

Universidad Politécnica Salesiana

Facultad de Ingenierías

Carrera de Ingeniería Mecánica

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TROQUEL SIMPLE DE EMBUTIDO
PARA IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE S.A.V.**

Autor:

Álvaro Israel Buitrón Ortiz

Director:

Ing. Luis Christian Juiña Quilachamín

Quito, 21 de marzo del 2015

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo Álvaro Israel Buitrón Ortiz autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Álvaro Israel Buitrón Ortiz

CI: 1720309135

Certifico que el presente trabajo, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico ha sido realizado en su totalidad por el señor: Álvaro Buitrón.

Los conceptos, análisis, cálculos realizados y conclusiones del presente trabajo son exclusiva responsabilidad del autor.

Atentamente:

Ing. Luis Juiña
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

A mis padres por haberme dado la vida, por enseñarme que con esfuerzo y dedicación se puede lograr lo que uno quiere y porque más que padres han sido mis grandes amigos, pues han sido testigos de mis alegrías y tristezas.

A mi esposa por su ayuda incondicional, por su interés a lo largo de este camino, que no ha sido de fácil recorrido y por su apoyo y amor constante.

A todas las personas que me apoyaron durante mi carrera universitaria

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, de la cual estoy orgulloso de haber realizado mi carrera profesional y a todo el personal que no solo me impartieron sus conocimientos sino también, valores y principios que me han permitido alcanzar la meta propuesta.

Agradezco de una manera especial a los Ing. Luis Juiña, Fabio Obando y Wilson Bravo por su incondicional apoyo y guía para saciar de una manera satisfactoria las dudas presentadas a lo largo del proyecto, ya que fueron de gran importancia para culminar este trabajo.

GLOSARIO

- **Viruta:** Es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral que se extrae mediante un cepillo u otras herramientas, tales como brocas, al realizar trabajos de cepillado, desbastado o perforación, sobre madera o metales.
- **Plancha:** Llamada también lámina o chapa y en ciertos casos, cuando el grueso es reducido, se denomina papel metálico.
- **Troquel:** También llamados matrices, están destinados a cortar, embutir, puncionar o dar forma a placas metálicas utilizando la deformación plástica y sin generar arranque de viruta.
- **Zona de fluencia:** La fluencia o cedencia es la deformación irrecuperable de la probeta, a partir de la cual sólo se recuperará la parte de su deformación correspondiente a la deformación elástica, quedando una deformación irreversible. Este fenómeno se sitúa justo encima del límite elástico.
- **Límite elástico:** Es el punto donde comienza el fenómeno conocido como fluencia, que consiste en un alargamiento muy rápido sin que varíe la tensión aplicada en un ensayo de tracción. Hasta el punto de fluencia el material se comporta elásticamente. No todos los materiales elásticos tienen un límite de fluencia claro, aunque en general está bien definido en la mayor parte de metales.
- **Ductilidad:** Es una propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas o materiales asfálticos, los cuales bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sosteniblemente sin romperse.
- **Punzón:** Es una herramienta de acero de alta dureza, de forma cilíndrica o prismática, con un extremo o boca con una punta aguda o una que al

presionar o percutir sobre una superficie queda impresa o deformada en el troquel. Puede tener varios tipos de punta en función de su uso.

- **Luz:** En arquitectura, ingeniería y construcción suele utilizarse la palabra luz para designar la distancia, en proyección horizontal, existente entre los apoyos de una viga, un puente. A veces suele emplearse como sinónimo de "vano". En matricería también se le denomina como juego o espacio libre entre punzón y matriz
- **Cubilete:** Es un vaso pequeño de metal, plástico u otro material, más ancho en su boca que en su base, que sirve para diversos propósitos
- **Pisador:** Es un elemento que se utiliza en matricería para presionar la chapa metálica contra la matriz, esto se realiza cuando se trabaja con un material de espesor delgado, o bien cuando se realiza un embutido profundo de mayor diámetro, para que en el producto obtenido evitar la formación de arrugas.
- **Lapeado:** Es una operación de mecanizado en la que se frotan dos superficies con un abrasivo de grano muy fino entre ambas, para mejorar el acabado y disminuir la rugosidad superficial.
- **Nomograma:** Es un instrumento gráfico de cálculo, un diagrama bidimensional que permite el cómputo gráfico y aproximado de una función de cualquier número de variables. En su concepción más general, el nomograma representa simultáneamente el conjunto de las ecuaciones que definen determinado problema y el rango total de sus soluciones.
- **Tenacidad:** Es la resistencia que opone un mineral u otro material a ser roto, molido, doblado, desgarrado o suprimido.
- **Juego:** Es la holgura que existe entre dos o más piezas; el juego se aplica entre punzón y matriz para evitar la cizalladura del material mecanizado.

- **Grafito:** Mineral de carbono casi puro, de textura compacta, color negro y brillo metálico, graso al tacto y buen conductor de la electricidad; procede de rocas carbonosas que han sufrido metamorfismo y se emplea para hacer lápices, crisoles refractarios, ánodos electrolíticos, productos lubricantes, etc.
- **Aceite de colza:** Se obtiene de la semilla de colza, actualmente, el aceite de colza se utiliza principalmente para lubricante de máquinas. Recientemente su cultivo se ha potenciado para utilizarlo en la producción de biodiesel.
- **Lanolina:** Es una cera natural producida por las glándulas sebáceas de algunos mamíferos, especialmente del ganado ovino, preparada y que se aplica para diversos usos industriales, farmacéuticos y domésticos.
- **Esfuerzo admisible:** Es el máximo esfuerzo al que puede ser sometido un material con cierto grado de seguridad.
- **Emulsionante:** Un emulsificador es un agente superficial activo que facilita la mezcla de dos o más sustancias líquidas que se separarían en sus partes componentes en condiciones normales.
- **Insumos:** Es todo aquello disponible para el uso y el desarrollo de la vida humana, desde lo que se encuentra en la naturaleza, hasta lo que se crea. En general los insumos pierden sus propiedades y características para transformarse y formar parte del producto final.
- **Materia prima:** Es extraída de la naturaleza y que se transforma para elaborar materiales que más tarde se convertirán en bienes de consumo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
GLOSARIO.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
JUSTIFICACIÓN	2
ALCANCE	2
OBJETIVOS.....	3
HIPÓTESIS.....	4
CAPÍTULO I	5
DEFINICIONES.....	5
1.1 Conformado plástico de chapas metálicas	5
1.1.1 Introducción al conformado de metales.....	5
1.2 Troquelado.....	6
1.2.1 Definición	6
1.2.2 Clasificación de troqueles	7
1.3 Consideraciones previas al troquelado.....	9
1.4 Partes del troquel.....	10
1.5 Embutido.....	11
1.5.1 Definición	11
1.5.2 Proceso de embutido	12
1.5.3 Clasificación de los tipos de embutido.....	13
CAPÍTULO II	17
PARÁMETROS DE EMBUTIDO	17
2.1 Fuerza de embutido cilíndrico	17
2.1.1 Método 1.....	17
2.1.2 Método 2.....	18

2.2	Fuerza en el prensa chapas.....	19
2.2.1	Método 1.....	19
2.2.2	Método 2.....	20
2.3	Conjunto expulsor.....	21
2.3.1	Fuerza de expulsión	22
2.4	Partes móviles del utillaje	22
2.4.1	Placa matriz.....	22
2.4.2	Porta matrices.....	24
2.4.3	Columnas y bocines.....	25
2.4.4	Placa inferior	26
2.5	Partes móviles del utillaje	27
2.5.1	Toma	27
2.5.2	Placa superior o freno de punzón	28
2.5.3	Placa porta punzón	29
2.5.4	Punzón.....	30
2.5.5	Prensa chapas	31
2.6	Tratamientos térmicos.....	33
2.6.1	Temple	33
2.6.2	Revenido	34
2.6.3	Cementación	35
2.7	Juego entre matriz y punzón de embutición	35
2.8	Radio de embutición	36
2.9	Velocidad de embutición	36
2.10	Lubricación de la chapa metálica	37
2.11	Desarrollo de la pieza.....	38
2.11.1	Tablas	38
2.11.2	Desarrollo matemático	38
	CAPÍTULO III	45

DISEÑO DE LAS PARTES DEL TROQUEL Y DE LA PIEZA	45
3.1 Fuerza de embutido cilíndrico	45
3.1.1 Método 1.....	45
3.1.2 Método 2.....	45
3.2 Fuerza en el prensa chapas.....	47
3.1.1 Método 1.....	47
3.1.2 Método 2.....	47
3.3 Conjunto expulsor.....	47
3.3.1 Fuerza de expulsión	47
3.4 Partes Fijas del utillaje	48
3.4.1 Placa matriz.....	50
3.4.2 Columnas y bocines.....	53
3.4.3 Placa inferior	55
3.5 Partes móvil del utillaje.....	57
3.5.1 Placa superior o freno de punzón	57
3.5.2 Placa porta punzón	59
3.5.3 Punzón.....	61
3.5.4 Prensa chapas	66
3.6 Elementos de unión	68
3.6.1 Separación entre agujeros	70
3.6.2 Separación de los agujeros del borde de las placas.....	71
3.6.3 Longitud de roscado.....	72
3.7 Tratamientos térmicos.....	73
3.7.1 Temple	73
3.7.2 Revenido	73
3.7.3 Cementación	74
3.8 Juego entre matriz y punzón de embutición	74
3.9 Radio de embutición	75

3.10	Velocidad de embutición	75
3.11	Lubricación de la chapa metálica	75
3.12	Desarrollo de la pieza.....	77
3.13	Resultados.....	78
CAPÍTULO IV		79
COSTOS DE FABRICACIÓN		79
4.1	Costos de insumos	79
4.2	Costos de materia prima.....	80
4.3	Costos de máquina.....	80
4.4	Costos de mano de obra	81
4.5	Costo total de fabricación	81
CONCLUSIONES.....		83
RECOMENDACIONES.....		84
LISTA DE REFERENCIAS.....		86
ANEXO 1.....		88
MANUAL DE MANTENIMIENTO		88
ANEXO 2.....		89
PLANOS.....		89
ANEXO 3		90
FACTURAS		90
ANEXO 4.....		91
GUÍA DE LA PRÁCTICA.....		91
ANEXO 5.....		92
PIEZA EMBUTIDA.....		92
ANEXO 6.....		93
TROQUEL.....		93

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Diagrama esfuerzo deformación	5
Gráfico 2 Troquel de cuatro columnas	7
Gráfico 3 Troquel simple	8
Gráfico 4 Troquel compuesto	8
Gráfico 5 Troquel progresivo.....	9
Gráfico 6 Partes del troquel de embutido.....	11
Gráfico 7 Embutido de acción simple.....	13
Gráfico 8 Embutido de doble acción.....	14
Gráfico 9 Embutido telescópico.....	15
Gráfico 10 Embutido inverso.....	16
Gráfico 11 Diagrama de fuerza de embutición según Siebel-Oehler-Dies	19
Gráfico 12 Extractor	21
Gráfico 13 Placa matriz (B)	23
Gráfico 14 Porta matriz de asiento cilíndrico	24
Gráfico 15 Columnas y bocines.....	25
Gráfico 16 Placa inferior.....	26
Gráfico 17 Toma.....	27
Gráfico 18 Placa superior (A: macho, B: placa superior)	28
Gráfico 19 Placa porta punzón (elemento C).....	29
Gráfico 20 Punzón	30
Gráfico 21 Esquema de la transformación de un disco en una pieza embutida	32
Gráfico 22 Prensa chapa E.....	32

Gráfico 23 Desarrollo del disco	38
Gráfico 24 Disco embutido	39
Gráfico 25 Disco interior	39
Gráfico 26 Ceja del disco.....	40
Gráfico 27 Cilindro del disco.....	42
Gráfico 28 Expulsor	47
Gráfico 29 Casos para el diseño de placas circulares	49
Gráfico 30 Casos para el diseño de placas rectangulares.....	50
Gráfico 31 Placa matriz	52
Gráfico 32 Factor de seguridad placa matriz	52
Gráfico 33 Guías normalizadas.....	53
Gráfico 34 Bocines normalizados.....	54
Gráfico 35 Placa inferior.....	55
Gráfico 36 Factor de seguridad placa inferior.....	56
Gráfico 37 Placa superior.....	57
Gráfico 38 Factor de seguridad placa superior	58
Gráfico 39 Placa porta punzón.....	59
Gráfico 40 Factor de seguridad placa porta punzón.....	61
Gráfico 41 Columna empotrada-empotrada.....	61
Gráfico 42 Radio crítico para distintas geometrías	62
Gráfico 43 Factor de seguridad punzón	66
Gráfico 44 Placa prensa chapa	66
Gráfico 45 Factor de seguridad placa prensa chapa.....	68

Gráfico 46 Separación entre agujeros	71
Gráfico 47 Separación mínima agujero-borde de acuerdo al material.....	72
Gráfico 48 Longitud mínima de roscado de acuerdo al material	73
Gráfico 49 Diagrama de revenido dureza-temperatura	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los procesos de conformado	6
Tabla 2 Coeficientes de embutición.....	18
Tabla 3 Presión en el pisador	20
Tabla 4 Materiales para el pisador	22
Tabla 5 Materiales para la matriz.....	23
Tabla 6 Materiales para el porta matriz	25
Tabla 7 Materiales para columnas y bocines	26
Tabla 8 Materiales para la placa inferior	27
Tabla 9 Materiales para el toma.....	28
Tabla 10 Materiales para la placa inferior	29
Tabla 11 Materiales para el porta punzón.....	29
Tabla 12 Materiales para el punzón	31
Tabla 13 Materiales para el porta punzón.....	32
Tabla 14 Juego entre matriz y punzón de embutición.....	36
Tabla 15 Velocidades de embutición	37
Tabla 16 Tipo de lubricantes para el material.....	37
Tabla 17 Coeficiente k_1 para placas circulares.....	51
Tabla 18 Coeficiente k_1 para placas rectangulares.....	55
Tabla 19 Coeficiente k_1 para placas rectangulares.....	58
Tabla 20 Coeficiente k_1 para placas circulares.....	59
Tabla 21 Coeficiente k_1 para placas circulares.....	65
Tabla 22 Coeficiente k_1 para placas rectangulares.....	67

Tabla 23 Límite elástico y resistencia a la tracción última	69
Tabla 24 Áreas resistentes a la tracción de los tornillos	69
Tabla 25 Coeficientes de seguridad parciales	70
Tabla 26 Separación de agujeros según material	70
Tabla 27 Separación mínima agujero-borde de acuerdo al material	71
Tabla 28 Longitud mínima de roscado de acuerdo al material	72
Tabla 29 Lubricantes a usar para el embutido en frío, en relación al material a deformar. ..	76
Tabla 30 Siglas de lubricantes	77
Tabla 31 Resultados	78
Tabla 32 Costos de insumos	79
Tabla 33 Materia prima.....	80
Tabla 34 Costo hora máquina	80
Tabla 35 Horas maquinadas de cada elemento	81
Tabla 36 Costo de mano de obra.....	81
Tabla 37 Costo total de fabricación	82

RESUMEN

El presente proyecto abarcó el diseño y construcción de un troquel simple de embutido para implementación del laboratorio de S.A.V de la Universidad Politécnica Salesiana.

Para el diseño de las placas circulares y rectangulares se utilizó la ecuación de la deflexión máxima, mientras que las columnas y bocines fueron escogidos de catálogos de Hasco, para el cálculo del punzón se realizó el análisis por pandeo de columnas y para la cabeza de éste se analizó también mediante la ecuación de la deflexión máxima de una placa circular.

Una parte importante del estudio es el disco inicial de embutido, el desarrollo se lo obtuvo mediante tablas y un análisis matemático basado en la doble integral.

Para el diseño y comprobación de las partes troquel se utilizó el software Inventor Profesional 2014.

ABSTRACT

This project encompassed the design and construction of a single die of inlay to implement S.A.V of the Salesian Polytechnic University laboratory.

For the design of circular and rectangular plates is used the maximum deflection equation, while columns and bocines were chosen from catalogs of Hasco, for the calculation of the punch, the analysis was conducted by buckling of columns and head of this was also analyzed by the maximum deflection equation of a circular plate.

An important part of the study is the initial disc inlay, the development was obtained through tables and mathematical analysis based on the double integral.

The Inventor professional 2014 software was used for the design and verification of the parts.

INTRODUCCIÓN

Para el inicio del estudio, en el primer capítulo se empezará asimilando la mayor información acerca del embutido de chapas metálicas y los elementos inmiscuidos en éste como lo son: placa superior, punzón, porta punzón, prensa chapa, matriz de embutido, placa inferior y columnas guías; así como también los tres tratamientos térmicos que intervienen para el correcto funcionamiento del utillaje, los cuales son: temple, revenido y cementado.

En el segundo capítulo se obtendrá todo lo pertinente a formulación y parámetros de diseño, para en el siguiente capítulo desarrollar los cálculos de cada una de las partes, adicionalmente se obtendrá un modelo matemático mediante un análisis de doble integral, el desarrollo del disco a embutir que es de suma importancia para el éxito del proceso de embutición.

En el cuarto capítulo se realizará un análisis de costos de fabricación, insumos, materia prima, hora máquina y mano de obra para definir el valor total que conlleva a la fabricación de este útil de trabajo.

Finalmente, mediante el apoyo del software AUTODESK INVENTOR 2014, se generará los respectivos planos, general y despiece que servirá de indispensable guía para la construcción.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, no existe un equipo para realizar prácticas de embutición relacionado con el proceso sin arranque de viruta, motivo por el cual se ha visto la necesidad de diseñar y construir un troquel de embutido para poder comprender los procesos físicos que se generan en este trabajo.

JUSTIFICACIÓN

El la embutición es de gran importancia a nivel industrial y su uso está ampliamente extendido, tanto a pequeña como gran escala.

Gracias a la embutición se producen una gran variedad de productos como los utillajes domésticos, elementos para la industria automotriz, por este motivo se decidió construir el troquel de embutido para ampliar los conocimientos de los estudiantes en torno al tema.

