elaboración de las piezas.

Se procedió a seleccionar el acero ASTM A36 como material para la elaboración de las piezas, debido a que este presenta excelentes propiedades de soldabilidad, ductilidad, resistencia adecuada. Además, de ser económicamente accesible y ampliamente disponible en el mercado. Para la lámina que llevará a cabo el proceso de embutición se eligió una aleación de aluminio 1200 de temple H14 con espesor de 0,4 (mm) debido a su gran propiedad de elasticidad.

Una vez determinadas las medidas y los materiales a emplear se procedió a realizar el modelado en 3D en el software computacional "Inventor Professional" con el fin de elaborar los planos de las piezas de la matriz de embutición, los cuales fueron una base fundamental para efectuar el análisis estructural de la matriz utilizando el software "Ansys Académico". Esto con el fin de validar los posibles resultados para obtener una pieza cilíndrica hueca de poca profundidad.

Después de realizar los planos de diseño y el respectivo análisis para verificar la veracidad del proceso, se empezó con la fabricación de las distintas piezas de la matriz de embutición tales como el punzón, la fijación y la matriz.

Para mejorar en gran parte los acabados del proceso de embutición se acopló un sistema de fijación para evitar el desplazamiento del cilindro. Además, se realizó una guía para eliminar el giro del pistón durante el funcionamiento de la prensa

hidráulica. De la misma manera se adaptó un sistema de seguridad operativa de encendido para que suba y baje el pistón. Posteriormente, se procedió al montaje del punzón que va fijada en el extremo del vástago del pistón y la base de la matriz que va fijada en la mesa de la prensa hidráulica con cuatro pernos cada una.

Luego de haber montado la matriz de embutición, se realizó la primera prueba de funcionamiento de la matriz para verificar el proceso de embutición de la chapa de aluminio sin fijación y posteriormente se realizó la segunda prueba de funcionamiento de la matriz del proceso de embutición usando la fijación para lograr observar la influencia de esta en el proceso de embutición.

Como parte final del proyecto, una vez concluidas las pruebas de funcionamiento de la matriz, se realizó un videotutorial para garantizar el correcto funcionamiento de la matriz y el proceso de embutición, para que los estudiantes y los ingenieros docentes que vayan a usar la matriz de embutición lo hagan de manera correcta.

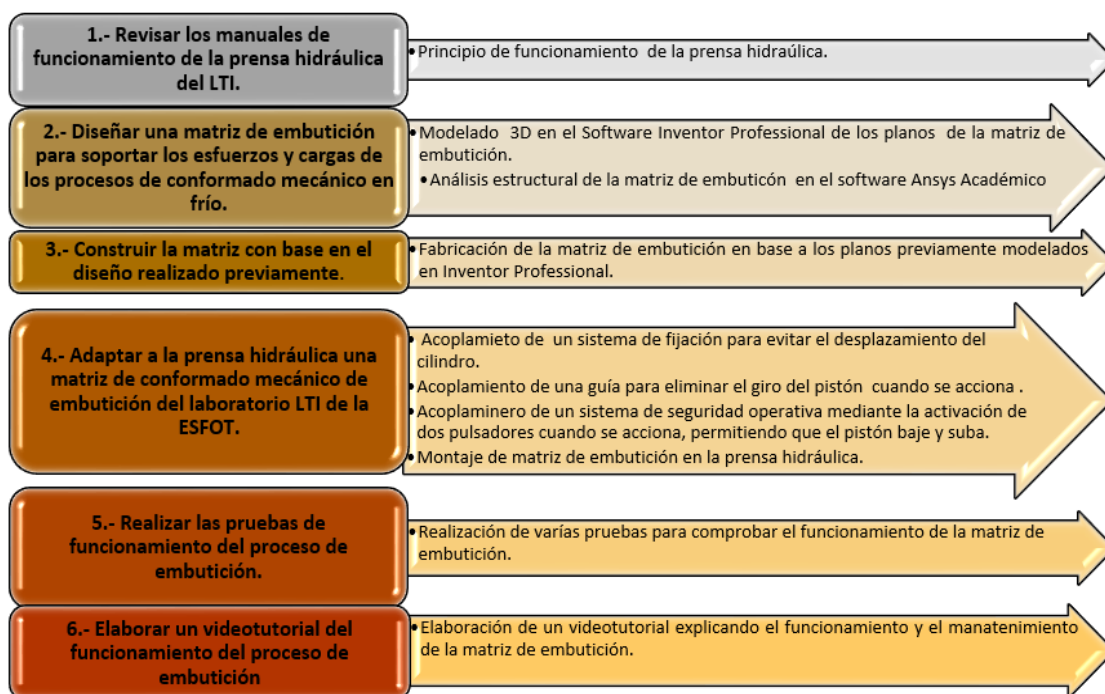


Figura 2.1 Esquema de la metodología utilizada para el proyecto

2.1 Diseño de la matriz de embutición

Para iniciar la implementación, se llevó a cabo el diseño de los diversos componentes de la matriz de embutición para lo cual se consideraron los diferentes parámetros geométricos para el respectivo dimensionamiento de las piezas. Aquí se presenta el

cálculo de estos parámetros realizados con ayuda de las ecuaciones indicadas en el marco teórico.

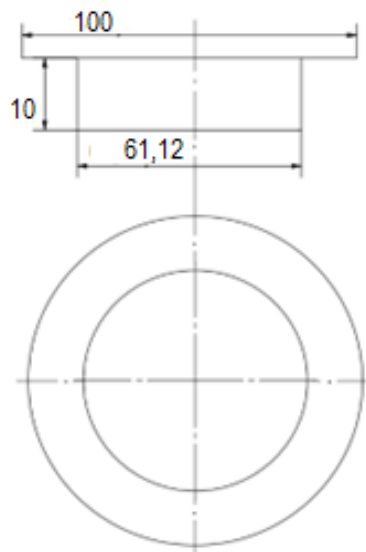


Figura 2.2 Dimensionamiento de la forma final de embutición

En primer lugar, se calculó el diámetro inicial de la chapa destinada al embutido del recipiente mostrado en la Figura 2.2. Para ello, se utilizó una de las ecuaciones que se encuentra en la Tabla 1.1.

$$D_b = \sqrt{(100)^2 + 4(61,12)(10)}$$

$$D = 115$$

- Diámetro del disco a embutir es de 115 (mm).

Una vez obtenido el valor del diámetro de la chapa, se determina la relación de embutición con la Ecuación 1.1.

$$DR = \frac{115}{60}$$

$$DR = 1,91$$

Posteriormente, se procede a calcular la reducción mediante la aplicación de la Ecuación 1.2.

$$r = \frac{115 - 60}{115}$$

$$r = 0,48 = 48\%$$

Luego, se lleva a cabo el cálculo de la relación entre el espesor y el diámetro mediante la aplicación de la Ecuación 1.3.

$$\frac{0,4}{115} = 0,34\%$$

De acuerdo con las medidas calculadas, se puede concluir que la operación de embutido es factible. Esto se debe a que la relación de embutición es menor a 2, la reducción es menor al 50% y la relación de espesor es de 0,34%

Para dar continuidad al análisis matemático, se expone en la Tabla 2.1 las propiedades mecánicas del aluminio ASTM A1200 temple H14, con un espesor de 0,4 (mm). Este material será sometido al proceso de embutición.

Tabla 2.1 Propiedades mecánicas del aluminio

Material	Resistencia a la tensión (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa)	Alargamiento %
Aluminio ASTM A1200 Temple H14	125 - 135	95 - 115	20

Razón máxima de deformación

Usando la Ecuación 1.4 se obtiene:

$$e = \frac{57,5}{30} = 1,91$$

La deformación máxima de la lámina a embutir es de 1,91 que está por debajo del valor máximo de 2,72 por lo que se puede concluir que los diámetros de la Figura 2.2 son correctos.

Radio de redondeo del punzón y la matriz

El cálculo del radio de redondeo de la matriz se realiza usando la Ecuación 1.5, con la que se obtiene:

$$R = 0,9 \times \sqrt{(115 - 60) \times 0,4}$$

$$R = 4$$

Para el radio de redondeo del punzón se debe tomar un valor considerando la relación $3t \leq r_p \leq 5t$

$$r_p = 5(0,4) = 2$$

Juego de embutición

Usando la Ecuación 1.6 se obtiene:

$$c = 1,4 (0,4)$$

$$c = 0,56$$

Fuerza de embutición

Para calcular la fuerza de embutición, se aplica la Ecuación 1.7.

$$F = \pi \times 60 \times 0,4 \times (135) \times \left(\frac{115}{60} - 0,7 \right)$$

$$F = 12,38 (kN)$$

Fuerza en el prensachapas

Para el cálculo de la fuerza en el prensachapas o fijación, se aplica la Ecuación 1.8.

$$F_h = 0,015 \times 115 \times \frac{\pi}{4} \times [(115)^2 - (60 + 2,2(0,4) + 2(2))^2]$$

$$F_h = 12,21 (kN)$$

2.2 Modelado de la matriz de embutición

Para empezar con el modelado en el software "Inventor Professional", se procedió al diseño todos los componentes que forman parte de la matriz de embutición. En la Figura 2.3, se visualiza el punzón diseñado para este proceso de embutición la cual está compuesta por una placa de acero de 120×100×8 (mm) y un punzón de 60 (mm) de diámetro.