ALCANCE

El troquel de embutido a diseñar y construir no será para uso industrial, se lo utilizará netamente para trabajos didácticos, motivo por el cual tendrá un dimensionamiento razonable, el área de funcionamiento de la máquina será 350 x 200 mm aproximadamente, para un espesor de embutido de 0.5 mm en aluminio, una altura máxima de embutido de 25 mm y altura del troquel de 400 mm.

El proyecto incluye cálculos, consideraciones técnicas, plano en conjunto y despiece, diseño de cada una de las partes que conforman el utillaje a utilizar para su posterior construcción y ensamblaje.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un troquel de embutido para implementación del laboratorio de S.A.V.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Conocer los procesos de conformado de los metales.
- ❖ Aprender el funcionamiento de éste utillaje al igual que aprovechar el producto que se llegará a embutir en cuanto a conocimiento académico.
- ❖ Calcular los parámetros necesarios tanto en el tema de embutido como en las partes constitutivas de la matriz.
- ❖ Construir y ensamblar el troquel de embutido con la ayuda de sus respectivos planos a fin de obtener un producto totalmente operativo.
- ❖ Elaborar los planos general y despiece.
- ❖ Realizar pruebas de embutido.

HIPÓTESIS

Al haber palpado la falta de implementos, específicamente en los laboratorios de la materia denominada “Tecnología Sin Arranque de Viruta” (S.A.V), la construcción del troquel está encaminada a fortalecer el conocimiento teórico-práctico, ayudando de esta manera en la formación de excelentes profesionales en el campo de la Ingeniería Mecánica.

CAPÍTULO I

DEFINICIONES

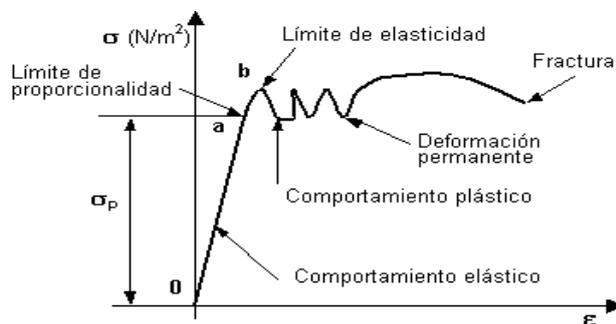
1.1 Conformado plástico de chapas metálicas

Existe un amplio grupo de procesos de manufactura, en éstos se utiliza la deformación plástica para variar las formas de las piezas metálicas; en los procesos de conformado, se tiene herramientas comunes como son los dados de conformado o matrices, que ejercen esfuerzos sobre la pieza de trabajo y obliga a tomar la forma del dado.

1.1.1 Introducción al conformado de metales

Para poder conformar los metales se debe trabajar en la zona de comportamiento plástico por lo cual es necesario superar la zona de fluencia y lograr la deformación permanente. Debido a este tema el material es sometido a esfuerzos superiores a los límites elásticos, éstos se elevan consumiendo así la ductilidad. Este proceso se aprecia en el gráfico 1.

Gráfico 1 Diagrama esfuerzo deformación



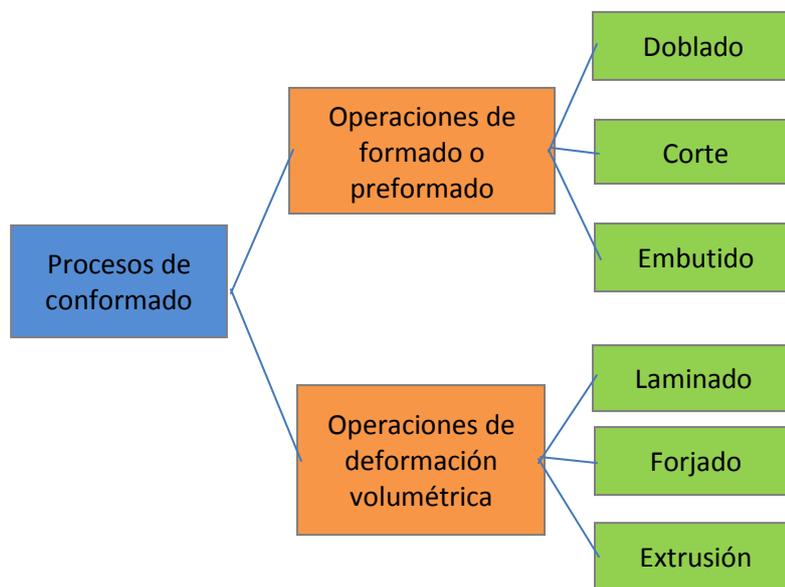
Fuente: (Pinto, 2011, pág. 2)

Para conformar los materiales se debe tener en cuenta algunas propiedades como un bajo límite de fluencia y una alta ductilidad. Estas propiedades pueden variar por la

presencia de la temperatura: si la temperatura aumenta, el límite de fluencia disminuye y la ductilidad aumenta.

Existen diversos procesos de conformado industrial, mediante los cuales se pretende dar una forma determinada a una chapa. Desde este punto de vista se engloban distintas operaciones, de las cuales las primordiales se aprecian en la tabla 1:

Tabla 1 Clasificación de los procesos de conformado



Elaborado por: Álvaro Buitrón

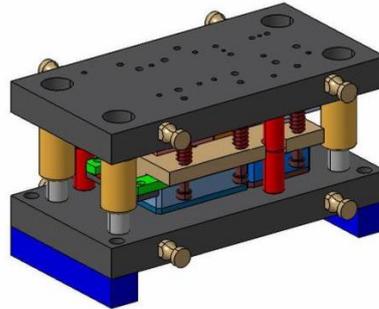
1.2 Troquelado

1.2.1 Definición

Es muy común escuchar en el campo mecánico los términos troquelado, que simplemente es la acción que ejecuta una matriz o troquel (ver gráfico 2), cuando se lo presiona contra un material mediante una prensa; en otras palabras el troquelado es un conjunto de operaciones con o sin arranque de viruta, en la cual se somete a una

lámina plana a ciertas transformaciones con el fin de darle a la pieza una forma geométrica previamente establecida.

Gráfico 2 Troquel de cuatro columnas



Fuente: (Ferreiro, 2011, pág. 24)

1.2.2 Clasificación de troqueles

A medida que los requerimientos aumentan, la complejidad en la geometría de las piezas a embutir, las exigencias de los materiales y la necesidad de producir más y mejores productos, se ha visto la necesidad de construir troqueles aptos para los diversos trabajos, por estas razones se los ha clasificado en:

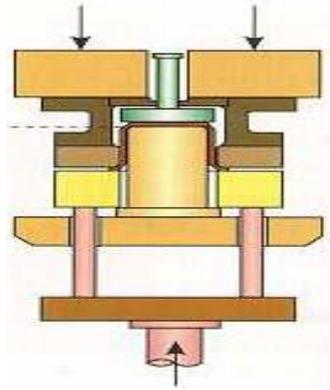
- Troqueles simples
- Troqueles compuestos
- Troqueles progresivos.

1.2.2.1 Troqueles simples

Estos troqueles se los denomina de una estación o de un solo paso, ya que permiten realizar una sola acción por golpe de la prensa, no son de alta productividad y por lo general se necesita de otro troquel para finalizar el trabajo, se utilizan para fabricar

piezas con poca complejidad como arandelas, accesorios y pequeñas partes de electrodomésticos, se puede apreciar un troquel simple en el gráfico 3.

Gráfico 3 Troquel simple



Fuente: (Montalvo, 2004, pág. 3)

1.2.2.2 Troqueles compuestos

Se los denomina troqueles de dos o tres acciones o pasos (ver gráfico 4), estas herramientas permiten aprovechar la fuerza ejercida por la prensa para realizar dos o más acciones por golpe de la misma, mejorando la productividad, se utilizan para conformar utensilios, lavaplatos, partes de estructuras.

Gráfico 4 Troquel compuesto

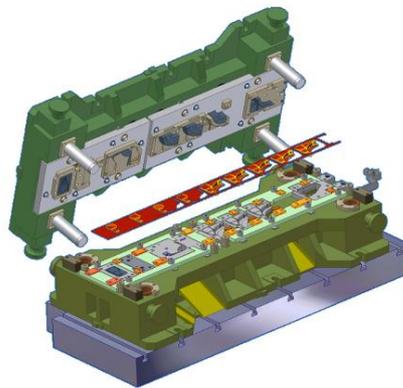


Fuente: (Alarcón, 2010, pág. 41)

1.2.2.3 Troqueles progresivos

Denominados también de múltiples acciones o pasos (ver gráfico 5), con este troquel se puede modificar chapas o láminas con una secuencia preestablecida por el diseñador, con lo que se obtiene una o varias piezas terminadas. Son altamente productivos, pero también tiene sus adversidades, costoso mantenimiento y muy complejo, una mayor cantidad de personal para su operación.

Gráfico 5 Troquel progresivo



Fuente: (Alarcón, 2010, pág. 28)

1.3 Consideraciones previas al troquelado

Los troqueles son construidos teniendo en cuenta cuatro aspectos importantes:

- Trabajo a realizar
- Características de la prensa
- Material a troquelar
- Número de piezas a producir

Los parámetros que se debe tener en cuenta para el troquelado son la forma y los materiales del punzón y la matriz, la velocidad y la fuerza de punzonado, la lubricación el espesor del material y la holgura o luz entre el punzón y la matriz. La

determinación de la luz influirá en la forma y la calidad del borde del embutido. Entre mayor luz exista, el borde embutido no tendrá buen acabado, las paredes tendrán irregularidades, también los radios de la matriz y el punzón juegan un papel importante, se puede reducir la formación de estas irregularidades si se aumenta la velocidad del punzón lo cual no es muy recomendable.

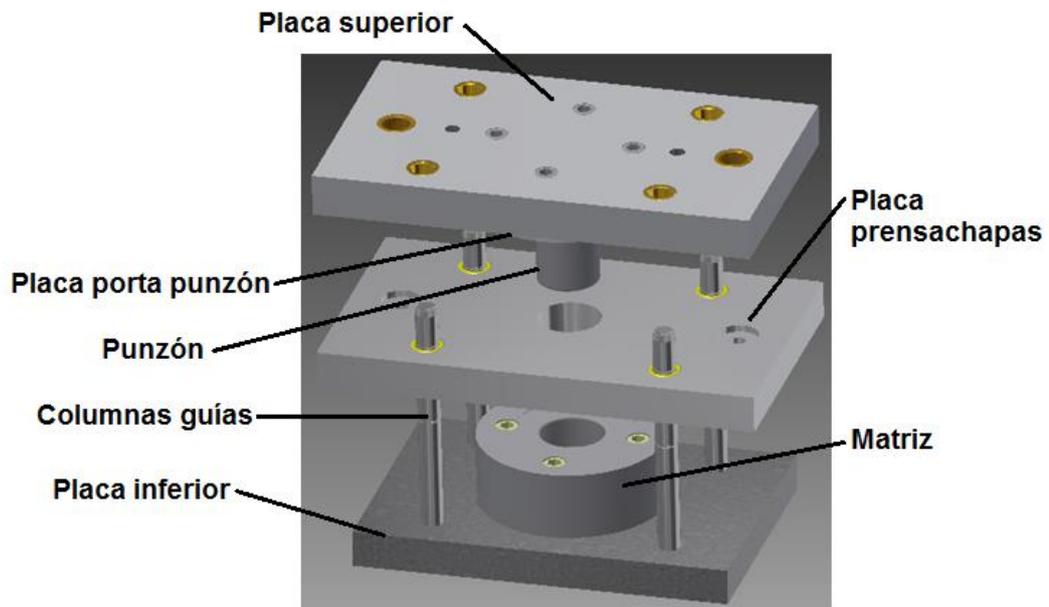
También se debe determinar las dimensiones de la pieza que se va a troquelar, conocer el material y sus propiedades, finalmente la facilidad de extracción de la pieza.

1.4 Partes del troquel

- Punzón o macho: Ejerce presión sobre la lámina a troquelar, embutiéndola gracias al juego existente entre éste y la matriz.
- Base inferior del troquel: Parte tenaz que contiene la placa sufridera o matriz.
- Base superior del troquel: Parte tenaz que aloja al macho y contiene una placa sufridera.
- Toma: Permite alinear el centro de la prensa con el centro de fuerza del troquel. Está ubicado en la superficie exterior de la base superior del utillaje.
- Placa pisadora: Impide el movimiento de la lámina antes de realizar el embutido y garantiza su correcta ubicación con respecto a la hembra y el macho.
- Matriz o hembra: Parte templada y revenida que impide las posibles indentaciones producidas por los continuos golpes o impactos que suceden durante el embutido, ubicada en el inferior de la troqueladora. La parte inferior de la matriz sirve como estructura y tiene una cavidad que permite el alojamiento de las piezas embutidas.
- Guías: Orientan la parte móvil del útil hacia la parte fija permitiéndola encajar perfectamente en la matriz (Garavito, 2008, pág. 10)

Se puede apreciar las partes del troquel en el gráfico 6.

Gráfico 6 Partes del troquel de embutido



Elaborado por: Álvaro Buitrón

1.5 Embutido

1.5.1 Definición

El término embutidora no es perfectamente explícito; se deriva del verbo embutir, que significa rellenar de una cierta sustancia un recipiente cerrado; delimitado por paredes flojas, para hincharlo y modificar su configuración (como en los colchones). Sin embargo, en el caso de la chapa no se verifica exactamente un relleno con otra sustancia; la chapa, plana en origen, solamente se hincha con el fin de obtener un objeto de forma hueca, como por ejemplo, un cubilete, una vasija, una copa, etc. Se puede emplear el término embutido para indicar la operación mediante la cual se somete a una chapa bajo la forma de un cuerpo hueco. La operación de embutir consiste, por lo tanto, en transformar una chapa plana de metal laminado en un cuerpo hueco, procediendo gradualmente con una o más pasadas. En la simple operación de

embutir no se debe modificar el espesor de la chapa; se reduce que la superficie de la pieza producida ha de ser teóricamente equivalente a la chapa plana empleada. En la práctica esto no se verifica con exactitud. (Rossi, 1979, pág. 66)

1.5.2 Proceso de embutido

Las piezas con dimensiones establecidas son previamente preparadas y se disponen en el anillo de centrado, el cual es parte de la matriz de embutir con la finalidad de evitar el descentramiento del disco en el proceso de embutición. Un dispositivo denominado pisador empuja el disco contra la matriz de embutir con la finalidad de que no se produzcan pliegues. El punzón de embutir empuja al material hacia la cavidad de la matriz que consta de bordes redondeados, con el fin de obtener una pieza hueca.

El desplazamiento de la placa en el momento del embutido es semejante al flujo de agua por el rebosadero de un embalse. Lo más correcto es que en este proceso el material siga teniendo su espesor original, por tanto el área de la pieza original tiene que ser exactamente igual al área de la superficie de pieza embutida.

Un factor muy importante en el embutido es la fricción, ya que el material debe deslizarse entre la abertura existente entre el punzón y la matriz, motivo por el cual esta área en contacto con la pieza debe ser bien pulida y lapeada.

Otro factor importante en este proceso es el achaflanado (radios) de los bordes de la matriz, éste ayudará al fácil desplazamiento del material, como se habló anteriormente en consideraciones previas al troquelado, también facilitará sustancialmente el proceso, la lubricación adecuada del disco recortado y de la herramienta en su conjunto.

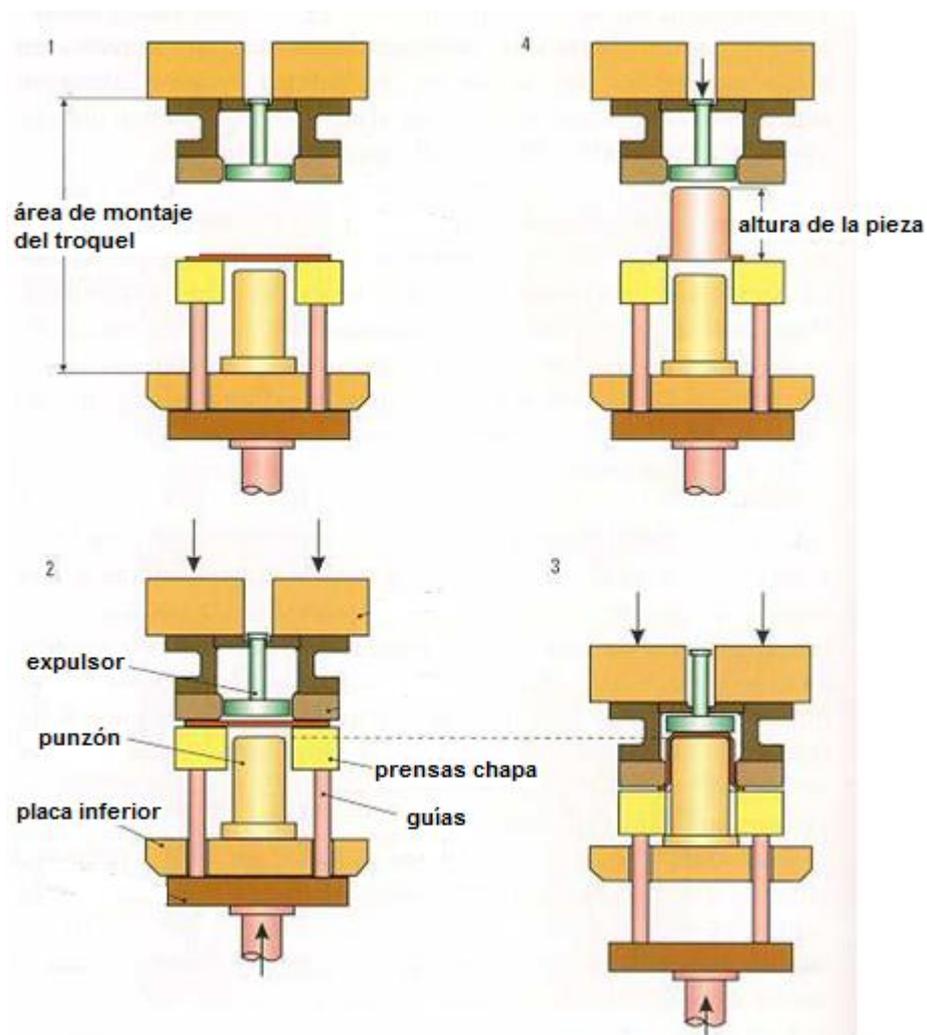
1.5.3 Clasificación de los tipos de embutido

1.5.3.1 Embutido de acción simple

En este tipo de herramienta el disco recortado a embutir se fija en su asiento, al actuar la placa prensa chapa, el punzón comienza a penetrar el material en la matriz en su totalidad. Seguido se expulsa la pieza embutida por acción de un expulsor (Montalvo, 2004, pág. 2)

El embutido de acción simple se puede apreciar en el gráfico 7.

Gráfico 7 Embutido de acción simple



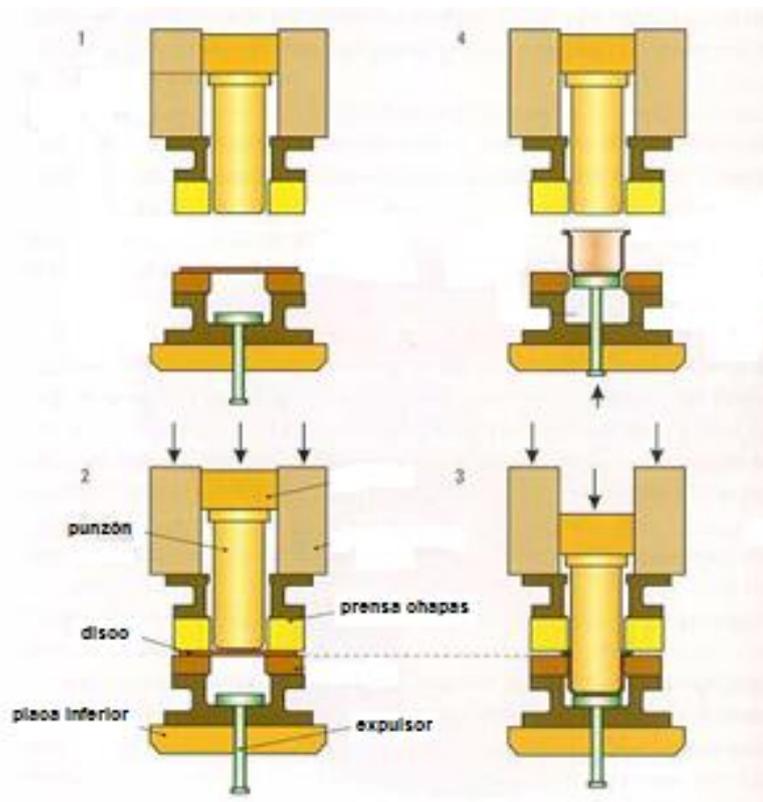
Fuente: (Montalvo, 2004, pág. 3)

1.5.3.2 Embutido de doble acción

En este tipo de herramientas, el punzón se ubica en la parte superior de la prensa, el disco embutido se ubica también en su asiento en la matriz y el punzón y la placa prensa disco actúan simultáneamente y la matriz cuenta con el expulsor. (Montalvo, 2004, pág. 3)

El embutido de doble acción se puede apreciar en el gráfico 8.

Gráfico 8 Embutido de doble acción



Fuente: (Montalvo, 2004, pág. 4)

1.5.3.3 Embutido telescópico

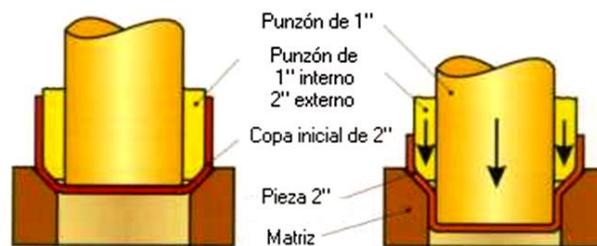
Se utiliza en piezas previamente embutidas con la finalidad de conseguir una mayor altura y por consiguiente una pieza de menor diámetro, para ello se debe contar con un juego de punzón y matriz adecuado, de tal manera de conseguir el

objetivo, como quiera que con el embutido previo, el material deformado ha conseguido una actitud debe ser tratado técnicamente para recobrar su elasticidad, ésto se debe aplicar en cada fase del proceso de embutido.

Para conseguir la altura y el diámetro necesario requiere muchas veces de utilizar varias etapas de embutido, tal como ya se ha explicado anteriormente, para lo cual es necesario, el uso de este tipo de herramientas, con el consiguiente juego de punzón y matriz adecuadas a la circunstancias. (Montalvo, 2004, pág. 4)

El embutido telescópico se puede apreciar en el gráfico 9.

Gráfico 9 Embutido telescópico



Fuente: (Montalvo, 2004, pág. 4)

1.5.3.4 Embutido inverso

Con estas herramientas se consigue también una mayor altura, para ello se debe contar con la herramienta, los materiales convenientemente dispuestos y acondicionados para tal fin. La embutición invertida ofrece la posibilidad de ahorrar una o dos etapas de embutición. Con este tipo de embutición la pieza previamente embutida se dispone con la abertura hacia abajo sobre una matriz negativa de embutir. El punzón de embutir que desciende sobre la pieza así dispuesta la vuelve de modo que era hasta ahora superficie interior se convierte en superficie exterior de la misma. De éste modo se obtiene con una herramienta profundidades mayores que con la embutición corriente. Por lo general no se necesita ningún dispositivo pisador. En la práctica se dispone de que en la herramienta, que con la carrera descendente de la corredera, una pieza hueca pre-

embutida y al descender el punzón se determina la pieza al actuar negativamente la herramienta.

La embutición negativa se emplea casi exclusivamente para piezas cilíndricas o piezas rodeadas no cilíndricas por ejemplo carcasas de faro o proyectores. Para piezas irregulares resultaría muy dificultosa la ejecución de las aberturas en la matriz invertida. (Montalvo, 2004, pág. 5)

El embutido inverso se puede apreciar en el gráfico 10.

Gráfico 10 Embutido inverso



Fuente: (Montalvo, 2004, pág. 5)

CAPÍTULO II

PARÁMETROS DE EMBUTIDO

2.1 Fuerza de embutido cilíndrico

La fuerza de embutido es aquella que introduce la silueta circular y plana hacia la cavidad circular de la matriz por medio del punzón, la cual es sostenida en la pared lateral cercana al fondo de la pieza a embutir. Por lo tanto, se presenta ruptura en dicha zona cuando el esfuerzo del material por el esfuerzo tensionante. Por ésta razón, para calcular la fuerza de embutido cilíndrico, se utiliza ampliamente la técnica en que se considera la fuerza que provoca la ruptura como la máxima fuerza de embutido. Sin embargo, en realidad, se hace el embutido sin que se presente la ruptura.

Cabe aclarar que la presión del prensa chapas, la velocidad de embutición, el redondeado de la arista de embutición, tipo de lubricante, tienen una influencia al momento de determinar la fuerza necesaria.

2.1.1 Método 1

Embutición cilíndrica

La fuerza de embutición cilíndrica se expresa en la ecuación 1

Embutición cilíndrica

$$F_e = \pi d p e n R \quad (\text{ec. 1})$$

Fuente: (Villamar, 2008, pág. 85)

Dónde:

- d_p : diámetro de punzón en mm.
- e : espesor de la chapa en mm.
- n : coeficiente de embutición que depende de la relación d_p / D (D = diámetro del disco, ver tabla 2)
- R : resistencia la tracción, en Kg / mm^2 ($Al = 12 Kg/mm^2$)

Tabla 2 Coeficientes de embutición

d/D	N
0.55	1
0.575	0.93
0.6	0.86
0.625	0.79
0.65	0.72
0.675	0.66
0.7	0.6
0.725	0.55
0.75	0.5
0.775	0.45
0.8	0.1

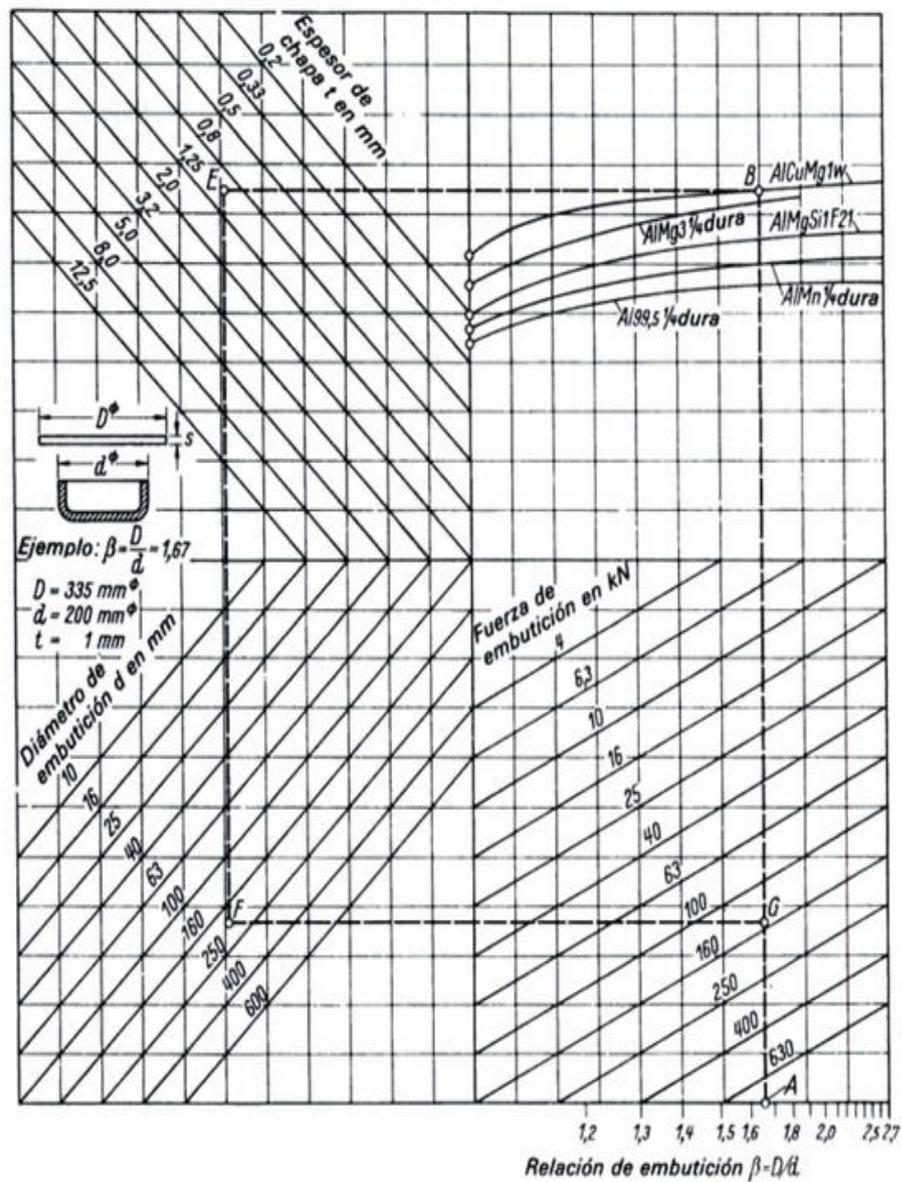
Fuente: (Villamar, 2008, pág. 151)

2.1.2 Método 2

En este caso como se va a trabajar con aluminio, se puede encontrar la fuerza de embutido mediante un nomograma, según Siebel-Oehler-Dies.

La fuerza de embutición se expresa en KN, se obtiene mediante un control poligonal, tal como se expresa en el gráfico 11, que partiendo de la relación de embutición A (β) pasa a la característica del material B , luego por el espesor de chapa E , posteriormente por el diámetro F y finaliza en G . De esta manera se encuentra la fuerza de embutición de una manera rápida y práctica, cabe recalcar que la exactitud de la respuesta no es la más acertada posible y depende mucho del lector.

Gráfico 11 Diagrama de fuerza de embutición según Siebel-Oehler-Dies



Fuente: (Fuentes & Mullapa, 2008, pág. 88)

2.2 Fuerza en el prensa chapas

2.2.1 Método 1

La fuerza del sujetador o prensa chapas (F_s) viene expresada de la siguiente manera (Ver ecuación 2):

Fuerza en el prensa chapas

$$F_s = A * h_s \quad (\text{ec. 2})$$

Fuente: (Shimisu, pág. 20)

Dónde:

F_s = Fuerza del prensa chapas en el embutido cilíndrico (Kg)

A = Área del prensa chapas que sujeta la silueta (mm)²

h_s = Presión del prensa chapas por área (Kg / mm ²) (Ver tabla 3)

Tabla 3 Presión en el pisador

Material	Presión del pisador h_s (kg /mm²)
Acero dulce	0.16 ~ 0.18
Acero inoxidable	0.18 ~ 0.20
Aluminio	0.03 ~ 0.07
Cobre	0.08 ~ 0.12
Latón	0.11 0.16

Fuente: (Shimisu, pág. 20)

2.2.2 Método 2

La fuerza del sujetador o prensa chapas (F_h) también viene expresada de la siguiente manera (Ver ecuación 3):

Fuerza en el prensa chapas

$$F_h = 0.015 S_y (D_b^2 - (D_p + 2.2t + 2R_d)^2) \quad (\text{ec. 3})$$

Fuente: (Rossi, 1979, pág. 104)

Dónde:

F_h = Fuerza del prensa chapas en el embutido cilíndrico (Kg)

S_y = Esfuerzo de fluencia del aluminio (MPa)

D_b^2 = Diámetro de la silueta (mm)

D_p = Diámetro del punzón (mm)

t = Espesor de la chapa

R_d = Radio de embutición (mm)

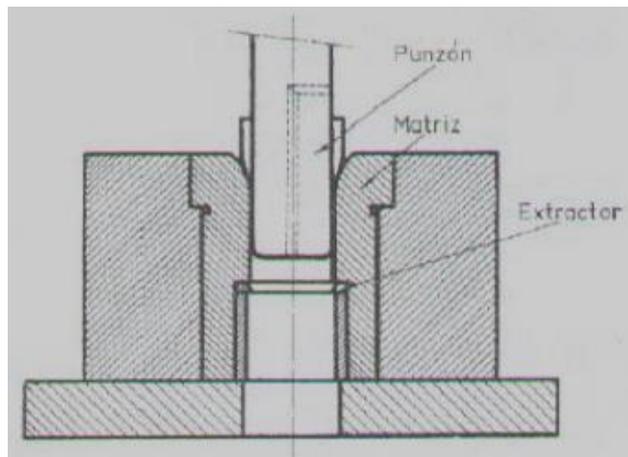
2.3 Conjunto expulsor

Es el mecanismo que expulsa la pieza una vez embutida. Esta pieza será parte de la prensa a utilizarse en conjunto con la matriz de embutido y será de accionamiento neumático.

Es un elemento auxiliar en el proceso de embutido que extrae la pieza, es decir previene que la pieza embutida quede adherida a la placa matriz, además sirve de guía a los punzones evitando su desviación, estos pueden ser accionados mediante muelles, goma o el colchón neumático provisto por la prensa.

El expulsor se puede apreciar en el gráfico 12.

Gráfico 12 Extractor



Fuente: (Fuentes & Mullapa, 2008, pág. 30)

Para este elemento se recomienda utilizar los siguientes materiales mencionados en la tabla 4:

Tabla 4 Materiales para el pisador

MATERIAL	NORMA	NOMBRE COMERCIAL	CARGA
ACERO 1018	AISI/SAE 1018, DIN CK 18	ACERO DE TRASMISIÓN	BAJA
ACERO 1045	AISI/SAE 1045, DIN CK 45	AISI 1045	MEDIA
ACERO K 460, ACERO DF2	AISI 01, DIN 1.2510	BÖHLER K460	ALTA

Elaborado por: Álvaro Buitrón

2.3.1 Fuerza de expulsión

Al finalizar un proceso de embutido, la pieza recién embutida tiene tendencia, por expansión o por rozamiento, a quedarse adherida en el interior de la matriz. Esta adherencia o rozamiento de la pieza en el interior de la matriz representa un esfuerzo adicional a tener en cuenta, que se llamará fuerza de expulsión y que debe calcularse sobre un 1,5% del valor de la fuerza de embutido (Ver ecuación 4)

Ecuación 4 Fuerza de expulsión

$$F_{ex p} = F_e * 0.015 \quad (\text{ec. 4})$$

Fuente: (Ferreiro, 2011, pág. 46)

2.4 Partes móviles del utillaje

2.4.1 Placa matriz

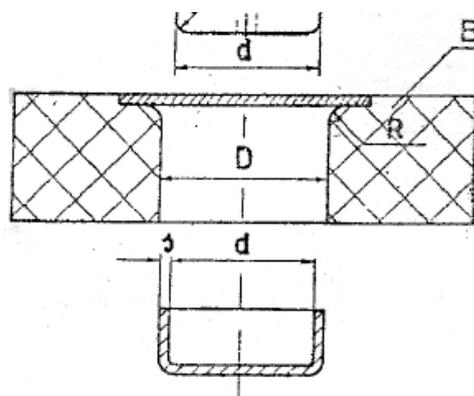
La matriz es el elemento que guía y moldea la silueta o disco inicial en el proceso de embutición, los principales factores que se consideran para diseñar la placa matriz

son: dimensiones de la pieza, espesor de la pieza, profundidad del embutido y tipo de matriz que se va a utilizar.

Para construir matrices grandes se divide en varias secciones para facilitar su mecanizado, temple y revenido. Para matrices pequeñas y medianas se diseña una placa matriz única para abaratar costos.

Se puede apreciar una placa matriz en el gráfico 13.