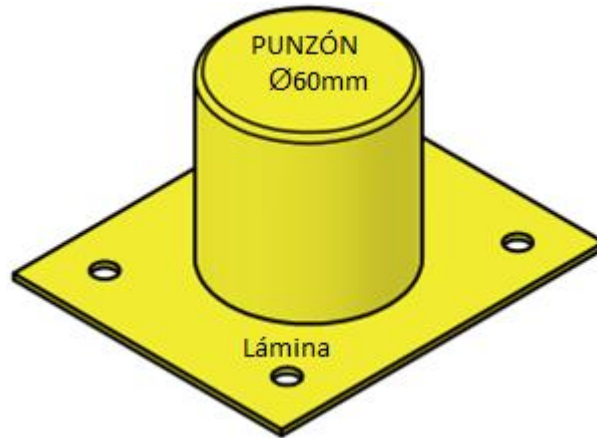


Figura 2.3 Punzón de la matriz

Luego, en la Figura 2.4 se evidencia la matriz que sirve para embutir la chapa de aluminio de 0,4 (mm) de espesor, formado por una placa de acero de 300×170×8 (mm) y un cilindro Ø140 (mm) con una abertura de Ø61,12 (mm) en su parte superior interior con una profundidad de 20 (mm). Adicionalmente tiene una base circular de Ø115 (mm) con una profundidad de 0,4 (mm) para colocar la lámina de aluminio.

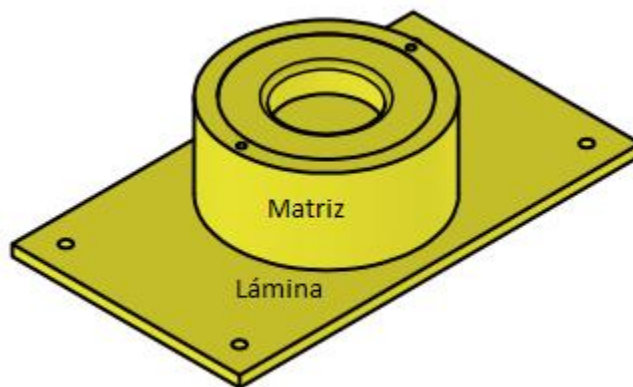


Figura 2.4 Matriz de embutición

Finalmente, en la Figura 2.5, se observa la fijación que sirve para ajustar la chapa de aluminio y minimizar la aparición de holguras, con un diámetro exterior de Ø140 (mm) y un diámetro interior de Ø67,71 (mm).

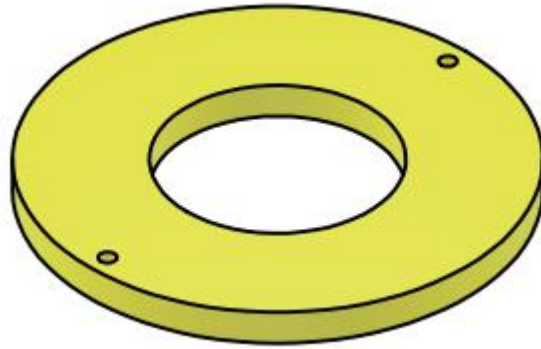


Figura 2.5 Fijación de la matriz

2.3 Desarrollo del proceso de embutición mediante simulación

El proceso de simulación se lo realizó para lograr observar los posibles resultados a obtener al momento de realizar el proceso de embutición en frío para lo cual se necesitó importar la geometría 3D de la matriz de embutición que consta de un punzón, de una fijación y la matriz diseñada en software “Autodesk Inventor Profesional 2023” al programa “ANSYS Académico”, como se muestra en la Figura 2.6.

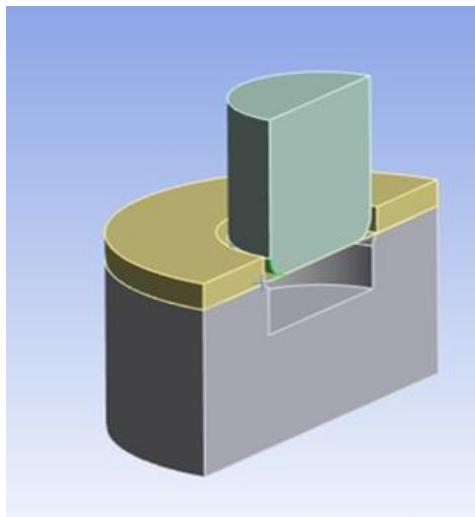


Figura 2.6 Geometría de la matriz de embutición

Las dimensiones del modelado de las piezas se encuentran detallado en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Dimensiones de la matriz

Denominación	Símbolo	Valor	Unidades
Espesor de chapa	t	0,4	mm

Diámetro de disco de forma inicial	D_b	115	mm
Diámetro del punzón	D_p	60	mm
Diámetro de embutición	d_1	61,12	mm

En la Figura 2.7, se detallan las características mecánicas de la chapa a embutir, las cuales se eligen considerando los materiales definidos en el software ANSYS A2022.

The image shows two screenshots from the ANSYS Engineering Data software. The top screenshot is the 'Outline of Schematic A2: Engineering Data' window, which lists three materials: Aluminum Alloy NL, Aluminum alloys, Alclad 3003, SB-209, H14, Plate, sheet, 0.009 - 0.499", and Structural Steel. The bottom screenshot is the 'Properties of Outline Row 3: Aluminum Alloy NL' window, which displays the mechanical properties for the selected material.

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Aluminum Alloy NL				General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
4	Aluminum alloys, Alclad 3003, SB-209, H14, Plate, sheet, 0.009 - 0.499"				Granta material name: Aluminum alloys, Alclad 3003, SB-209, H14, Plate, sheet, 0.009 - 0.499" Model Type: Linear Isotropic Thermal Plastic Database Name: Granta Selector 2023 R.1 - Metals plus Table name: ASME BPVC 2021 Edition
5	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

Properties of Outline Row 3: Aluminum Alloy NL					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	2770	kg m^-3		
4	Isotropic Elasticity				
10	Bilinear Isotropic Hardening				
14	Specific Heat Constant Pressure, C _p	875	J kg^-1 C^-1		

Figura 2.7 Características mecánicas del material a embutir (Aluminio A1200, temple H14)

En la Figura 2.8 se detallan las características mecánicas del acero estructural, las cuales se eligen considerando los materiales definidos en el software ANSYS A2022.

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data				Description
2	Material				
3	Aluminum Alloy NL				General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
4	Aluminum alloys, Alcad 3003, SB-209, H14, Plate, sheet, 0.009 - 0.499"				Granta material name: Aluminum alloys, Alcad 3003, SB-209, H14, Plate, sheet, 0.009 - 0.499" Model Type: Linear Isotropic Thermal Plastic Database Name: Granta Selector 2023 R1 - Metals plus Table name: ASME BPVC 2021 Edition
5	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

Properties of Outline Row 5: Structural Steel					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m^-3		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Strain-Life Parameters				
20	S-N Curve	Tabular			
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		
28	Intrinsic Thermal Conductivity	50.5	W m^-1 C^-1		

Figura 2.8 Características mecánicas del Acero estructural.

A los componentes de la matriz de embutición y la lámina de aluminio se le asignó el comportamiento de rigidez flexible como se observa la Figura 2.9, es decir que tiene la capacidad de deformarse tanto elástica como plásticamente.

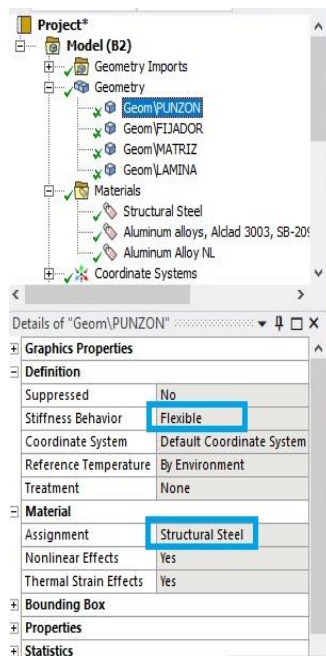


Figura 2.9 Selección del tipo de Material y comportamiento de rigidez

Para el presente análisis se han identificado dos tipos de contactos como se muestra en la Figura 2.10. Los contactos con fricción permiten la deformación controlada de la lámina de aluminio, con un coeficiente de fricción de 0,47 entre un acero y un aluminio.