Gráfico 13 Placa matriz (B)



Fuente: (Fuentes & Mullapa, 2008, pág. 28)

Según Rossi el redondeado de las aristas de embutición de la matriz es recomendado entre 3 a 5 veces el espesor de la chapa a embutirse (chapa de aluminio). (Rossi, 1979, pág. 92)

El material para una matriz de embutir debe ser un acero de herramientas templado y posteriormente revenido, seleccionado en función de la disponibilidad del mercado, del costo y sus dimensiones.

Los materiales recomendados para este fin son los mencionados en la tabla 5:

Tabla 5 Materiales para la matriz

NORMA	NOMBRE COMERCIAL
AISI 01, DIN 1.2510	ACERO K 460, ACERO DF2
AISI-D3, DIN 1.2080	ACERO K 100

Elaborado por: Álvaro Buitrón

2.4.2 Porta matrices

La finalidad del porta matriz:

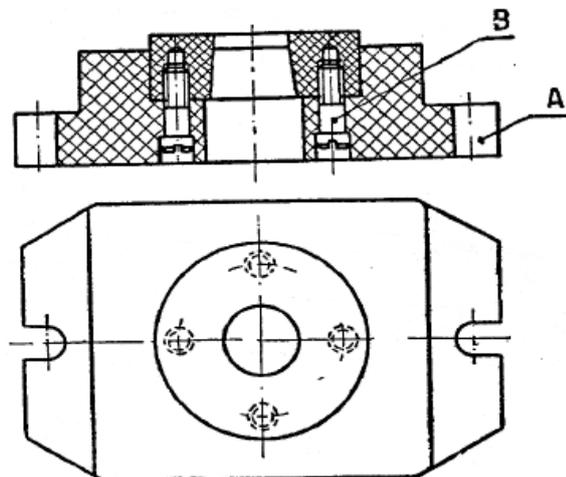
- Fija la matriz en la mesa
- Alinear el macho y la hembra
- Tener una placa base de absorción de impacto
- Sirve de base para otra matriz (el elemento puede ser normalizado)

Así como también debe cumplir con dos requerimientos fundamentales:

- Medios óptimos para fijar la matriz
- Medios para fijar la base porta matriz en la mesa de la prensa

La matriz puede ser fijada a la porta matriz (A), por tornillos (B), tornillos de presión, tornillos de cabeza hexagonal o allen que encajen en la matriz (Ver gráfico 14).

Gráfico 14 Porta matriz de asiento cilíndrico



Fuente: (Fuentes & Mullapa, 2008, pág. 28)

Para el porta matriz se puede utilizar un acero de baja aleación o contenido de carbono según sus normas se los puede encontrar de la siguiente manera (Ver tabla 6):

Tabla 6 Materiales para el porta matriz

MATERIAL	NORMA	NOMBRE COMERCIAL
ACERO 1045	AISI/SAE 1045, DIN CK 45	AISI 1045
HIERRO FUNDIDO	ASTM A48-41	FUNDICIÓN GRIS
ACERO A-36	ASTM A36	ACERO A36

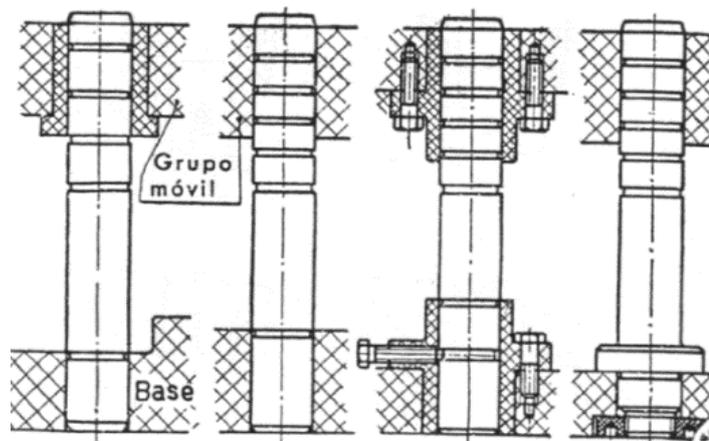
Elaborado por: Álvaro Buitrón

2.4.3 Columnas y bocines

Las columnas guías son accesorios cilíndricos en forma de barras fijadas en las matrices, estos elementos facilitan la instalación y el ajuste del útil de embutir sobre la prensa, ya que permiten la coincidencia exacta de las partes fija y móvil, es decir el punzón y la matriz de embutir. Para cada matriz es necesario por lo menos un par de columnas.

Éstas deben ser rectificadas para disminuir la fuerza de rozamiento con el bocín, obteniendo un acabado de ISO N7 (1.6 μ m). Las columnas guías son empotradas en la placa inferior y los bocines en la superior (Ver gráfico 15).

Gráfico 15 Columnas y bocines



Fuente: (Fuentes & Mullapa, 2008, pág. 27)

En las columnas se hacen ranuras para lubricante, a menudo para reducir las pérdidas por rozamiento en los bocines y columnas.

Las características que deben tener estos elementos son: Coeficiente de rozamiento bajo, elasticidad, que el material de las guías permita tratamiento térmico de cementación para evitar al máximo el desgaste.

Los materiales recomendados para este fin se los puede apreciar en la tabla 7:

Tabla 7 Materiales para columnas y bocines

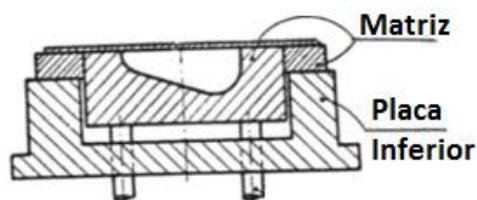
MATERIAL	NORMA	NOMBRE COMERCIAL	CARGA
BRONCE SAE 40	AISI/SAE 40, ASTM 836	BRONCE SAE 40	BAJA
ACERO 1018	AISI/SAE 1018, DIN CK 18	ACERO DE TRANSMISIÓN	MEDIA
ACERO 4140	AISI/SAE 4140, DIN 42CrMo4	ACERO 4140	ALTA

Elaborado por: Álvaro Buitrón

2.4.4 Placa inferior

Este elemento sirve como asiento para la matriz al momento del descenso (Ver gráfico 16), también sirve para fijación de la matriz en la mesa de la prensa mediante pernos.

Gráfico 16 Placa inferior



Fuente: (Fuentes, 2008, pág. 31)

Los materiales recomendados para este fin son los citados en la tabla 8:

Tabla 8 Materiales para la placa inferior

MATERIAL	NORMA	NOMBRE COMERCIAL	CARGA
ACERO A-36	ASTM A36	ACERO A36	BAJA
ACERO 1045	AISI/SAE 1045, DIN CK 45	AISI 1045	MEDIA
ACERO K 460, ACERO DF2	AISI 01, DIN 1.2510	BÖHLER K460	ALTA

Elaborado por: Álvaro Buitrón

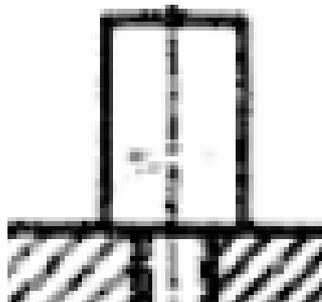
2.5 Partes móviles del utillaje

2.5.1 Toma

El toma tiene por finalidad unir la matriz con la prensa y éste baja conjuntamente con ella, también para ésta unión se puede utilizar acoples.

Se puede apreciar el toma en el gráfico 17.

Gráfico 17 Toma



Fuente: (Fuentes & Mullapa, 2008, pág. 24)

Para este elemento se recomienda utilizar los materiales de la tabla 9:

Tabla 9 Materiales para el toma

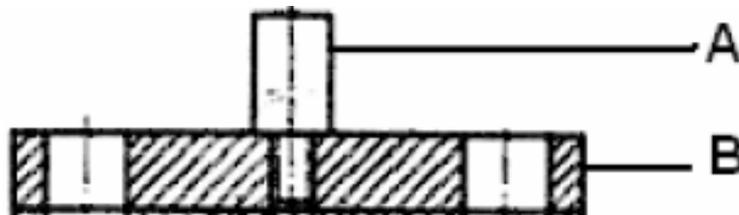
MATERIAL	NORMA	NOMBRE COMERCIAL	CARGA
ACERO 1018	AISI/SAE 1018, DIN CK 18	ACERO DE TRASMISIÓN	BAJA
ACERO 1045	AISI/SAE 1045, DIN CK 45	AISI 1045	MEDIA

Elaborado por: Álvaro Buitrón

2.5.2 Placa superior o freno de punzón

Esta placa va unida al toma, su función es frenar al punzón (Ver gráfico 18).

Gráfico 18 Placa superior (A: macho, B: placa superior)



Fuente: (Fuentes & Mullapa, 2008, pág. 24)

Para la placa superior por el hecho de no estar sometida a esfuerzos especiales, se recomienda utilizar los siguientes materiales que según sus normas se los puede encontrar de la tabla 10:

Tabla 10 Materiales para la placa inferior

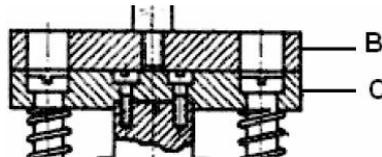
MATERIAL	NORMA	NOMBRE COMERCIAL	CARGA
ACERO A-36	ASTM A36	ACERO A36	BAJA
ACERO 1018	AISI/SAE 1018, DIN CK 18	ACERO DE TRASMISIÓN	BAJA
ACERO 1045	AISI/SAE 1045, DIN CK 45	AISI 1045	MEDIA

Elaborado por: Álvaro Buitrón

2.5.3 Placa porta punzón

Este elemento está destinado a llevar el punzón, la unión de los elementos se puede realizar mediante tornillos o simplemente introducir el punzón en el porta punzón y restringir su movimiento mediante la placa superior (Ver gráfico 19).

Gráfico 19 Placa porta punzón (elemento C)



Fuente: (Fuentes & Mullapa, 2008, pág. 24)

Para la placa porta punzón se recomienda utilizar los siguientes materiales que según sus normas se los puede encontrar en la tabla 11:

Tabla 11 Materiales para el porta punzón

MATERIAL	NORMA	NOMBRE COMERCIAL	CARGA
ACERO A-36	ASTM A36	ACERO A36	BAJA
ACERO 1018	AISI/SAE 1018, DIN CK 18	ACERO DE TRASMISIÓN	BAJA
ACERO 1045	AISI/SAE 1045, DIN CK 45	AISI 1045	MEDIA

Elaborado por: Álvaro Buitrón

2.5.4 Punzón

El punzón es un elemento principal, motivo por el cual debe tener propiedades mecánicas tales como:

- Dureza
- Resistencia al desgaste
- Alta tenacidad

La forma geométrica de la sección del punzón será según el destino y forma de la pieza a embutir, pudiendo ser estas cónicas, esféricas, cilíndricas, rectangulares, perfiladas, etc. Los bordes de los punzones o matrices se deben hacer redondeados, el tamaño de los mismos influye en la fuerza de embutición, formación de pliegues en la pieza y se realizará tratamiento térmico de temple y luego revenido.

Según Rossi el redondeado de las aristas de embutición del punzón es recomendado entre 3 a 5 veces el espesor de la chapa a embutirse (chapa de aluminio). (Rossi, 1979, pág. 92)

Se puede apreciar al punzón en el gráfico 20.

Gráfico 20 Punzón



Fuente: (Hernández & Vásquez, 2010, pág. 37)

La sujeción de los punzones a la parte móvil superior de la prensa se la realiza según las siguientes funciones:

- De las dimensiones
- De su forma
- Del modo en que se debe trabajar
- Del espesor de la chapa a trabajar
- De la cantidad de piezas a producir

Para el punzón se recomienda utilizar los siguientes materiales que según sus normas se lo puede encontrar en la tabla 12:

Tabla 12 Materiales para el punzón

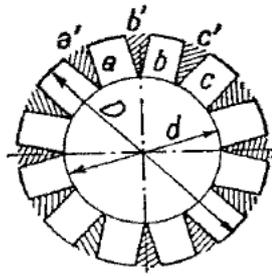
MATERIAL	NORMA	NOMBRE COMERCIAL	CARGA
ACERO K 460, ACERO DF2	AISI 01, DIN 1.2510	BÖHLER K460	MEDIA
ACERO K 100	AISI D2, DIN 1.2080	BÖHLER K100	ALTA
ACERO K 110	AISI D3, DIN 1.2379	BÖHLER K110	ALTA

Elaborado por: Álvaro Buitrón

2.5.5 Prensa chapas

Básicamente el prensa chapas o pisador es un útil que evita que se formen pliegues en la pieza debido a las secciones triangulares achuradas en el gráfico 21, que son excesos de material ya que sería únicamente necesario las secciones blancas la formación de estos pliegues da lugar a que el espesor de la chapa sufra deformaciones tanto tangenciales como radiales, conservando su espesor original únicamente en el fondo.

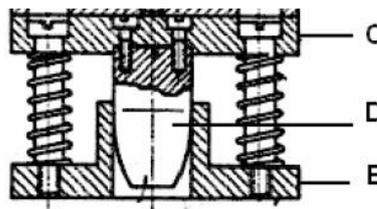
Gráfico 21 Esquema de la transformación de un disco en una pieza embutida



Fuente: (Santos De La Cruz, pág. 24)

El prensa chapa se lo puede apreciar en el gráfico 22.

Gráfico 22 Prensa chapa E



Fuente: (Fuentes & Mullapa, 2008, pág. 27)

Para la placa porta punzón se recomienda utilizar los siguientes materiales que según sus normas se lo puede encontrar de la siguiente manera (Ver tabla 13).

Tabla 13 Materiales para el porta punzón

MATERIAL	NORMA	NOMBRE COMERCIAL	CARGA
ACERO A-36	ASTM A36	ACERO A36	BAJA
ACERO 1045	AISI/SAE 1045, DIN CK 45	AISI 1045	MEDIA
ACERO K 460, ACERO DF2	AISI 01, DIN 1.2510	BÖHLER K460	ALTA

Elaborado por: Álvaro Buitrón

2.6 Tratamientos térmicos

Los tratamientos térmicos son procesos donde se utilizan únicamente el calor para variar la estructura y constitución de una aleación, pero no su composición química. Los tratamientos térmicos tienen por objeto modificar o mejorar las propiedades de los metales y aleaciones, mediante alteraciones en su estructura con el fin de que las piezas puedan desempeñar óptimamente la función para la cual han sido diseñadas. Las variaciones en la estructura se consiguen mediante calentamientos y enfriamientos a velocidades determinadas, dependiendo de los materiales y objetivos a conseguir. Los principales tratamientos térmicos son:

2.6.1 Temple

El temple es un tratamiento térmico que tiene por objeto aumentar la dureza, la resistencia al desgaste y resistencia a la tracción del acero. En el temple se encuentra tres fases:

- **Calentamiento del metal** Se realiza en horno. Primeramente el calentamiento es lento hasta los 500°C y posteriormente es rápido hasta la temperatura de temple (750°C – 1300°C).
- **Homogeneización de la temperatura** Se mantiene a la temperatura de temple durante un determinado tiempo a la pieza para que se consiga la misma temperatura en todas las zonas.
- **Enfriamiento rápido** Se saca la pieza del horno y se enfría el material en un fluido denominado medio de temple que puede ser:

Agua: es el medio más económico y antiguo, se consiguen buenos temples con aceros al carbono. Las piezas se agitan dentro del agua para eliminar las burbujas de gas.

Aceite: Enfría más lentamente que el agua.

Aire: Se enfrían las piezas con corrientes de aire. Se utiliza para los denominados aceros rápidos.

Para realizar el temple de una pieza se deben analizar diferentes factores como:

- Forma y dimensiones de la pieza
- Composición del acero o de la aleación
- Temperatura de calentamiento
- Medio de enfriamiento

Casi todos los aceros destinados al uso industrial se pueden templear, por ejemplo los aceros para resortes, aceros para trabajo en frío, aceros de temple y revenido, aceros para rodamientos, aceros para trabajo en caliente y aceros de herramientas, así como una gran cantidad de aceros inoxidables de alta aleación y aleaciones de hierro fundido.

Las durezas máximas que se pueden alcanzar en aceros de herramienta de media aleación (medio carbón, medio cromo) con el temple son entre 60HRC – 64HRC.

2.6.2 Revenido

Solo se aplica a aceros previamente templados, para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentar la tenacidad. El revenido consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada.

Consiste en calentar al acero, a una temperatura menor al punto crítico, seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se deseen resultados elevados en tenacidad, o lento, para reducir al máximo las tensiones térmicas que puedan causar deformaciones. Para aceros al carbono de construcción, la temperatura de revenido está comprendida entre 450°C a 600°C, mientras que para los aceros de herramienta la temperatura de revenido es de 200°C a 350°C.

2.6.3 Cementación

La cementación es un tratamiento térmico que se realiza a materiales con bajo contenido de carbono (menos del 0.25%) que no esté templado con el objeto de enriquecer en carbono (más del 0.8%) la capa superficial.

Se somete el carbono a altas temperaturas (850-950°C), para que se produzca su difusión dentro de la pieza, gracias a este procedimiento se tendrá dos capas: una superficie cementada y el núcleo sin cementar, después de este proceso la pieza se somete a temple y revenido a bajas temperaturas. El núcleo debido a su bajo contenido de carbono, no admite temple y queda tenaz, con esto se puede trabajar con cargas dinámicas y en la superficie adquiere temple a una profundidad de 1 mm haciéndose resistente al desgaste por rozamiento.

2.7 Juego entre matriz y punzón de embutición

Para el proceso de embutición, teóricamente el valor del juego es igual al espesor de la chapa, pero hay que tener en cuenta las tolerancias de ésta. Por otro lado, si el juego es demasiado grande se puede tener deformación del perfil de las paredes o una desviación del punzón, la cual provoca la formación de lenguetas sobre el borde del embutido.(Loza & Miguel, 2009, pág. 25)

Por juego entre matriz y punzón se entiende la diferencia de radios que existe entre el uno y el otro. Mediante pruebas realizadas por Guth, Schmidtke, Vonesser y Arend, se recomienda un juego idóneo que ha de ser de 1.1 a 1.5 veces el espesor de la chapa que a de embutirse (ver tabla 14).

Cálculo del juego para la matriz de embutición en función del espesor de la chapa (Ver ecuación 5)

$$j = 1,1 \text{ a } 1,5 * e \quad (\text{ec. 5})$$

Fuente: (Loza & Miguel, 2009, pág. 118)

Tabla 14 Juego entre matriz y punzón de embutición

Material	Juego j
Latón	1,1 a 1,5 e
Aluminio	1,1 a 1,5 e
Cobre	1,1 a 1,5 e
Acero	1,2e
Embutición Rectangulares	1,1 a 1,2e

Fuente: (Villamar, 2008, pág. 82)

2.8 Radio de embutición

El radio de embutición es muy importante ya que condiciona la embutición.

Un radio pequeño produce una disminución importante del espesor de la chapa, mayor alargamiento y la resistencia al deslizamiento provocaría rotura de la pieza, caso contrario si el radio es demasiado grande produce pliegues, por estos motivos el radio exacto de embutición nos garantiza un deslizamiento normal y alargamiento débil.

2.9 Velocidad de embutición

Es la velocidad a la cual recorre o ingresa el punzón en la matriz, las velocidades recomendadas por Juan j. Maluquier (Manual del técnico matricero) son las siguientes (Ver tabla 15):

Tabla 15 Velocidades de embutición

Material	Velocidad Ve en (mm/seg)
Zinc y acero inoxidable	200
Acero dulce	280
Aluminio	500
Latón	750

Fuente: (Villamar, 2008, pág. 84)

2.10 Lubricación de la chapa metálica

Para evitar la resistencia opuesta al deslizamiento de la chapa sea excesiva y provoque un estiramiento del material que puede llegar hasta su rotura, habrá que lubricar la chapa. Esta lubricación permitirá, como consecuencia, disminuir el esfuerzo de embutición y el desgaste demasiado rápido de la herramienta (Villamar, 2008, pág. 82)

Se puede apreciar los tipos de lubricantes en la tabla 16.

Tabla 16 Tipo de lubricantes para el material

Material	Lubricante
Latón	Petróleo y grafito en polvo o aceite de nabo + agua jabonosa
Aluminio	Aceite soluble diluido al 1/10. Una mezcla de aceite de colza y de grasa animal (30%) o de aceite de colza y lanolina
Acero	Una mezcla de: 25% de grafito en escamas + 25% de grasa de buey + 50% de aceite de manteca
Cobre	Petróleo y grafito en polvo o aceite de nabo + agua jabonosa
Acero inoxidable	Agua grafitada

Fuente: (Villamar, 2008, pág. 83)

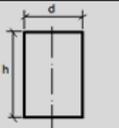
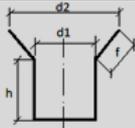
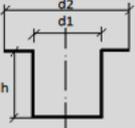
2.11 Desarrollo de la pieza

El desarrollo no es más que la silueta inicial que se utiliza para la formación de la pieza. Para encontrar la silueta desarrollada de la pieza se lo puede realizar mediante dos métodos:

2.11.1 Tablas

Se puede apreciar en el gráfico 23 la tabla del disco desarrollado.

Gráfico 23 Desarrollo del disco

Forma del producto embutido	Fórmula de la dimensión de la silueta Nota: A: Área superficial del producto D: Diámetro de la silueta
	$A = \frac{\pi d^2}{4} + \pi dh$ $D = \sqrt{d^2 + 4dh}$
	$A = \frac{\pi d_1^2}{4} + \pi d_1 h + \pi f \frac{d_1 + d_2}{2}$ $D = \sqrt{d_1^2 + 4d_1 h + 2f(d_1 + d_2)}$
	$A = \frac{\pi d_1^2}{4} + \pi d_1 h + \frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2)$ $D = \sqrt{d_2^2 + 4d_1 h}$

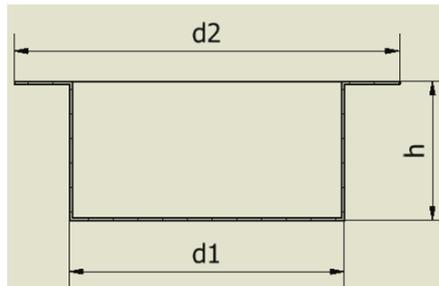
Fuente: (Shimisu, pág. 9)

2.11.2 Desarrollo matemático

Este desarrollo utiliza el método de la doble integral para poder encontrar las áreas de cada una de los componentes del disco conformado y desarrollarlo por partes.

En el gráfico 24 se puede ver el disco después del proceso de embutido.

Gráfico 24 Disco embutido



Elaborado por: Álvaro Buitrón

S1: Superficie del disco interior de diámetro d1

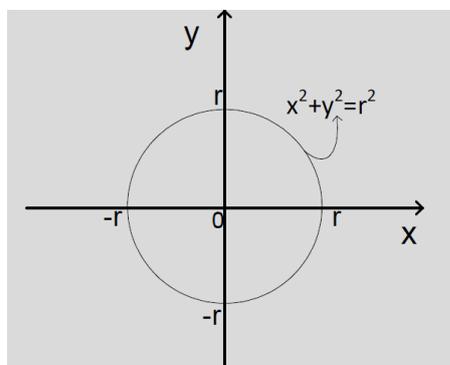
S2: Superficie del anillo diámetro d2 – d1

S3: Superficie del cilindro de diámetro d1 y altura h

Para el disco de radio $r = \frac{d1}{2}$

El disco interior de la pieza embutida se la aprecia en el gráfico 25.

Gráfico 25 Disco interior



Elaborado por: Álvaro Buitrón

$$S1 = \int_{x1}^{x2} \int_{f1(x)}^{f2(x)} dydx = \int_{-r}^r \int_{\sqrt{r^2-x^2}}^{\sqrt{r^2-x^2}} dydx = 4 \int_0^r \int_0^{\sqrt{r^2-x^2}} dydx$$

$$\int_0^{\sqrt{r^2-x^2}} dydx = y \Big|_0^{\sqrt{r^2-x^2}} = \sqrt{r^2-x^2} - 0 = \sqrt{r^2-x^2}$$

$$S1 = 4 \int_0^r \sqrt{r^2 - x^2} dx$$

$$S1 = 4 \left[\frac{x}{2} \sqrt{r^2 - x^2} + \frac{r^2}{2} \arcsen \left(\frac{x}{r} \right) \right]_0^r$$

$$S1 = 4 \left[\frac{r}{2} \sqrt{r^2 - r^2} + \frac{r^2}{2} \arcsen \left(\frac{r}{r} \right) \right] - \left[\frac{0}{2} \sqrt{r^2 - 0^2} + \frac{r^2}{2} \arcsen \left(\frac{0}{r} \right) \right]$$

$$S1 = 4 [0 + \arcsen(1) - 0 + 0]$$

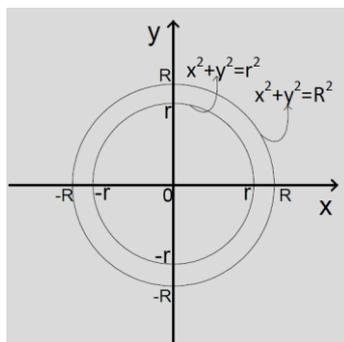
$$S1 = \left[\frac{r^2}{2} * \arcsen \left(\frac{\pi}{2} \right) \right]$$

$$S1 = \pi r^2$$

Para el disco de radio $R - r = \frac{d2}{2} - \frac{d1}{2}$

La ceja del disco embutido se la puede encontrar en el gráfico 26.

Gráfico 26 Ceja del disco



Elaborado por: Álvaro Buitrón

$$S2 = \int_{x_1}^{x_2} \int_{f_1(x)}^{f_2(x)} dy dx = \int_{-R}^R \int_{\sqrt{R^2-x^2}}^{\sqrt{R^2-x^2}} dy dx - \int_{-r}^r \int_{\sqrt{r^2-x^2}}^{\sqrt{r^2-x^2}} dy dx$$

$$S2 = 4 \left[\int_0^R \int_0^{\sqrt{R^2-x^2}} dy dx - \int_0^r \int_0^{\sqrt{r^2-x^2}} dy dx \right]$$

Realizando lo mismo que para S1, se tiene:

$$\int_0^{\sqrt{R^2-x^2}} dy dx = y \Big|_0^{\sqrt{R^2-x^2}} = \sqrt{R^2-x^2} - 0 = \sqrt{R^2-x^2}$$

$$\int_0^{\sqrt{r^2-x^2}} dy dx = y \Big|_0^{\sqrt{r^2-x^2}} = \sqrt{r^2-x^2} - 0 = \sqrt{r^2-x^2}$$

$$S2 = 4 \left[\int_0^R \sqrt{R^2-x^2} dx - \int_0^r \sqrt{r^2-x^2} dx \right]$$

$$S2 = 4 \left[\left[\frac{x}{2} \sqrt{R^2-x^2} + \frac{R^2}{2} \arcsen \left(\frac{x}{R} \right) \right]_0^R - \left[\frac{x}{2} \sqrt{r^2-x^2} + \frac{r^2}{2} \arcsen \left(\frac{x}{r} \right) \right]_0^r \right]$$

$$S2 = 4 \left[\left[\frac{R}{2} \sqrt{R^2-R^2} + \frac{R^2}{2} \arcsen \left(\frac{R}{R} \right) \right] - \left[\frac{0}{2} \sqrt{R^2-0^2} + \frac{0^2}{2} \arcsen \left(\frac{0}{R} \right) \right] \right. \\ \left. - \left[\frac{r}{2} \sqrt{r^2-r^2} + \frac{r^2}{2} \arcsen \left(\frac{r}{r} \right) \right] - \left[\frac{0}{2} \sqrt{r^2-0^2} + \frac{0^2}{2} \arcsen \left(\frac{0}{r} \right) \right] \right]$$

$$S2 = 4 \left[\left[0 + \frac{R^2}{2} \arcsen (1) - 0 + 0 \right] - \left[0 + \frac{r^2}{2} \arcsen (1) - 0 + 0 \right] \right]$$

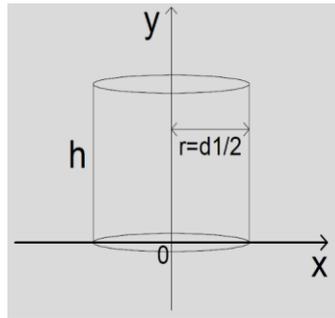
$$S2 = 4 \left[\left[\frac{R^2}{2} * \frac{\pi}{2} \right] - \left[\frac{r^2}{2} * \frac{\pi}{2} \right] \right]$$

$$S2 = \pi (R^2 - r^2)$$

Para el cilindro de diámetro $d1$ y altura h

El cilindro del disco embutido se lo aprecia en el gráfico 27.

Gráfico 27 Cilindro del disco



Elaborado por: Álvaro Buitrón

$$S3 = 2\pi \int_c^d g(y) \sqrt{1 + g'(y)} dy$$

En este caso $c = 0$, $d = h$, $g(y) = \sqrt{r^2 - y^2}$

$$g(y) \rightarrow g'(y) = -\frac{y}{\sqrt{r^2 - y^2}}$$

Sustituyendo en la expresión se tiene:

$$S3 = 2\pi \int_c^d \sqrt{r^2 - y^2} \sqrt{1 + \left(-\frac{y}{\sqrt{r^2 - y^2}}\right)^2} dy$$

$$S3 = 2\pi \int_0^h \sqrt{r^2 - y^2} \sqrt{1 + \frac{y^2}{r^2 - y^2}} dy$$

$$S_3 = 2\pi \int_0^h \sqrt{r^2 - y^2} \cdot \frac{r^2 - y^2 + y^2}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy$$

$$S_3 = 2\pi \int_0^h \sqrt{r^2 - y^2} \cdot \frac{r^2}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy$$

$$S_3 = 2\pi \int_0^h \sqrt{r^2 - y^2} \cdot \frac{r}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy$$

$$S_3 = 2\pi \int_0^h r dy = 2\pi r \int_0^h dy = 2\pi r y \Big|_0^h$$

$$S_3 = 2\pi r (h - 0)$$

$$\mathbf{S_3 = 2\pi r h}$$

Superficie total

$$\mathbf{S = S_1 + S_2 + S_3}$$

$$S = \pi r^2 + \pi (R^2 - r^2) + 2\pi r h$$

$$S = \pi r^2 + \pi (R^2 - r^2) + 2\pi r h$$

$$\mathbf{S = \pi R^2 + 2\pi r h}$$

Dónde:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}; R^2 = \frac{d_2^2}{4}; r^2 = \frac{d_1^2}{4}$$

Reemplazando:

$$\mathbf{S = \pi R^2 + 2\pi r h}$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi d_2^2}{4} + 2 \frac{\pi d_1}{2} h$$

$$D^2 = d_2^2 + 4 d_1 h$$

$$D = \sqrt{d_2^2 + 4 d_1 h}$$

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LAS PARTES DEL TROQUEL Y DE LA PIEZA

3.1 Fuerza de embutido cilíndrico

3.1.1 Método 1

Se va a obtener una pieza de $d_2 = 70$ mm, $d_1 = 50$ mm y de 25 mm de altura, el espesor es de 0,5 mm.

$$F_e = \pi d p e n R$$

$$F_e = \pi * 50 * 0,5 * 0,6 * R \quad *R = 12 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

$$F_e = \pi * 50 \text{ mm} * 0.5 \text{ mm} * 0.6 * 12 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

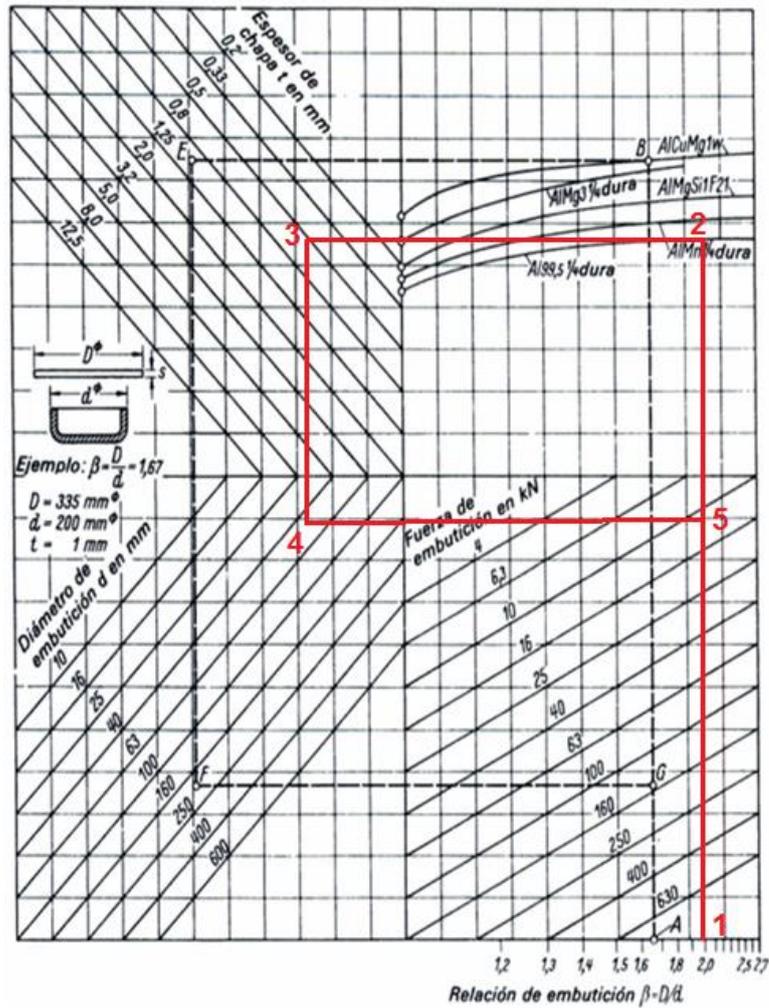
$$F_e = 565,49 \text{ Kg}$$

3.1.2 Método 2

En el capítulo 2 se explicó el procedimiento para calcular la fuerza de embutición mediante un nomograma, se va a obtener una pieza de $d_2 = 70$ mm, $d_1 = 50$ mm y de 25 mm de altura, el espesor es de 0,5 mm.

Con los datos anteriores se puede proceder a calcular los parámetros necesarios.

$$\beta = \frac{D}{d} \quad \beta = \frac{99.5}{50} \quad \beta = 1.99$$



- 1 Relación de embutición ($\beta = 1.99$)
- 2 Tipo de material (Al)
- 3 Espesor de la chapa ($t = 0.5$ mm)
- 4 Diámetro de embutición (50 mm)
- 5 Fuerza de embutido (11 KN)

Según el nomograma y mi apreciación se obtiene una fuerza de embutición de 11 KN que se lo va a transformar a kilogramos para poder comparar con los métodos anteriores.

$$1 \text{ KN} = 102 \text{ Kgf}$$

$$\therefore F_e = 11 \times 102 \text{ Kgf}$$

$$F_e = 1122 \text{ Kgf}$$

3.2 Fuerza en el prensa chapas

3.1.1 Método 1

La fuerza del sujetador o prensa chapa (F_s) viene expresada de la siguiente manera:

$$F_s = A * h_s$$

$$F_s = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) h_s$$

$$F_s = \frac{\pi}{4} [(99.5\text{mm})^2 - (50\text{mm}^2)] * \frac{0.07\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

$$F_s = 406 \text{ Kg}$$

3.1.2 Método 2

$$F_h = 0.015 \times S_y [(D_b)^2 - ((D_p + (2.2t) + (2Rd))^2)]$$

$$F_h = 0.015 \times 76\text{MPa} [(99.5\text{mm})^2 - ((49.35 + (2.2 \times 0.5\text{mm}) + (2 \times 2\text{mm}))^2)]$$

$$F_h = 3379.87 \text{ N}$$

$$F_h = \frac{3379.87 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}{9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$F_h = 345 \text{ Kg}$$

3.3 Conjunto expulsor

3.3.1 Fuerza de expulsión

Gráfico 28 Expulsor



Elaborado por: Álvaro Buitrón

El expulsor es una parte de la prensa hidráulica que será ubicado en el interior de la matriz de embutición, este mecanismo de expulsión es accionado por un colchón neumático.