Los contactos sin fricción permiten el desplazamiento fluido de los componentes, facilitando la movilidad y eficiencia del sistema.

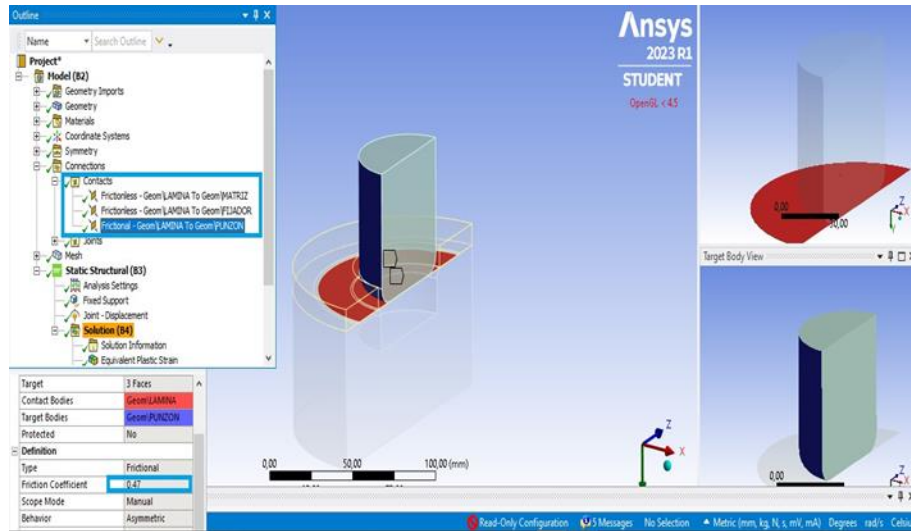


Figura 2.10 Contactos

Es fundamental considerar para la selección de los contactos un componente fijo y un componente móvil para asegurar una interacción eficiente entre las superficies de contacto, optimizando el desempeño estructural del sistema.

El mallado es un proceso fundamental para la simulación de ANSYS Académico, ya que afecta directamente la precisión y eficiencia de los resultados, esto consiste en dividir la geometría en elementos más pequeños asignado por defecto del software para que pueda realizar cálculos precisos, como se muestra en la Figura 2.11.

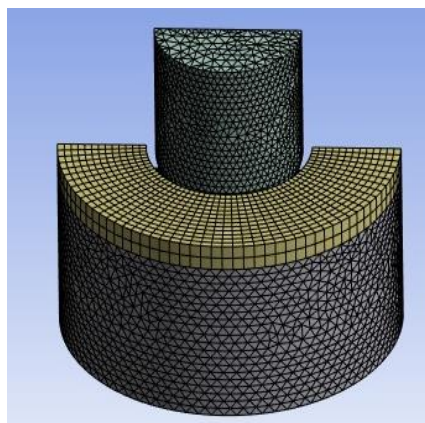


Figura 2.11 Modelado de mallado aplicado al proceso de embutición.

En la Figura 2.12, se detalla el número de nodos y elementos asignados por defecto por el software ANSYS Académico.

] Display	
] Defaults	
] Sizing	
] Quality	
] Inflation	
] Advanced	
] Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	90730
<input type="checkbox"/> Elements	32922
Show Detailed St...	No

Figura 2.12 Tabla de detalles del mallado

Resultados de la simulación

Al terminar de ingresar los parámetros anteriormente descritos para el análisis estructural en ANSYS Académico, se empieza con la simulación la cual permite obtener datos precisos del proceso de embutición.

En la Figura 2.13, se puede comprobar que la deformación direccional máxima en el eje Y es de 20 (mm).

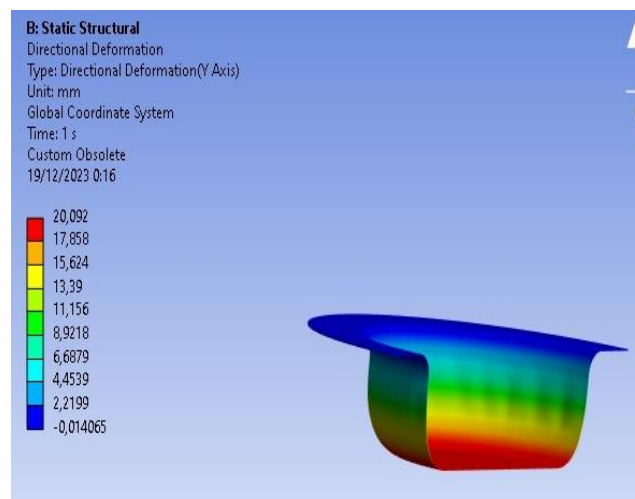


Figura 2.13 Deformación direccional en el eje Y

En la Figura 2.14, se puede observar la máxima deformación durante el proceso de embutición, esta se encuentra en el radio superior del elemento con un valor de 0.3159, permitiendo verificar que el porcentaje de fractura de la chapa es muy pequeño para lo cual se recomienda que durante la fabricación de la matriz se utilice un lubricante de baja densidad o un pulido tipo espejo.

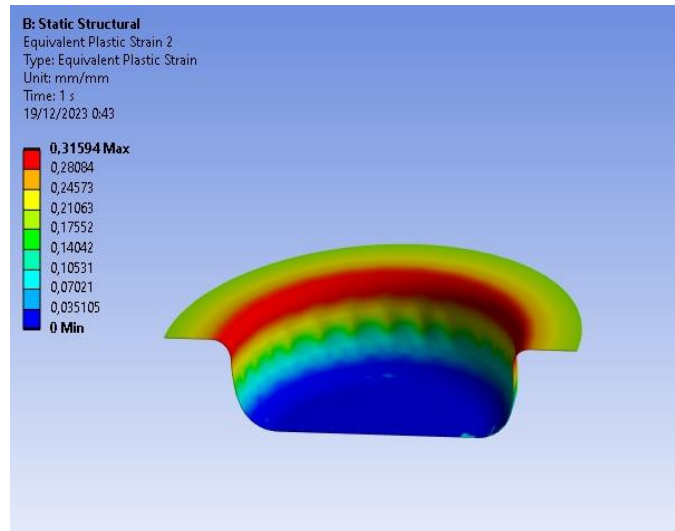


Figura 2.14 Deformación plástica equivalente.

2.4 Fabricación de la matriz de embutición

Para comenzar con la fabricación de la matriz de embutición, se adquirió diferentes componentes como: cilindros, placas de Acero ASTM A36 de diámetros y espesor diferentes como se observa en la Figura 2.15.



Figura 2.15 Material adquirido para la fabricación de la matriz de embutición.

En la Tabla 2.3 se observa las propiedades de Acero ASTM A36 consideradas para la selección del material.

Tabla 2.3 Propiedades mecánicas del Acero ASTM A36

Propiedades físicas	Métrico
Densidad	7,85 (g/cm ³)
Propiedades mecánicas	Métrico
Resistencia a la tracción, máxima	400-550 (MPa)
Resistencia a la tracción, rendimiento	250 (MPa)

Alargamiento en rotura	20% - 23%
Módulo de elasticidad	200 (GPa)
Resistencia a la compresión	152 (MPa)
Módulo de volumen	160 (GPa)
El coeficiente de Poisson	0,26
Módulo de corte	79,3 (GPa)

Ya con los cálculos y siguiendo los planos de diseño, en el taller de “Maquinarias Campoverde” en la ciudad de Quito se procedió a fabricar las diferentes piezas de la matriz de embutición como se evidencia en la Figura 2.16.

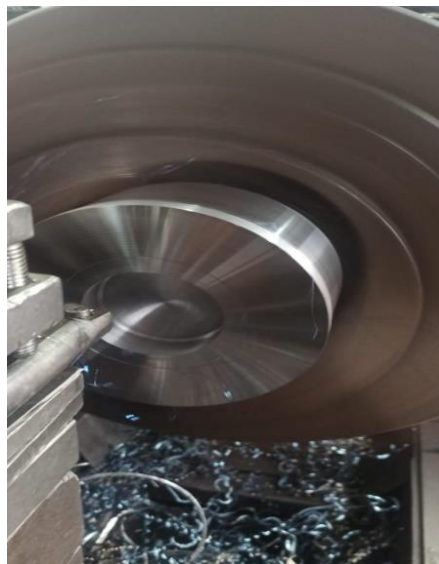


Figura 2.16 Maquinado de las piezas.

En la figura 2.17, se observa el proceso de soldadura SMAW que se utilizó para fijar el punzón y la matriz, para el cual se emplea un electrodo E7018, ayudando a que las placas puedan soportar grandes esfuerzos.