Fuerza de expulsión necesaria:

$$F_{exp} = F_e * 0,015$$

$$F_{exp} = 565,49 \text{ Kg} * 0,015$$

$$\mathbf{F_{exp} = 8,5 \text{ Kg}}$$

3.4 Partes Fijas del utillaje

Para el cálculo de placas circulares y rectangulares se puede utilizar la ecuación de la deflexión máxima. Los materiales escogidos para las partes de nuestro utillaje son:

Acero ASTM A36 para la placa superior, placa inferior, prensa chapas y porta punzón.

Acero K460 para el punzón y para placa matriz.

Acero 1018 para las guías.

Bronce SAE 40 para los bocines.

Deflexión máxima para cargas distribuidas

$$YM = K_1 \frac{WR^4}{Et^3} \quad (\text{ec. 6})$$

Fuente: (Avalone, 1995, págs. 5-56)

Deflexión máxima para cargas concentradas

$$YM = K_1 \frac{PR^2}{Et^3} \quad (\text{ec. 7})$$

Fuente: (Avalone, 1995, págs. 5-56)

YM = Deflexión máxima

K_1 = Coeficiente adimensional

R = Radio

P = Carga concentrada

W = Carga distribuida

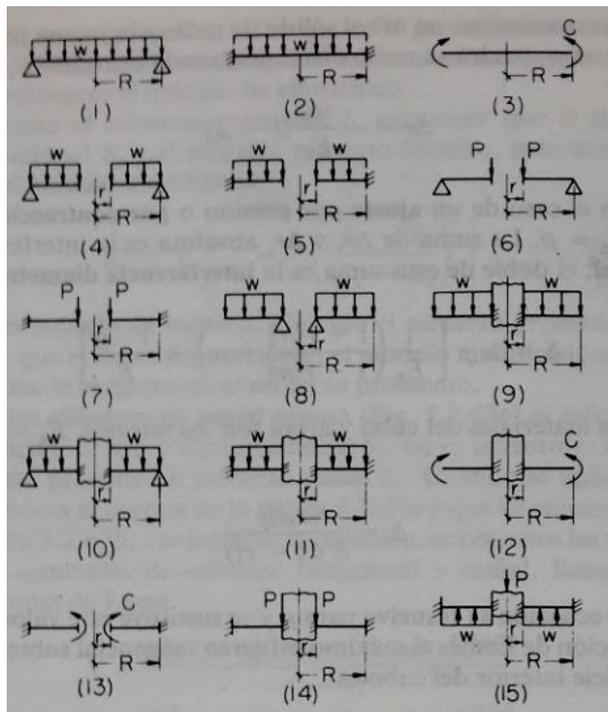
E = Módulo de elasticidad

t = Espesor de la placa

La ecuación (a.) se la utiliza para una carga uniforme distribuida $W = [\frac{N}{m^2}]$, mientras que la (b.) se la aplica para cargas concentradas $P = [N]$.

En el presente estudio los cálculos de placas circulares se tienen varios casos (Ver gráfico 29):

Gráfico 29 Casos para el diseño de placas circulares

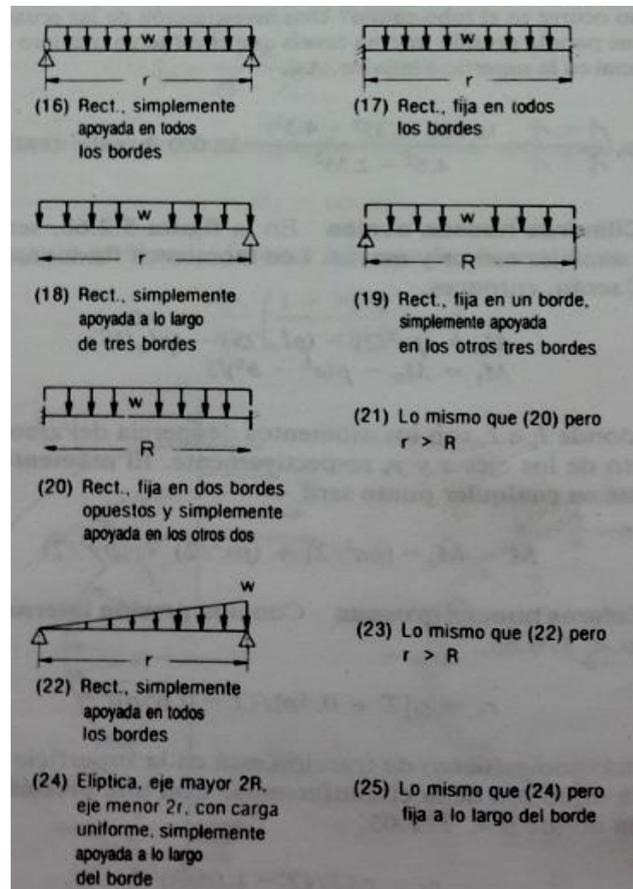


Fuente: (Avalone, 1995, págs. 5-56)

Para este propósito dado la geometría de las placas, el caso 4 es el más aproximado para poder calcular el espesor de las piezas de la matriz.

Para el diseño de las placas rectangulares al igual que placas circulares se tiene los siguientes casos (Ver gráfico 30):

Gráfico 30 Casos para el diseño de placas rectangulares



Fuente: (Avallone, 1995, págs. 5-56)

De los casos citados anteriormente se escoge el no. 16 que se acopla a las características de las placas, para proceder con el diseño, R es la dimensión más larga, excepto en los casos (21) y (23).

3.4.1 Placa matriz

Se puede escoger el coeficiente k_1 para la placa matriz de la tabla 17.

Tabla 17 Coeficiente k_1 para placas circulares

R/r	1.25		1.5		2		3		4		5	
Caso	k	k_1	k	k_1	k	k_1	k	k_1	k	k_1	k	k_1
4	0.592	0.184	0.976	0.414	1.440	0.664	1.880	0.824	2.08	0.830	2.19	0.813
5	0.105	0.0025	0.259	0.0129	0.481	0.057	0.654	0.130	0.708	0.163	0.730	0.176
6	1.10	0.341	1.26	0.519	1.48	0.672	1.88	0.734	2.17	0.724	2.34	0.704
7	0.195	0.0036	0.320	0.024	0.455	0.081	0.670	0.171	1.00	0.218	1.30	0.238
8	0.660	0.202	1.19	0.491	2.04	0.902	3.34	1.220	4.30	1.300	5.10	1.310
9	0.135	0.0023	0.410	0.0183	1.04	0.0938	2.15	0.293	2.99	0.448	3.69	0.564
10	0.122	0.00343	0.336	0.0313	0.740	0.1250	1.21	0.291	1.45	0.417	1.59	0.492

Fuente: (Avallone, 1995, págs. 5-57)

$$R = 92.5$$

$$r = 25$$

$$\frac{R}{r} = 3 \rightarrow k_1 = 0.824$$

$$\frac{R}{r} = 3,7 \rightarrow k_1 = x$$

$$\frac{R}{r} = 4 \rightarrow k_1 = 0.830$$

$$\therefore k_1 = 0.828$$

$$W = \frac{50000 \text{ N}}{\pi (75^2 - 25^2) \text{ mm}^2}$$

$$W = 3.18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{k_1 W R^4}{E Y M}}$$

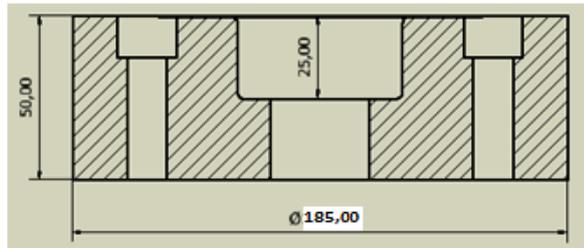
$$t = \sqrt[3]{\frac{0.828 * 3.18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * (92.5)^4 \text{ mm}^4}{(210e^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}) (0.1 \text{ mm})}}$$

$$t = 20.94 \text{ mm}$$

$$t \cong 21 \text{ mm}$$

La profundidad de embutido es de 25 mm y el espesor calculado de la placa matriz 21 mm, por lo tanto el espesor total sería de 46 mm, por motivos constructivos se deja finalmente de 50 mm (Ver gráfico 31).

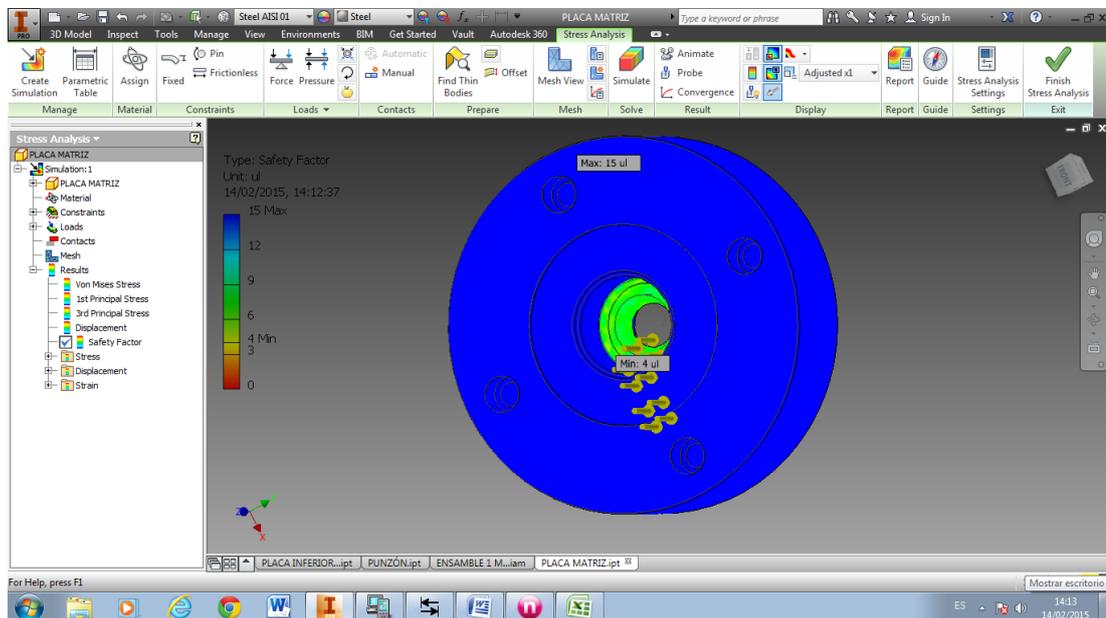
Gráfico 31 Placa matriz



Elaborado por: Álvaro Buitrón

En el gráfico 32 se puede apreciar el factor de seguridad de la placa matriz.

Gráfico 32 Factor de seguridad placa matriz



Elaborado por: Álvaro Buitrón

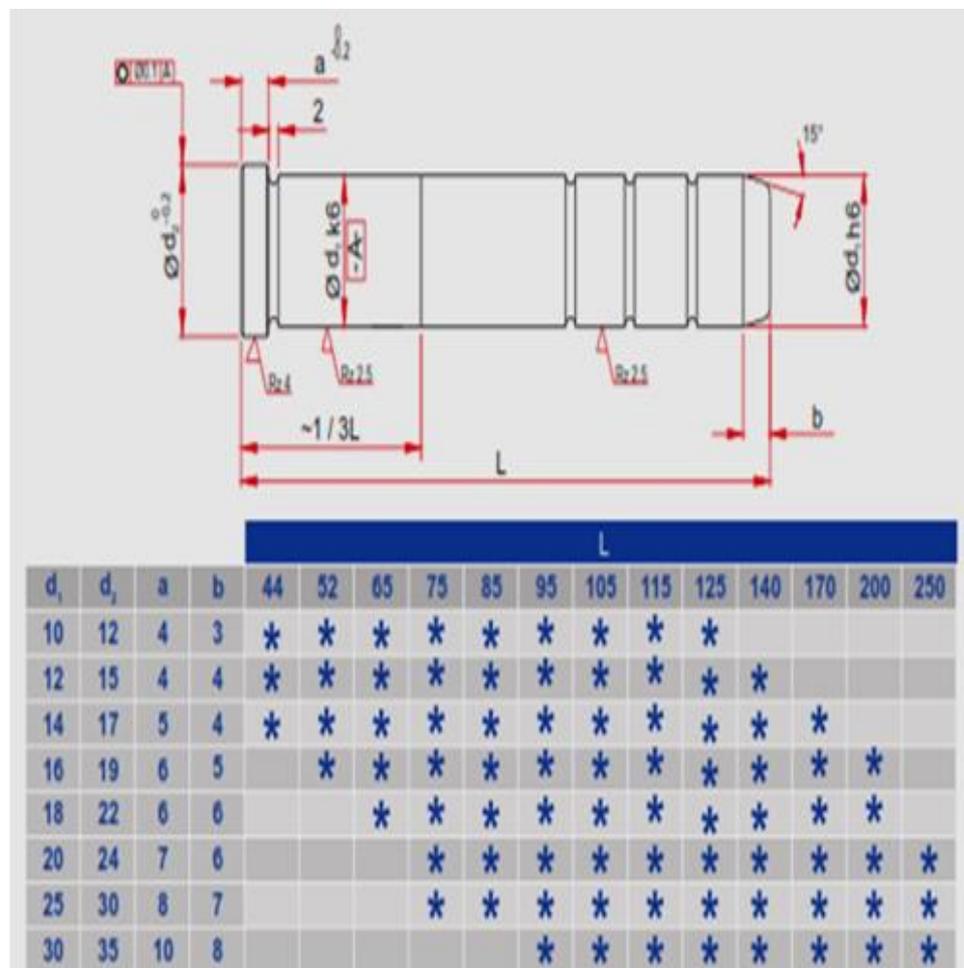
Factor de seguridad mínimo	4
Factor de seguridad máximo	15

3.4.2 Columnas y bocines

Las columnas guías y casquillos o bocines, serán escogidos según las necesidades que se presenten en la construcción mediante catálogos de Hasco, los cuales son elementos normalizados, estos elementos se los construirá de acero AISI 1018 para guías y para los bocines Bronce SAE 40, ya que son materiales óptimos para este trabajo.

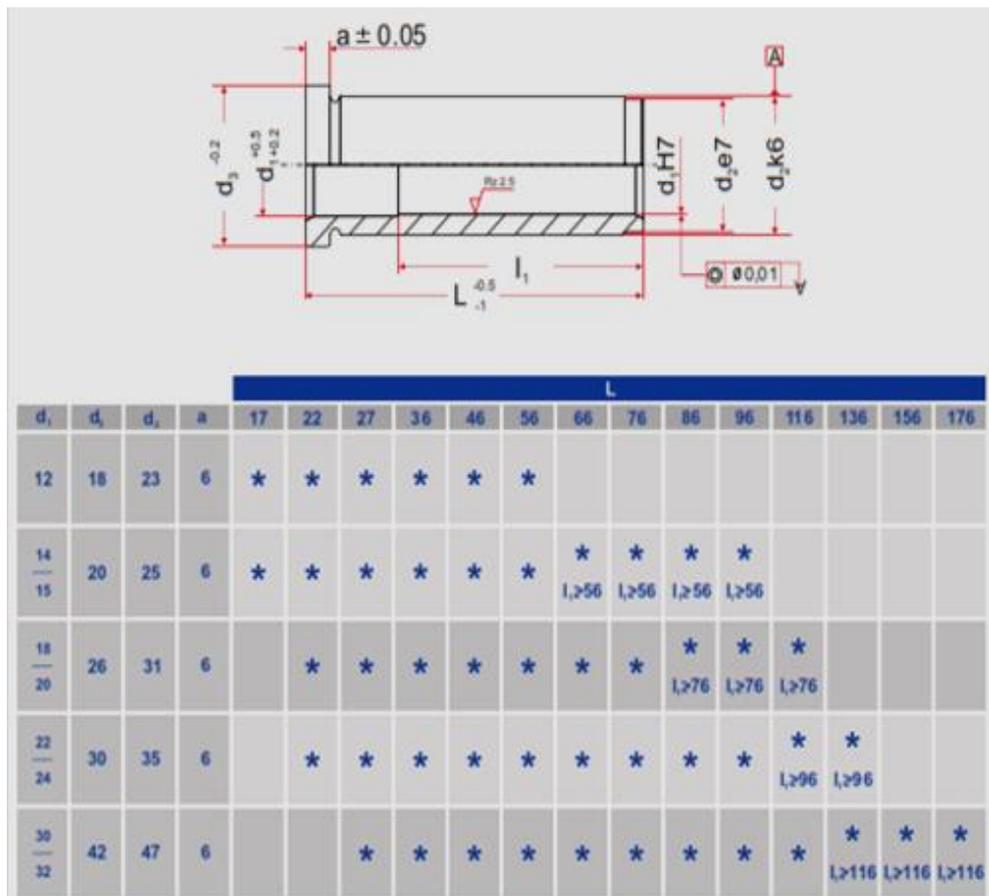
En los gráficos 33 y 34 se puede observar las guías y bocines respectivamente.

Gráfico 33 Guías normalizadas



Fuente: (Hasco, 2010, pág. 4)

Gráfico 34 Bocines normalizados

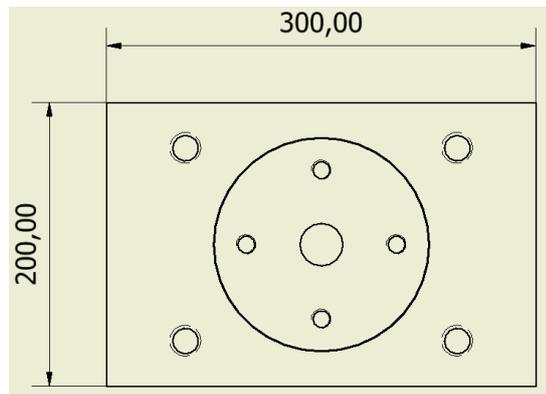


Fuente: (Hasco, 2010, pág. 4)

3.4.3 Placa inferior

En el gráfico 35 se puede apreciar la placa inferior del troquel.