Figura 2.17 Proceso de soldadura de las placas de acero

Finalmente, en la Figura 2.18, Figura 2.19 y Figura 2.20, se puede observar las piezas terminadas.

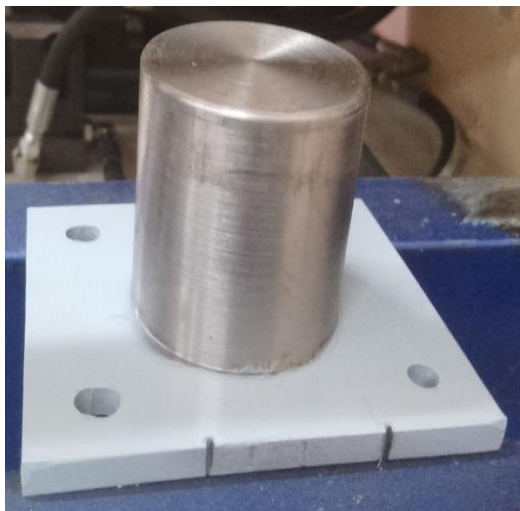


Figura 2.18 Punzón maquinado



Figura 2.19 Matriz maquinada



Figura 2.20 Fijación maquinada

2.5 Adaptación de la matriz de embutición a la prensa hidráulica

Para realizar la adaptación de la matriz de embutición a la prensa hidráulica del LTI, fue necesario adaptar un sistema de fijación para prevenir el desplazamiento del cilindro, en la Figura 2.21, se visualiza el proceso de fabricación de este sistema el cual se realizó con una abrazadera que sujeta al cilindro LMW1510 y una platina de 6 (mm) de espesor, para posteriormente con ayuda de la soldadura lograr fijar a los laterales de la prensa hidráulica, así como se evidencia en la Figura 2.22 , y finalmente en la Figura 2.23, se muestra el sistema de fijación terminado.



Figura 2.21 Fabricación del sistema de fijación del pistón



Figura 2.22 Soldadura de la fijación



Figura 2.23 Sistema de fijación del pistón

Posteriormente, se procedió a montar la guía para eliminar el giro de la matriz cuando se accione, en la Figura 2.24, se visualiza la fabricación del sistema el cual se realizó con ayuda de diferentes elementos los cuales se detallan en la Tabla 2.4.

Mediante el proceso de soldadura SMAW, se fijó los ejes a la platina que fija el cilindro hidráulico y a los bocines que sujetan la platina al pistón, así como se evidencia en la Figura 2.25. En la Figura 2.26, se ve el sistema terminado una vez realizado el proceso pintado.



Figura 2.24 Fabricación de la guía del pistón hidráulico

Tabla 2.4 Materiales usados para la fabricación de la guía del pistón hidráulico.

Materiales para la estructura de la fijación del pistón hidráulico			
Tipo	Cantidad	Pieza	Comentario
Platina de Acero 48x6 (mm)	3	Sujetador del pistón	Para sujetar al pistón cuando se activa el funcionamiento de la prensa hidráulica
Ejes Ø12 (mm)	2	Guía	Para guiar los bocines mientras se desplaza el pistón de arriba abajo.
Bocines	2	Desplazamiento del pistón de arriba a bajo	

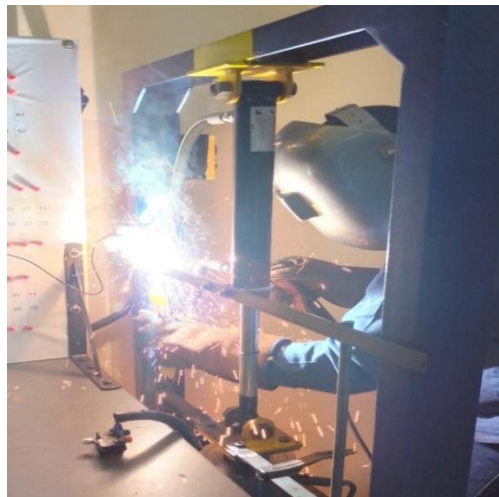


Figura 2.25 Soldadura de los ejes de los bocines para la guía del pistón hidráulico



Figura 2.26 Guía del pistón hidráulico

Después, se adaptó un sistema de seguridad operativa de encendido para que baje el pistón y suba con dos pulsadores como se observa en la figura 2.27.



Figura 2.27 Sistema de seguridad de baja y subida del pistón.

Finalmente, se procedió al montaje de la matriz de embutición como se puede ver en la Figura 2.28.



Figura 2.28 Matriz de embutición ensamblada

3 RESULTADOS

3.1 Funcionamiento

Realizada la implementación del sistema de fijación, el sistema de guía del pistón y el sistema de seguridad mediante dos pulsadores, se debe verificar el correcto funcionamiento de la prensa hidráulica con la matriz de embutición, para lo cual se procede a encender el motor y luego la válvula de presión para empezar el funcionamiento del pistón mediante los dos pulsadores y verificar que el pistón y la matriz se encuentren correctamente alineados para evitar daños en la matriz, como se observa en la figura 3.1.



Figura 3.1 Punzón y Matriz alineadas

3.2 Pruebas y Análisis de Resultados

Prueba 1

Para comprobar el funcionamiento de la matriz de embutición se decidió realizar la primera prueba sin el uso de la fijación o también llamada embutición de simple efecto. En la Figura 3.2, se observa las piezas obtenidas durante este proceso. Además, en la Tabla 3.1, se detallan los parámetros aplicados y obtenidos durante el proceso de embutición.



Figura 3.2 Pieza embutida sin fijación

Tabla 3.1 parámetros aplicados y obtenidos de la chapa de aluminio sin fijación

Parámetros de prueba	Resultados
D_b	115 (mm)
d_2	90 (mm)
h	10 (mm)

Se logra visualizar que se obtiene una pieza embutida de aproximadamente 10 (mm) de profundidad sin fracturar el material adicionalmente presenta arrugamientos en la pestaña y la pared vertical de la pieza cilíndrica provocado por la fuerza de compresión, mientras el perímetro exterior disminuye. Además, se empleó aceite como lubricante en la matriz como en el punzón para reducir el rozamiento durante el proceso de embutición de la lámina de aluminio de espesor de 0,4 (mm).

Prueba 2

La segunda prueba de funcionamiento consiste en la embutición de doble efecto utilizando la fijación, como se observa en la Figura 3.3, donde se usan dos pernos de 8 (mm) para sujetar la fijación dejando un espacio de trabajo para cuando el punzón embutirá la chapa de aluminio.

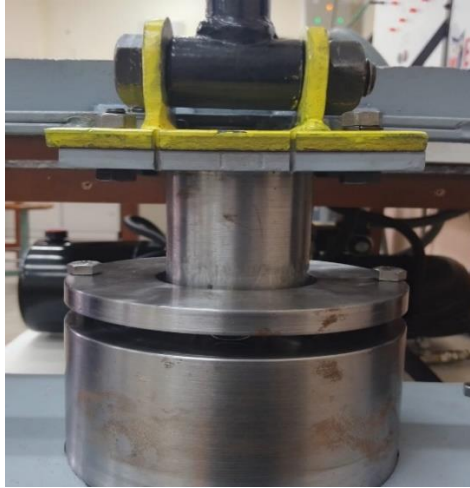


Figura 3.3 Proceso de embutición con fijación

En la Figura 3.4 se observa las piezas obtenidas durante este proceso de embutición. Además, en la Tabla 3.2 se detallan los parámetros aplicados y obtenidos durante la prueba.



Figura 3.4 Piezas embutidas con fijación

Tabla 3.2 Parámetros aplicados y obtenidos de la lámina de aluminio con fijación

Parámetros de prueba	Resultados
D_b	115 (mm)
d_2	95 (mm)
h	10 (mm)

Se logra visualizar que se obtiene piezas embutidas de aproximadamente 10 (mm) de profundidad sin fracturar el material. Adicionalmente, se puede ver que la fuerza de sujeción proporcionada por la fijación deberá ser aproximadamente de 12,21 (kN) para lograr que la lámina de aluminio de un espesor de 0,4 (mm) dejen de tener

arrugamientos en las pestañas y en la pared vertical de la pieza. Además, se empleó aceite como lubricante en la matriz como en el punzón para reducir el rozamiento durante el proceso de embutición.

Prueba 3

La tercera prueba de funcionamiento se realizó reduciendo el diámetro de la lámina de aluminio y sin el uso de la fijación. En la Figura 3.5, se observa la pieza obtenida durante este proceso. En la tabla 3.3, se detallan los parámetros aplicados y obtenidos durante el proceso de embutición.



Figura 3.5 Piezas embutidas de diferente diámetro sin fijación

Tabla 3.3 Parámetros aplicados y obtenidos de la lámina de aluminio para el proceso de embutición.

Parámetros de prueba	Resultados
D_b	100 (mm)
d_2	80 (mm)
h	10 (mm)

Se logra visualizar que se obtiene una pieza de aproximadamente 10 (mm) de profundidad sin fracturar el material adicionalmente presenta arrugamientos en la pestaña y en la pared vertical de la pieza cilíndrica. Además, se empleó lubricante en la matriz como el punzón para reducir el rozamiento durante el proceso de embutición.

Prueba 4

La cuarta prueba de funcionamiento se realizó reduciendo el diámetro de la lámina de aluminio utilizando la fijación. En la Figura 3.6, se observa la pieza obtenida durante el proceso de embutición. En la Tabla 3.4, se detallan los parámetros aplicados y obtenidos durante el proceso de conformado de la pieza cilíndrica.



Figura 3.6 Piezas embutidas de diferente diámetro con fijación

Tabla 3.4 Parámetros aplicados y obtenidos de la lámina de aluminio para el proceso de embutición.

Parámetros de prueba	Resultados
D_b	100 (mm)
d_2	87 (mm)
h	10 (mm)

Se logra visualizar que la presión ejercida por la fijación es irregular en el ajuste de los pernos, lo cual indica que un perno está más ajustado que el otro perno al realizar el proceso de embutición. Esto resulta en el desgarre del material en un lado y un exceso de arrugas en la pestaña al otro lado. Además, se empleó aceite como lubricante en la matriz como el punzón para reducir el rozamiento durante el proceso de embutición.

Prueba 5

La quinta prueba de funcionamiento se realizó para obtener piezas con una mayor profundidad. En la Figura 3.7, se muestra la pieza obtenida durante el proceso de embutición sin el uso de la fijación. En la tabla 3.5, se detallan los parámetros aplicados para llevar a cabo el proceso de embutición.



Figura 3.7 Piezas embutidas sin el uso de la fijación.

Tabla 3.5 Parámetros aplicados y obtenidos de la lámina de aluminio para el proceso de embutición.

Parámetros de prueba	Resultados
D_b	100 (mm)
d_2	80 (mm)
h	15 (mm)

Se logra visualizar que se obtiene una pieza embutida de mayor profundidad, con arrugamientos en la pestaña y pequeñas grietas que aparecen en la pared principal de la pieza cilíndrica, producidos por el adelgazamiento del material debido a los altos esfuerzos de tensión entre el punzón y la matriz. Además, se empleó aceite como lubricante en la matriz como el punzón para reducir el rozamiento durante el proceso de embutición.

En la Figura 3.8, se observa una pieza obtenida durante el proceso de embutición con el uso de la fijación. En la tabla 3.6, se detallan los parámetros aplicados y obtenidos durante el proceso de embutición.



Figura 3.8 Piezas embutidas con fijación

Tabla 3.6 Parámetros aplicados y obtenidos de la lámina de aluminio para el proceso de embutición.

Parámetros de prueba	Resultados
D_b	115 (mm)
d_2	92 (mm)
h	15 (mm)

Se visualiza que se obtienen varias piezas embutidas de mayor profundidad, con varios defectos entre ellos el arrugamiento en la pestaña y el desgarro de la pared principal de las piezas cilíndricas por la excesiva fuerza ejercida de la fijación y la matriz durante el proceso de embutición provocando que el material no fluya por el contorno de la matriz y se produzca el alargamiento del material y finalmente la ruptura. Además, se empleó aceite como lubricante en la matriz y el punzón para reducir el rozamiento durante el proceso.

3.3 Manual de funcionamiento de la matriz de embutición



Figura 3.1 Manual de funcionamiento de la matriz de embutición

Enlace: <https://youtu.be/aiQOEEaq8l8>

3.4 Manual de mantenimiento de la matriz de embutición



Figura 3.10 Manual de mantenimiento de la matriz de embutición

Enlace: <https://youtu.be/DxRkRueblJ4>

4 CONCLUSIONES

- Se procedió a revisar el manual de usuario de la prensa hidráulica, para conocer los parámetros mecánicos como: la fuerza ejercida por el pistón, el factor de seguridad de la estructura y los parámetros obtenidos del análisis estructural de la prensa hidráulica, los cuales fueron tomados en consideración para el diseño de la matriz de embutición. Además, se revisaron los planos para poder formar una metodología sencilla de realizar el montaje y desmontaje de las distintas matrices usadas en los procesos de conformado mecánico en frío.
- Para realizar un diseño correcto de la matriz de embutición se utilizó el software computacional Inventor para el modelado de las piezas, adicionalmente con ayuda del software Ansys Académico se logró comprobar el correcto dimensionamiento y funcionalidad de la matriz diseñada.
- Para fabricación de la matriz de embutición se debe tener en cuenta ciertas consideraciones importantes para garantizar un rendimiento óptimo de la matriz como son las tolerancias y acabados de la misma. Mediante una investigación del mercado se logró validar un taller en el cual se elaboró físicamente la matriz de embutición obteniendo piezas con un material muy resistente y con acabados superficiales casi lisos, reduciendo así los daños en el material durante el proceso de embutición.
- Para la adaptación de la matriz de embutición en la prensa hidráulica se observó que era necesario implementar un sistema de fijación del cilindro y una estructura guía para el pistón, asegurando que tanto el punzón como la matriz se mantengan correctamente alineados durante el proceso de embutición, evitando así posibles daños en la matriz debido a golpes laterales los cuales se producen al momento de bajar el punzón durante el funcionamiento.
- Mediante las pruebas realizadas a la matriz de embutición se observó que la altura de embutición para evitar que el material tenga facturas es de 10 (mm), se analizó los defectos obtenidos durante el proceso de embutición como el apareamiento de arrugamiento en la pestaña y en la pared principal del cilindro apareciendo al realizar el proceso de embutición simple o de doble efecto. Las rupturas que presentan la pieza embutida de mayor profundidad se producen por el adelgazamiento del material en la pared principal de la pieza.

- Se elaboró un videotutorial del funcionamiento y mantenimiento de la matriz de embutición para que los estudiantes de la asignatura de Procesos de Manufactura puedan ver de manera didáctica el proceso de embutición durante la realización de las prácticas en el laboratorio.

RECOMENDACIONES

- Es importante la revisión de documentación para conocer los parámetros mecánicos de diseño implementados para la fabricación de la matriz de embutición.
- Es importante realizar un correcto mallado para la simulación en Ansys Académico, permitiendo que la obtención de resultados se realice en menor tiempo.
- Es importante centrar de manera minuciosa el punzón con la matriz para evitar golpes innecesarios en los lados de la matriz durante el proceso de embutición y reducir la vida útil de la matriz.
- Realizar un acabado tipo espejo en el empalme de la matriz es fundamental para reducir la fricción entre la superficie del punzón y la matriz, evitando de esta manera que el material se fracture durante el proceso de embutición.
- Durante el uso de prensa hidráulica con la matriz de embutición y la matriz de doblado se debe verificar que los ejes de la guía se encuentren totalmente lubricados para evitar una mala manipulación del sistema de bajada y subida del pistón.
- Para un uso adecuado, es importante que los estudiantes revisen el videotutorial de funcionamiento y mantenimiento antes de realizar el proceso de embutición para considerar cada uno de los parámetros para su correcto funcionamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Á. I. B. Ortiz, «Diseño y construcción de un troquel simple de embutido para implementación del laboratorio de s.a.v.,» 21 Marzo 2015. [En línea]. Available: file:///C:/Users/steban/Downloads/UPS-KT01080.pdf. [Último acceso: 26 11 2023].
- [2] E. S. B. LÓPEZ, «Construcción de una prensa hidráulica para procesos de conformado mecánico en el laboratorio LTI de la ESFOT,» Agosto 2023. [En línea]. Available: file:///C:/Users/steban/Downloads/1.%20TIC%20Balseca%20L%C3%B3pez%20Edwin%20Sebasti%C3%A1n%20CON%20ANEXOS-FINAL.pdf. [Último acceso: 26 11 2023].
- [3] O. E. M. Gabriel, «Diseño y fabricación de una matriz de embutido y corte para producir un casquillo bipolar de resistencias eléctricas industriales en la empresa redanse S.A.,» 2018. [En línea]. Available: file:///C:/Users/steban/Desktop/Tesis_I_M_491___Ort%C3%ADz_Escobar_Mario_Gabriel.pdf. [Último acceso: 26 11 2023].
- [4] J. Q. L. CHRISTIAN, «Análisis y simulación del comportamiento mecánico en el proceso de embutido para una lámina de aluminio astm a 1200 de espesor de 0,5 mm.,» 02 2017. [En línea]. Available: file:///C:/Users/steban/Downloads/UPS-KT00430.pdf. [Último acceso: 26 11 2023].
- [5] «DUPCE03.- Diseño de un útil de embutición.,» [En línea]. Available: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/DUPCE/DUPCE03/es_DFM_DUPCE03_Contentidos/website_23_esfuerzos_de_embuticin.html. [Último acceso: 16 11 2023].
- [6] M. P. Groover, Fundamentos de Manufactura Moderna, Mexico : McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2007.
- [7] L. E. S. Castro, «Matrices de embutición,» 2023. [En línea]. Available: file:///C:/Users/steban/Downloads/pdf-matriz-embutido_compress.pdf. [Último acceso: 26 11 2023].