Gráfico 35 Placa inferior



Elaborado por: Álvaro Buitrón

$$R = 300$$

$$r = 200$$

$$\frac{R}{r} = 1.5$$

Se puede escoger el coeficiente k_1 para la placa inferior de la tabla 18.

Tabla 18 Coeficiente k_1 para placas rectangulares

R/r Caso	1.0		1.5		2.0		3.0		4.0	
	k	k_1	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$
16	0.287	0.0443	0.487	0.0843	0.610	0.1106	0.713	0.1336	0.741	0.1400
17	0.308	0.0138	0.454	0.0240	0.497	0.0277	0.500	0.028	0.500	0.028
18	0.672	0.140	0.768	0.160	0.792	0.165	0.798	0.166	0.800	0.166
19	0.500	0.030	0.670	0.070	0.730	0.101	0.750	0.132	0.750	0.139
20	0.418	0.0209	0.626	0.0582	0.715	0.0987	0.750	0.1276	0.750	0.1276
21*	0.418	0.0216	0.490	0.0270	0.497	0.0284	0.500	0.0284	0.500	0.0284
22	0.160	0.0221	0.260	0.0421	0.320	0.0553	0.370	0.0668	0.380	0.0700
23*	0.160	0.0220	0.260	0.0436	0.340	0.0592	0.430	0.0772	0.490	0.0908
24	1.24	0.70	1.92	1.26	2.26	1.58	2.60	1.88	2.78	2.02
25	0.75	0.171	1.34	0.304	1.63	0.379	1.84	0.419	1.90	0.431

*La razón de longitudes es r/R en los casos 21 y 23.

Fuente: (Avalone, 1995, págs. 5-57)

$$\therefore k_1 = 0.0843$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{k_1 P R^2}{E Y M}}$$

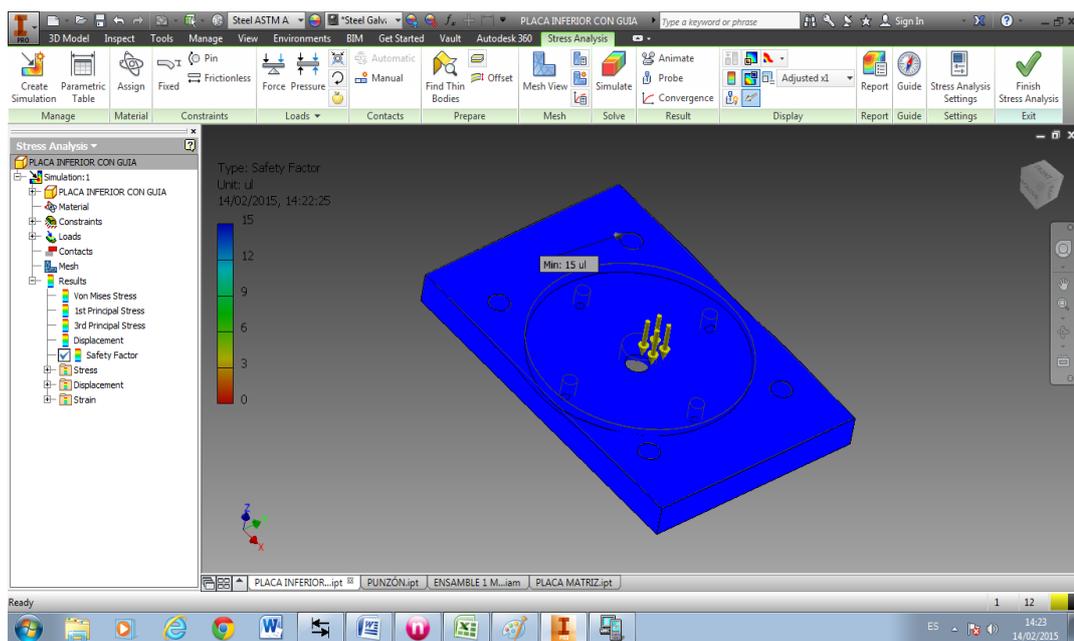
$$t = \sqrt[3]{\frac{0.0843 * 50000 \text{ N} * (300)^2 \text{ mm}^2}{\left(200e^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) (0.1 \text{ mm})}}$$

$$t = 26.67 \text{ mm}$$

$$t \cong 27 \text{ mm}$$

En el gráfico 36 se puede apreciar el factor de seguridad de la placa inferior.

Gráfico 36 Factor de seguridad placa inferior



Elaborado por: Álvaro Buitrón

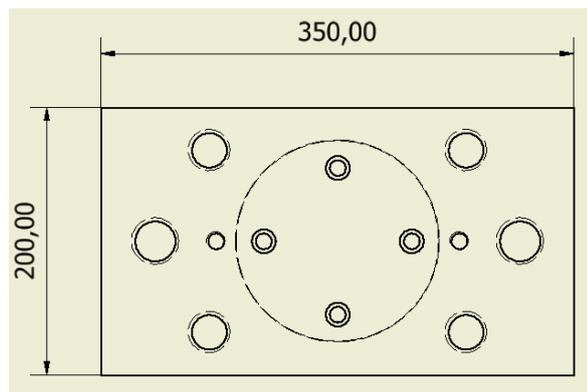
Factor de seguridad mínimo	15
Factor de seguridad máximo	15

3.5 Partes móvil del utillaje

3.5.1 Placa superior o freno de punzón

En el gráfico 37 se puede apreciar la placa superior del troquel.

Gráfico 37 Placa superior



Elaborado por: Álvaro Buitrón

$$R = 350$$

$$r = 200$$

$$\frac{R}{r} = 1,75$$

Interpolando:

$$\frac{R}{r} = 1,5 \rightarrow k_1 = 0,0843$$

$$\frac{R}{r} = 1,75 \rightarrow k_1 = x$$

$$\frac{R}{r} = 2 \rightarrow k_1 = 0,1106$$

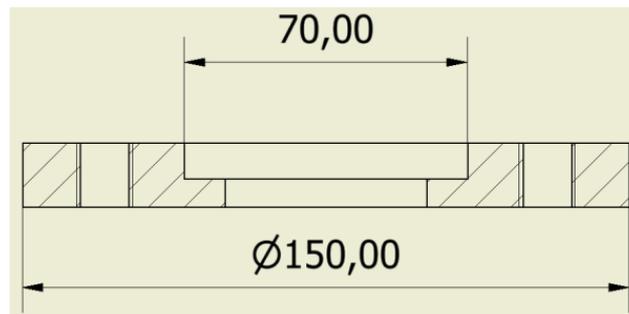
Se puede escoger el coeficiente k_1 para la placa superior de la tabla 19.

Factor de seguridad mínimo	15
Factor de seguridad máximo	15

3.5.2 Placa porta punzón

En el gráfico 39 se puede apreciar la placa porta punzón.

Gráfico 39 Placa porta punzón



Elaborado por: Álvaro Buitrón

$$R = 75$$

$$r = 35$$

$$\frac{R}{r} = 2.14$$

Se puede escoger el coeficiente k_1 para la placa porta punzón de la tabla 20.

Tabla 20 Coeficiente k_1 para placas circulares

Caso	1.25		1.5		2		3	
	k	k_1	k	k_1	k	k_1	k	k_1
4	0.592	0.184	0.976	0.414	1.440	0.664	1.880	0.824
5	0.105	0.0025	0.259	0.0129	0.481	0.057	0.654	0.130
6	1.10	0.341	1.26	0.519	1.48	0.672	1.88	0.734
7	0.195	0.0036	0.320	0.024	0.455	0.081	0.670	0.171
8	0.660	0.202	1.19	0.491	2.04	0.902	3.34	1.220

Fuente: (Avallone, 1995, págs. 5-57)

Interpolando:

$$\frac{R}{r} = 2 \rightarrow k_1 = 0.664$$

$$\frac{R}{r} = 2.14 \rightarrow k_1 = x$$

$$\frac{R}{r} = 3 \rightarrow k_1 = 0.824$$

$$\therefore k_1 = \mathbf{0.6864}$$

$$W = \frac{50000 N}{\pi (75^2 - 35^2) \text{ mm}^2}$$

$$W = 3.6 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{k_1 W R^4}{E Y M}}$$

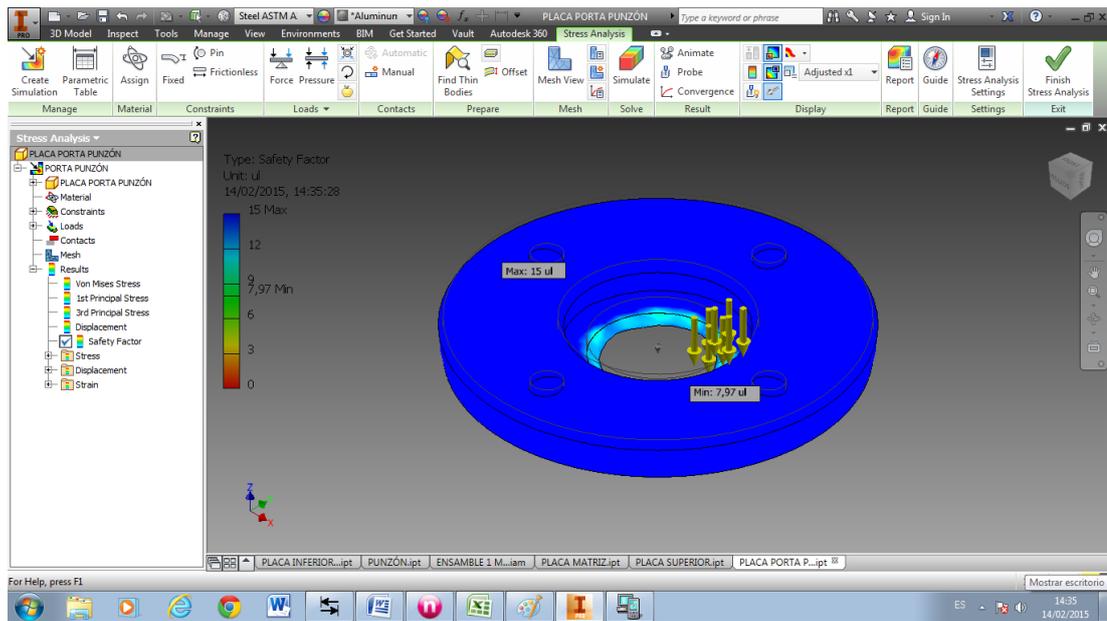
$$t = \sqrt[3]{\frac{0.6864 * 3.6 \frac{N}{\text{mm}^2} * (75)^4 \text{ mm}^4}{\left(200e^3 \frac{N}{\text{mm}^2}\right) (0.1 \text{ mm})}}$$

$$t = 15.75 \text{ mm}$$

$$t \cong \mathbf{16 \text{ mm}}$$

En el gráfico 40 se puede apreciar el factor de seguridad de la placa porta punzón.

Gráfico 40 Factor de seguridad placa porta punzón



Elaborado por: Álvaro Buitrón

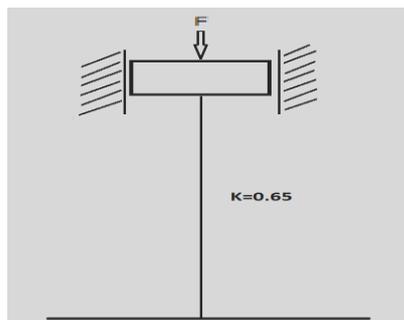
Factor de seguridad mínimo	7.97
Factor de seguridad máximo	15

3.5.3 Punzón

Para el cálculo del punzón se realizará el análisis por pandeo de columnas (Ver gráfico 41), para verificar este fenómeno en este elemento y para cabeza se analizará mediante la ecuación de la deflexión máxima de una placa circular.

a) Pandeo

Gráfico 41 Columna empotrada-empotrada



Elaborado por: Álvaro Buitrón

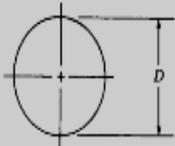
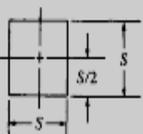
Valor teórico $k = 0.5$

Valor práctico $k = 0.65$

Para desarrollar el cálculo se debe seguir varios pasos:

- Para el diseño se toma una columna empotrada-empotrada con un factor $k = 0.65$
- Se calcula el radio mínimo para una sección circular ($r = \frac{D}{4}$) (Ver gráfico 42)

Gráfico 42 Radio crítico para distintas geometrías

<p>a) Círculo</p> 	$A = \pi D^2/4$ $I = \pi D^4/64$ $S = \pi D^3/32$ $r = D/4$ $J = \pi D^4/32$ $Z_p = \pi D^3/16$
<p>b) Círculo hueco (tubo)</p> 	$A = \pi(D^2 - d^2)/4$ $I = \pi(D^4 - d^4)/64$ $S = \pi(D^3 - d^3)/32D$ $r = \sqrt{D^2 + d^2}/4$ $J = \pi(D^4 - d^4)/32$ $Z_p = \pi(D^4 - d^4)/16D$
<p>c) Cuadrado</p> 	$A = S^2$ $I = S^4/12$ $S = S^3/6$ $r = S\sqrt{12}$

Fuente: (Mott, 2006, pág. 887)

$$r = \frac{D}{4}$$

Dónde:

D = diámetro del punzón

$$r = \frac{50 \text{ mm}}{4}$$

$$r = 12.5$$

c. Cálculo relación esbeltez

$$e = \frac{kL}{r}$$

Dónde:

L = Longitud del punzón

r = Radio mínimo (Gráfico 42)

$$\frac{kL}{r} = \frac{0.65 * 80 \text{ mm}}{12.5 \text{ mm}}$$

$$\frac{kL}{r} = 4.16$$

d. Cálculo constante de columna

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

Dónde:

C_c = Constante de columna

E = Módulo de la elasticidad

S_y = Esfuerzo admisible

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 210e^3 \frac{N}{mm^2}}{353 \frac{N}{mm^2}}}$$

$$C_c = 108.36$$

Si $\frac{kL}{r} > C_c$ es una columna larga

Si $\frac{kL}{r} < C_c$ es una columna corta

En el diseño del punzón $\frac{kL}{r} < Cc$; por lo tanto se realizará el cálculo con la fórmula de J.B Jhonson (Mott, 2006, págs. 232-247)

$$P_{cr} = ASy \left[1 - \frac{Sy \left(\frac{kL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

Dónde:

P_{cr} = carga crítica de pandeo

A = Sección transversal punzón

$$P_{cr} = \frac{\pi D^2}{4} Sy \left[1 - \frac{Sy \left(\frac{kL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

$$P_{cr} = \frac{\pi(50)^2 \text{ mm}^2}{4} * 353 \frac{N}{\text{mm}^2} \left[1 - \frac{353 \frac{N}{\text{mm}^2} (4.16)^2}{4\pi^2 210e^3 \frac{N}{\text{mm}^2}} \right]$$

$$P_{cr} = 692603.2 \text{ N}$$

$$P_{cr} = \frac{692603.2 \text{ N}}{3}$$

$$\mathbf{P_{cr} = 230867.7 \text{ N}}$$

∴ La carga admisible será aproximadamente de 230 KN para evitar el pandeo del punzón, el diseño es satisfactorio ya que la carga máxima de trabajo es de 50 KN.

b) Cabeza del punzón

Para saber el espesor mínimo de la cabeza del punzón se realizará mediante la ecuación de la deflexión máxima para una placa circular:

$$R = 35$$

Se puede escoger el coeficiente k_1 para la cabeza del punzón de la tabla 21.

Tabla 21 Coeficiente k_1 para placas circulares

Caso	k	k_1
1	1.24	0.696
2	0.75	0.171
3	6.0	4.2

R/r	1.25		1.5		2		3	
Caso	k	k_1	k	k_1	k	k_1	k	k_1
4	0.592	0.184	0.976	0.414	1.440	0.664	1.880	0.824
5	0.105	0.0025	0.259	0.0129	0.481	0.057	0.654	0.130
6	1.10	0.341	1.26	0.519	1.48	0.672	1.88	0.734

Fuente: (Avalone, 1995, págs. 5-57)

$$\therefore k_1 = 0.696$$

$$W = \frac{50000 \text{ N}}{\pi (35^2) \text{ mm}^2}$$

$$W = 12.99 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{k_1 W R^4}{E Y M}}$$

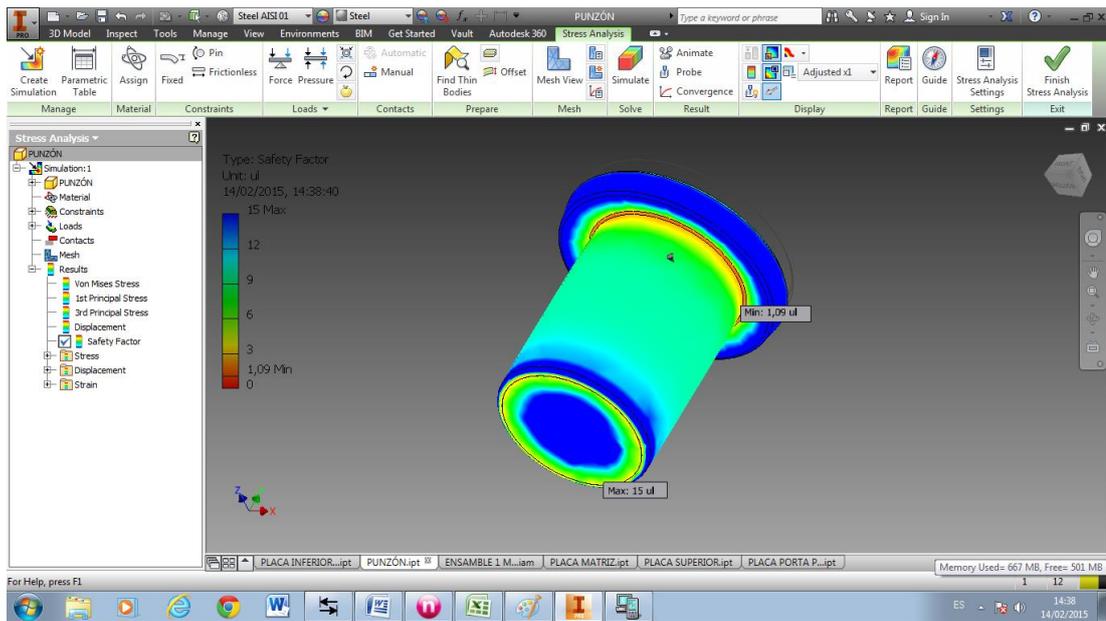
$$t = \sqrt[3]{\frac{0.696 * 12.99 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * (35)^4 \text{ mm}^4}{(210e^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}) (0.1 \text{ mm})}}$$

$$t = 8.64 \text{ mm}$$

$$t \cong 9 \text{ mm}$$

En el gráfico 43 se puede apreciar el factor de seguridad del punzón.