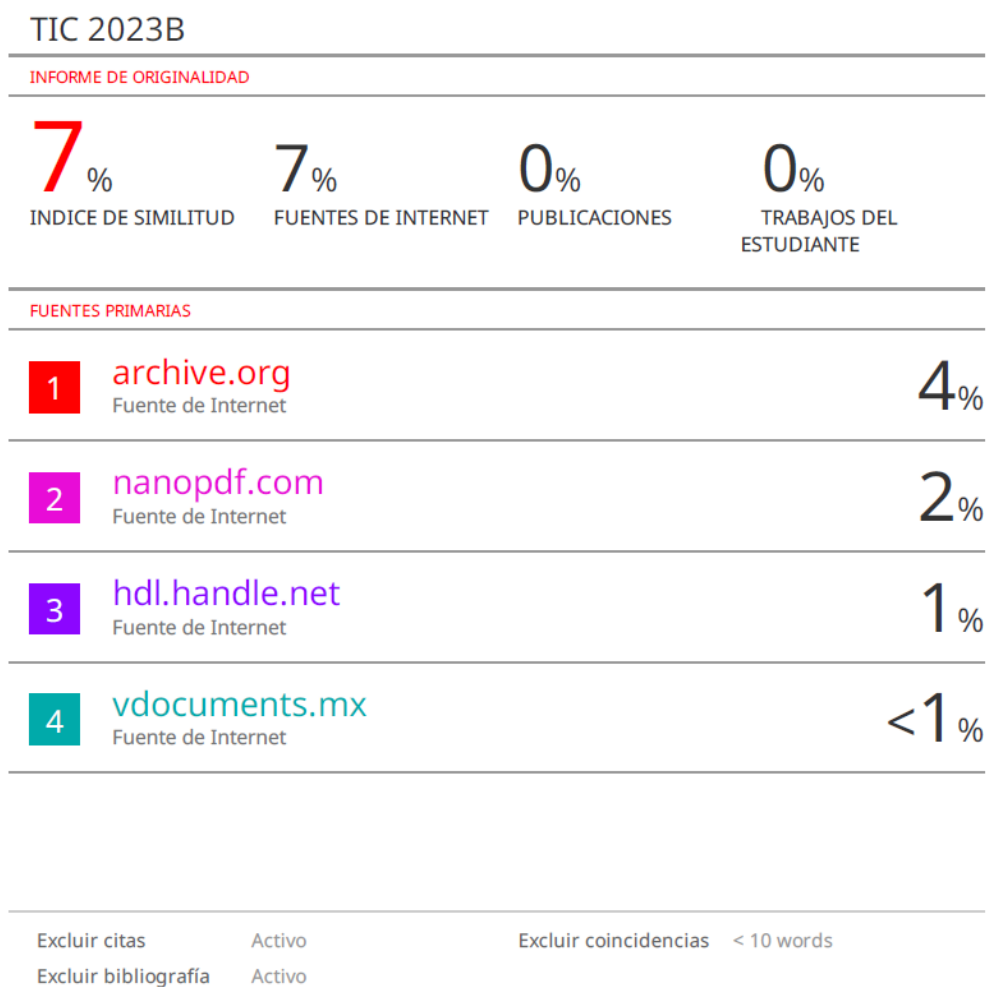
- [8] A. I. Escribano y R. A. Herranz, «Documentación y análisis: Conformado de productos sin arranque de viruta,» DEDUCETU, 10 2014. [En línea]. Available: <https://de-duce-tu.blogspot.com/p/embuticion-2.html>. [Último acceso: 21 12 2023].
- [9] D. R. Sandoval Figueroa y K. O. Caiza Hidalgo, «Análisis y simulación del comportamiento mecánico en el proceso de embutido para una lamina de aluminio astm A1200 de espesor de 0.5mm.,» 02 2017. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13626/3/UPS-KT00430.pdf>. [Último acceso: 21 12 2023].
- [10] «Embutición,» YouTube, 21 02 2018. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=4J9f6BvHHt8&t=705s>. [Último acceso: 21 12 2023].
- [11] A. . A. Pedrosa Astudillo y C. M. Sánchez Alvarracín, «Análisis matemático del conformado en el proceso de Embutición cilíndrica de una sola fase, para evaluar el comportamiento mecánico de una chapa bimetálica.,» 2018. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15133/1/UPS-CT007469.pdf>. [Último acceso: 21 12 2023].
- [12] S. L. Bryan, «Ingenieria Industrial Online,» 3 10 2019. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/procesos-industriales/procesos-de-conformado/>. [Último acceso: 2023 11 26].
- [13] [En línea]. Available: <https://de-duce-tu.blogspot.com/p/embuticion-2.html>.

ANEXOS

ANEXO I. REPORTE DE SIMILITUD GENERADO POR TURNITIN

DMQ, 21 de febrero del 2024

Yo, Jonathan Gabriel Loor Bautista, como director del presente Trabajo de Integración Curricular, certifico que el siguiente es el resultado de la evaluación de similitud realizado por la plataforma Turnitin:



DIRECTOR

Ing. Jonathan Gabriel Loor Bautista

ANEXO II. CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

DMQ, 21 de febrero de 2024

Yo, Jonathan Gabriel Loor Bautista, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como director de este trabajo de integración curricular, certifico que he constatado el correcto funcionamiento de la Implementación de una matriz para procesos de conformado utilizando la prensa hidráulica del laboratorio LTI de la ESFOT, el cual fue implementado por el estudiante Jenny Karina Tisalema Puruncaja.

El proyecto cumple con los requerimientos de diseño y parámetros necesarios para que los usuarios de la ESFOT puedan utilizar la prensa hidráulica con la matriz de embutición con seguridad para los docentes y los estudiantes.

DIRECTOR

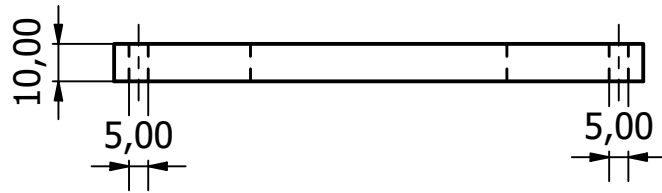
Ing. Jonathan Gabriel Loor Bautista

Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía | Edificio N. 21 | PB 02 | Oficina 05 - 23

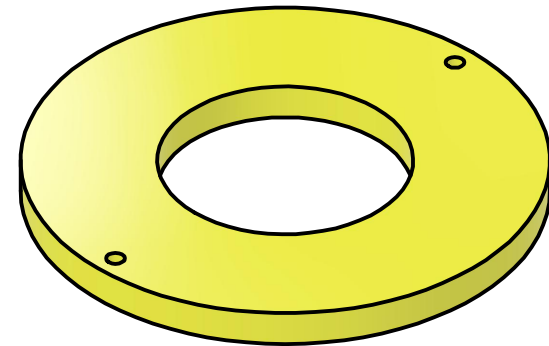
Correo: jonathan.loor@epn.edu.ec | **Ext:**2745

ANEXO III. PLANOS DE LA MATRIZ DE EMBUTICIÓN

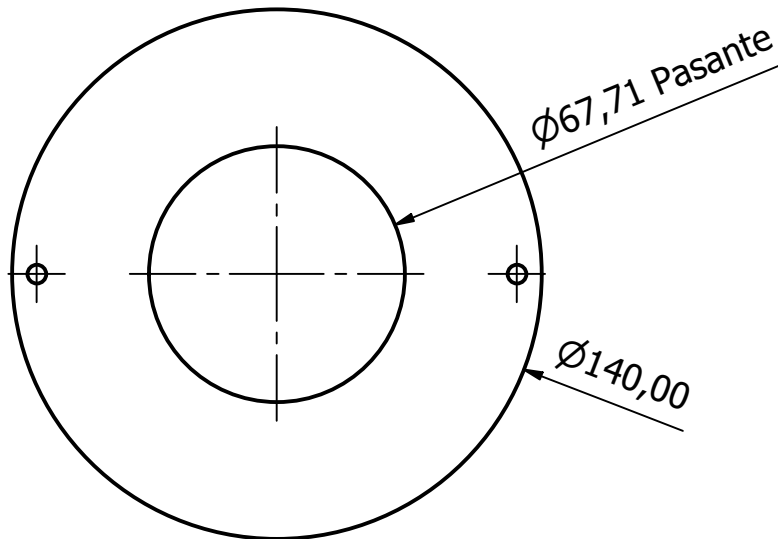
VISTA FRONTAL



VISTA ISOMÉTRICA

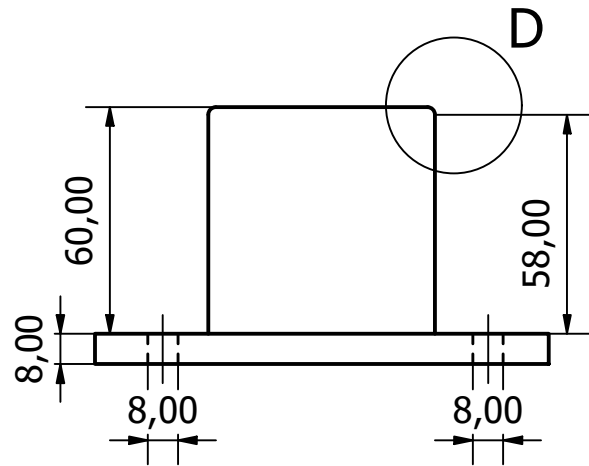


VISTA SUPERIOR

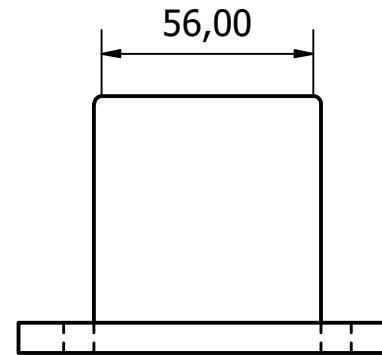


EPN	ESFOT - CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA	Trat. Térmico	Ninguno	
		Recubrimiento	Ninguno	
Dib. Jenny Tisalema	ESCALA 1 : 2	MATERIAL Acero ASTM A36		Tol. Gral ± 0.02
Dis. Jenny Tisalema				
Rev. Ing. Jonathan Loor				
Fecha 20/11/2023	B002	Fijación		

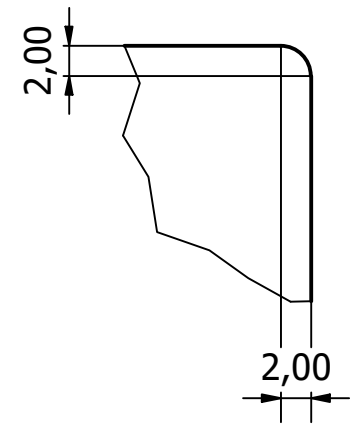
VISTA FRONTAL



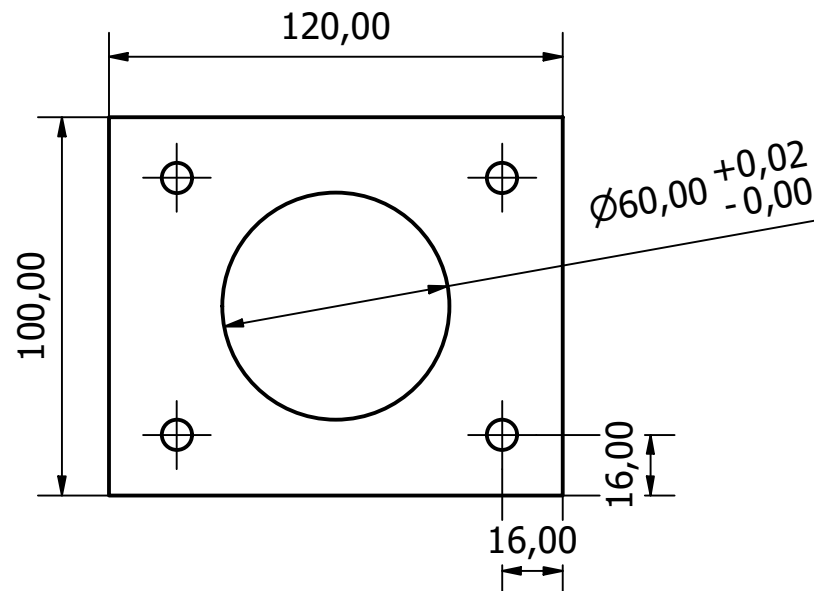
VISTA LATERAL



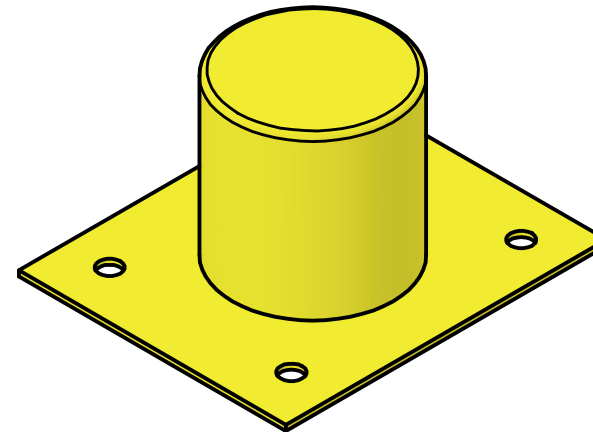
DETALLE D
(esc: 2 : 1)



VISTA SUPERIOR

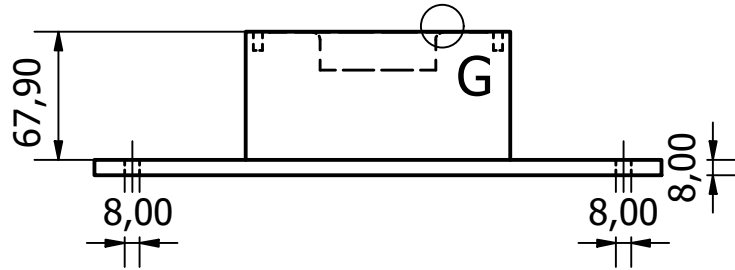


VISTA ISOMÉTRICA

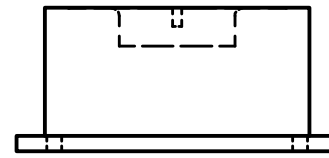


EPN	ESFOT - CARRERA DE ELECTROMECÁNICA	Trat. Térmico	Ninguno
		Recubrimiento	Ninguno
Dib. Jenny Tisalema	ESCALA 1 : 2	MATERIAL Acero ASTM A36	Tol. Gral ±0.02
Dis. Jenny Tisalema			
Rev. ing. Jonathan Loor			
Fecha 20/11/2023	B001	Punzón	

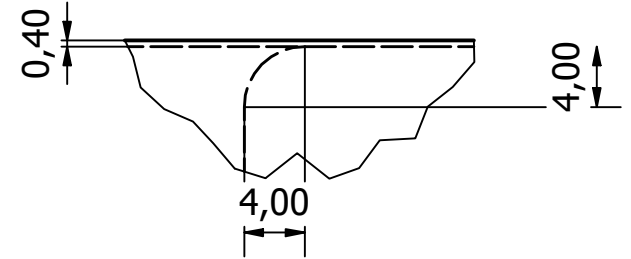
VISTA FRONTAL



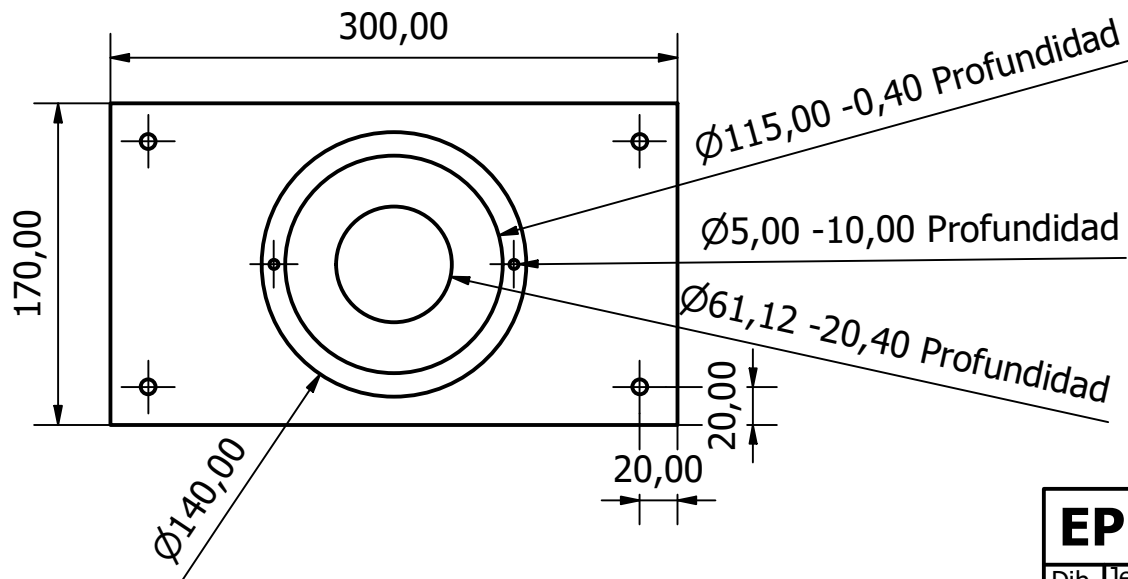
VISTA LATERAL



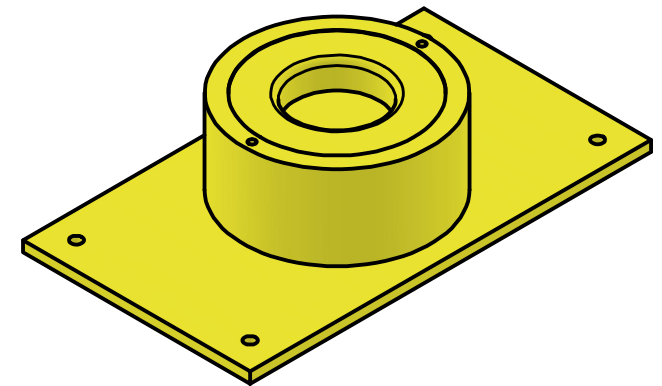
DETALLE G (2 : 1)



VISTA SUPERIOR

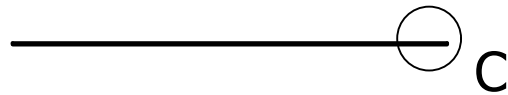


VISTA ISOMÉTRICA

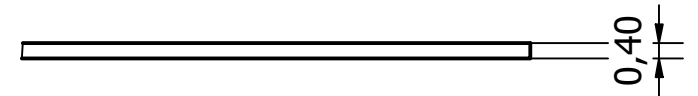


EPN	ESFOT - CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA		Trat. Térmico	Ninguno
			Recubrimiento	Ninguno
Dib.	Jenny Tisalema	ESCALA 1 : 4	MATERIAL Acero ASTM A36	
Dis.	Jenny Tisalema		Tol. Gral ±0.02	
Rev.	ing. Jonathan Loor			
Fecha	20/11/2023	B003	Contra Matriz	

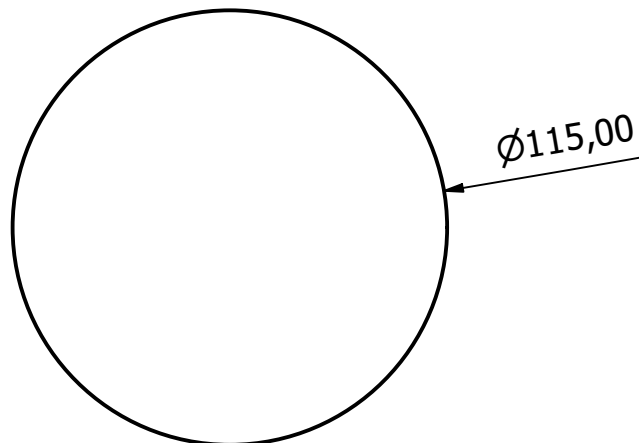
VISTA FRONTAL



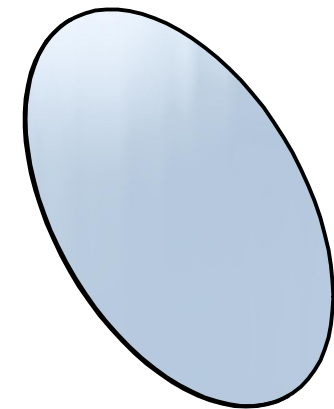
DETALLE
C (5 : 1)



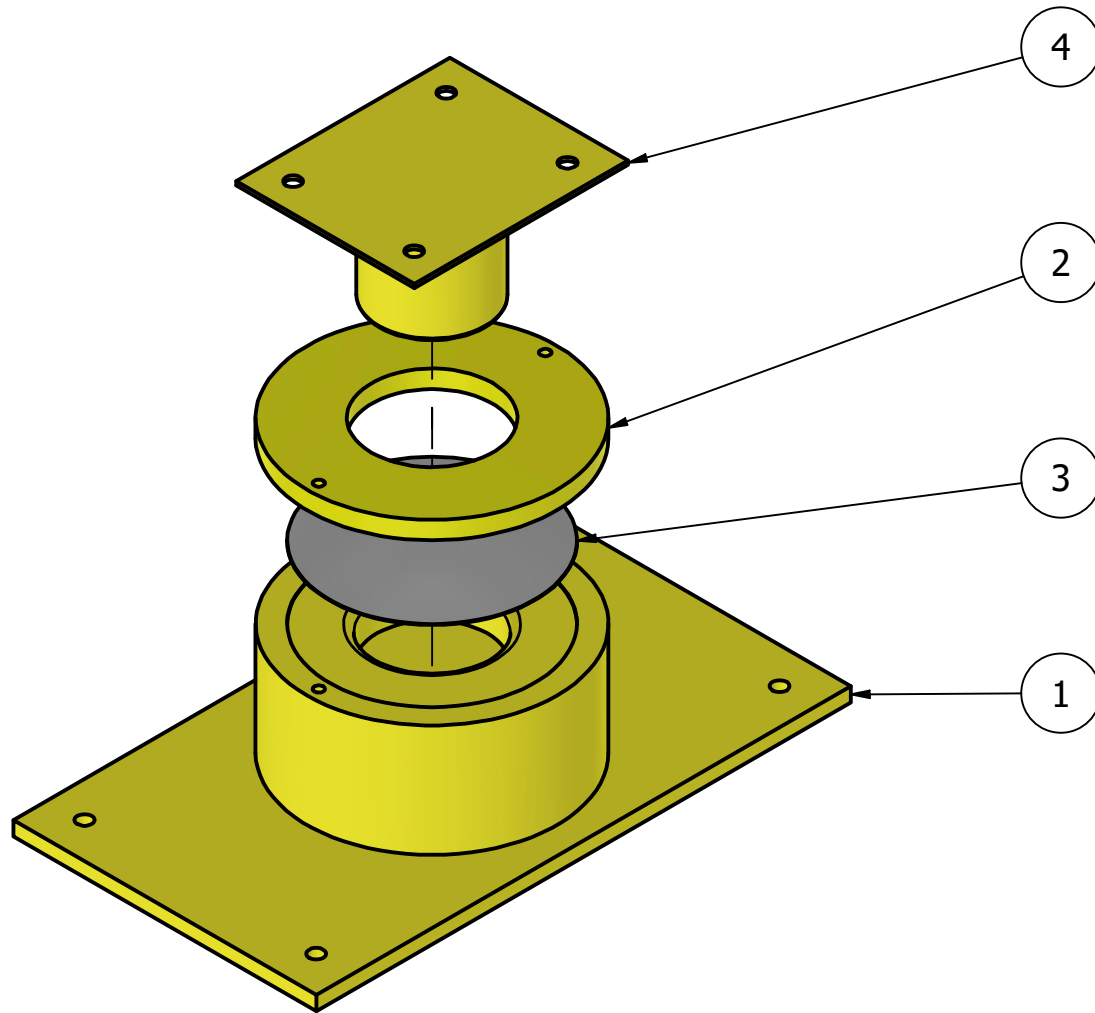
VISTA SUPERIOR



VISTA ISOMÉTRICA



EPN	ESFOT - CARRERA DE ELECTROMECÁNICA	Trat. Térmico	Ninguno	
		Recubrimiento	Ninguno	
Dib. Jenny Tisalema	ESCALA 1 : 2	MATERIAL Aluminio A1200 temple H14		ToL. Gral ±0.02
Dis. Jenny Tisalema				
Rev. Ing. Jonathan Loor				
Fecha 25/11/2023	B004	Laminá		



LISTA DE COMPONENTES		
#	DESCRIPCIÓN	#PLANO
1	CONTRA MATRIZ	003
2	FIJACIÓN	002
3	LAMINÁ	004
4	PUNZÓN	001

EPN	ESFOT - CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA	Trat. Térmico	Ninguno
		Recubrimiento	Ninguno
Dib. Jenny Tisalema	ESCALA 1 : 3	MATERIAL Acero ASTM A36	
Dis. Jenny Tisalema			
Rev. Ing. Jonathan Loor		Tol. Gral ±0.02	
Fecha 18/12/2023	B005	Plano de Conjunto	