Gráfico 43 Factor de seguridad punzón



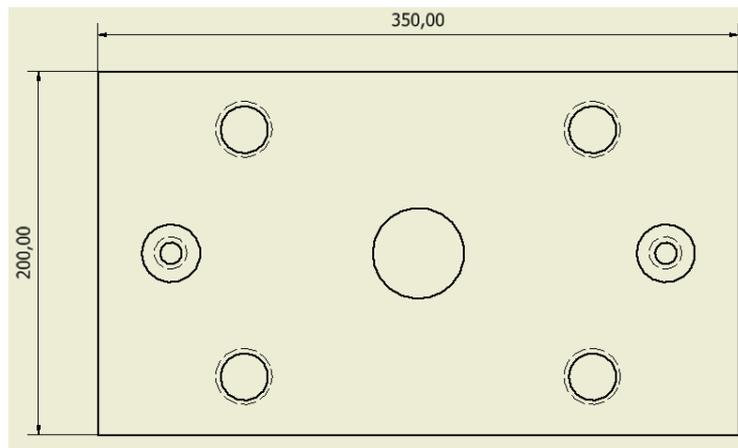
Elaborado por: Álvaro Buitrón

Factor de seguridad mínimo	1.09
Factor de seguridad máximo	15

3.5.4 Prensa chapas

En el gráfico 44 se puede apreciar la placa prensa chapa.

Gráfico 44 Placa prensa chapa



Elaborado por: Álvaro Buitrón

$$R = 350$$

$$r = 200$$

$$\frac{R}{r} = 1.75$$

Interpolando:

$$\frac{R}{r} = 1.5 \rightarrow k_1 = 0.0843$$

$$\frac{R}{r} = 1,75 \rightarrow k_1 = x$$

$$\frac{R}{r} = 2 \rightarrow k_1 = 0.1106$$

Se puede escoger el coeficiente k_1 para la placa prensa chapa de la tabla 22.

Tabla 22 Coeficiente k_1 para placas rectangulares

R/r	1.0		1.5		2.0		3.0		4.0	
Caso	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$	k	k_1
16	0.287	0.0443	0.487	0.0843	0.610	0.1106	0.713	0.1336	0.741	0.1400
17	0.308	0.0138	0.454	0.0240	0.497	0.0277	0.500	0.028	0.500	0.028
18	0.672	0.140	0.768	0.160	0.792	0.165	0.798	0.166	0.800	0.166
19	0.500	0.030	0.670	0.070	0.730	0.101	0.750	0.132	0.750	0.139
20	0.418	0.0209	0.626	0.0582	0.715	0.0987	0.750	0.1276	0.750	0.139
21*	0.418	0.0216	0.490	0.0270	0.497	0.0284	0.500	0.0284	0.500	0.0284
22	0.160	0.0221	0.260	0.0421	0.320	0.0553	0.370	0.0668	0.380	0.0700
23*	0.160	0.0220	0.260	0.0436	0.340	0.0592	0.430	0.0772	0.490	0.0908
24	1.24	0.70	1.92	1.26	2.26	1.58	2.60	1.88	2.78	2.02
25	0.75	0.171	1.34	0.304	1.63	0.379	1.84	0.419	1.90	0.431

*La razón de longitudes es r/R en los casos 21 y 23.

Fuente: (Avallone, 1995, págs. 5-57)

$$\therefore k_1 = 0.09745$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{k_1 P R^2}{E Y M}}$$

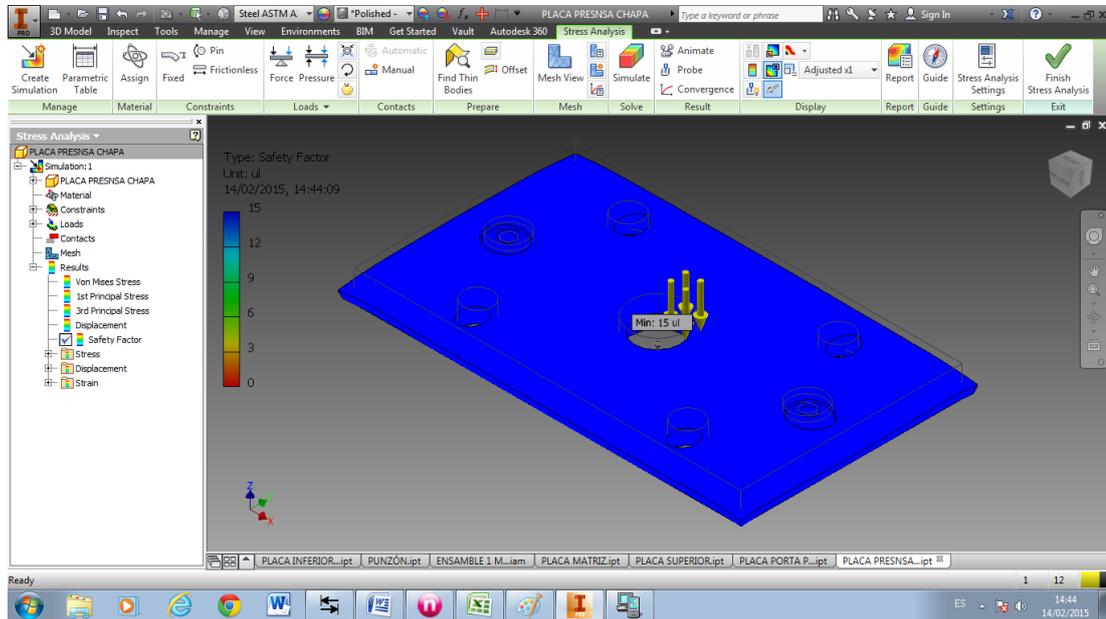
$$t = \sqrt[3]{\frac{0.09745 * 50000 \text{ N} * (300)^2 \text{ mm}^2}{\left(200e^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) (0.1 \text{ mm})}}$$

$$t = 27.98 \text{ mm}$$

$$t \cong 28 \text{ mm}$$

En el gráfico 45 se puede apreciar el factor de seguridad de la placa prensa chapa.

Gráfico 45 Factor de seguridad placa prensa chapa



Elaborado por: Álvaro Buitrón

Factor de seguridad mínimo	15
Factor de seguridad máximo	15

3.6 Elementos de unión

Para la selección de los elementos de unión de una matriz, muchos autores recomiendan que el buen sentido y experiencia del técnico matricero determine el número y el diámetro de los elementos de fijación.

Por motivo de seguridad y del buen funcionamiento de nuestro útil, se realizará el diseño de los tornillos a tracción (diámetro, material y número de tornillos).

La calidad del acero empleado en la fabricación de los tornillos marca el tipo de éstos.

En la tabla 23 se muestran valores nominales del límite elástico f_{yb} y la resistencia última a la tracción f_{ub} del acero empleado en la fabricación del tornillo, los cuales se deben adoptar como valores característicos en los cálculos.

Tabla 23 Límite elástico y resistencia a la tracción última

Valores nominales del límite elástico f_{yb} y de la resistencia a tracción última f_{ub} de tornillos							
Tipo de tornillo	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Fuente: (Altimis, 2014, pág. 2)

Los tornillos de clase 8.8 y 10.9 son los determinados también “tornillos de alta resistencia”, siendo los “tornillos ordinarios” los demás, de clase inferior.

Para la unión de las partes de la matriz de embutición se escogerá tornillos de clase 5.8 M 12, que mediante los cálculos se determinará si son los adecuados.

Diseño de tornillos a tracción

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} * n \quad (\text{ec. 8})$$

Fuente: (Altimis, 2014, pág. 7)

Dónde:

f_{ub} = Tensión última a la tracción (Tabla 23)

A_s = Área resistente a la tracción del tornillo (Tabla 24)

γ_{Mb} = Coeficiente parcial de seguridad (Tabla 25)

n = Número de tornillos

Tabla 24 Áreas resistentes a la tracción de los tornillos

DIÁMETRO (mm)	A_s (mm ²)
12	84,3
16	157
20	245
22	303
24	353
27	456

Fuente: (Altimis, 2014, pág. 7)

Tabla 25 Coeficientes de seguridad parciales

El coeficiente de seguridad γ_M se tomará según los valores siguientes:

- γ_{Mb} : Resistencia de tornillos 1,25
- γ_{Mr} : Resistencia de roblones 1,25
- γ_{Mp} : Resistencia de bulones 1,25
- γ_{Ms} : Resistencia al deslizamiento 1,25 (ELU); 1,1 (ELS)

Fuente: (Altimis, 2014, pág. 2)

$$Ft_{,Rd} = \frac{0,9 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{Mb}} * n$$

$$Ft_{,Rd} = \frac{0,9 * 500 \frac{N}{mm^2} * 84.3mm^2}{1.25} * 4$$

$$Ft_{,Rd} = 121392 N$$

$$\therefore Ft_{,Rd} = 121392 N > Ft_{,Ed} = 50000 N$$

∴ La unión es satisfactoria

3.6.1 Separación entre agujeros

Es recomendable ubicar los agujeros para los pernos lo más próximo posible a los bordes de las placas, la distancia referente entre los agujeros se la puede apreciar en la tabla 26:

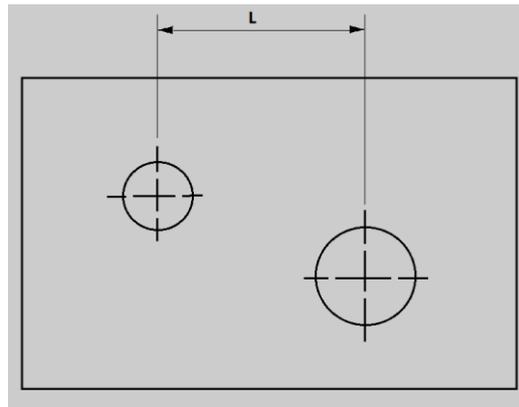
Tabla 26 Separación de agujeros según material

	MATERIAL	
	ACERO DE MÁQUINAS	ACERO DE HERRAMIENTAS
L	D	1 1/8 D

Fuente: (Koninck & Gutter, 1977, pág. 179)

En el gráfico 46 se puede apreciar la separación entre agujeros.

Gráfico 46 Separación entre agujeros



Elaborado por: Álvaro Buitrón

3.6.2 Separación de los agujeros del borde de las placas

Para la ubicación de las perforaciones con respecto a los bordes de las placas, se muestra las distancias recomendadas al centro de la perforación en la tabla 27:

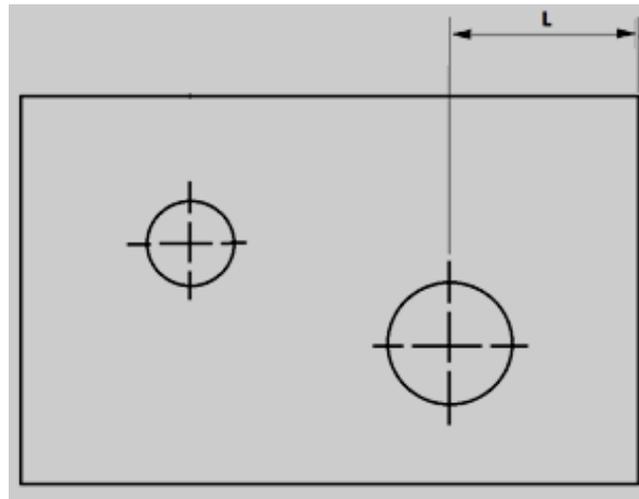
Tabla 27 Separación mínima agujero-borde de acuerdo al material

	MATERIAL	
	ACERO DE MÁQUINAS	ACERO DE HERRAMIENTAS
L	1 1/8 D	1 1/4 D

Fuente: (Koninck & Gutter, 1977, pág. 177)

En el gráfico 47 se puede apreciar la separación mínima agujero-borde de acuerdo al material.

Gráfico 47 Separación mínima agujero-borde de acuerdo al material



Elaborado por: Álvaro Buitrón

3.6.3 Longitud de roscado

En la tabla 28 se muestran valores referenciales, previamente calculados bajo diseño de aplicación y funcionamiento, si la distancia de roscado es muy corta es probable que los filetes del agujero roscado se rompan.

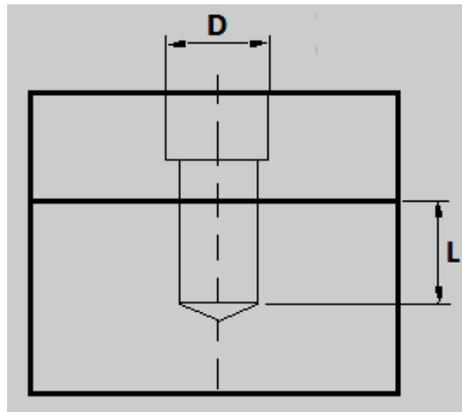
Tabla 28 Longitud mínima de roscado de acuerdo al material

MATERIAL	LONGITUD
ACERO	1 1/2 D
FUNDICIÓN	2 D
MAGNESIO	2 1/4 D
ALUMINIO	2 1/2 D
PLÁSTICO	3 D y MÁS

Fuente: (Koninck & Gutter, 1977, pág. 181)

En el gráfico 48 se puede apreciar la longitud mínima de roscado de acuerdo al material.

Gráfico 48 Longitud mínima de roscado de acuerdo al material



Elaborado por: Álvaro Buitrón

3.7 Tratamientos térmicos

3.7.1 Temple

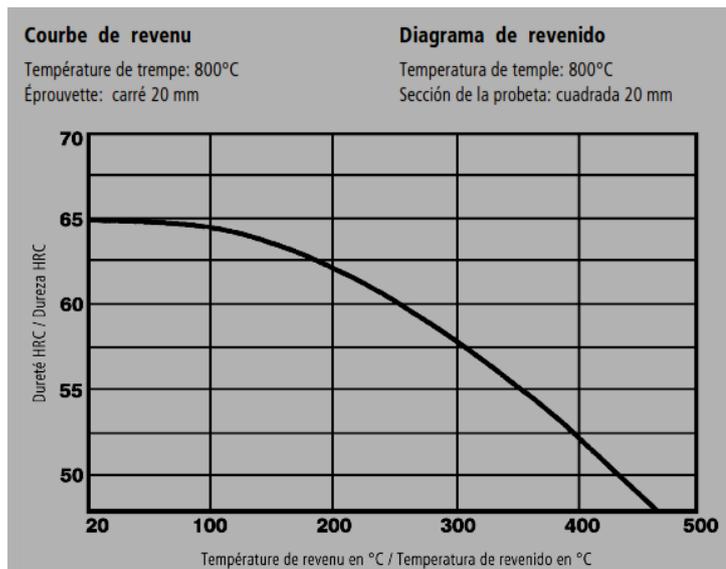
Este tratamiento térmico se lo va a realizar a las piezas que ejecutan de manera directa el embutido, estas son el punzón y la matriz. Se debe precalentar las piezas a 675-730°C (Normalizado) posteriormente a temperatura de temple que oscila entre 780-820°C, el tiempo de permanencia después del calentamiento a fondo es de 15 a 30 minutos, alcanzándose una dureza de 63-65 HRC. El enfriamiento se lo ejecuta con aceite debajo de los 65°C o mediante baño de sales a 200-250°C. Estos valores son válidos para el acero K460.

3.7.2 Revenido

El revenido se lo realiza a las piezas previamente templadas como lo son el punzón y matriz a una temperatura entre 175-315°C para el acero K460, es necesario un doble revenido de 2 horas cada uno, mientras que entre cada revenido enfriar a temperatura ambiente.

En el gráfico 49 se puede ver el diagrama dureza-temperatura del material K460.

Gráfico 49 Diagrama de revenido dureza-temperatura



Fuente: (Bohler, 2014, pág. 6)

3.7.3 Cementación

Para el proceso de cementación se somete al carbono a 850-950°C durante 1 a 8 horas para que se produzca la difusión dentro de la pieza alcanzándose una profundidad de cementación de 0.2 a 1.5 mm y una dureza en esta capa superior 58-60 HRC

3.8 Juego entre matriz y punzón de embutición

Para calcular el juego entre el punzón y matriz se aplica la siguiente fórmula:

$$1.1e \leq j \leq 1.5e$$

$$1.1e \leq j \leq 1.5e$$

$$1.1 * 0.5 \text{ mm} \leq j \leq 1.5 * 0.5 \text{ mm}$$

$$0.55 \text{ mm} \leq j \leq 0.75 \text{ mm}$$

$$j = 0.75 \text{ mm}$$

3.9 Radio de embutición

Para calcular el radio de la arista de embutición (RM) Rossi recomienda un rango de 3 a 5 veces el espesor de la chapa a embutirse, por lo general el radio del punzón es igual o menor al radio de la matriz. Mientras mayor es el radio de la matriz se requiere menor fuerza para el embutido, sin embargo, si este radio es exageradamente grande existe mayor área fuera de sujeción lo cual provoca pliegues.

Contrariamente si el radio del punzón es menor el material se endurece siendo difícil embutirse y si es demasiado pequeño se incrementa la fuerza de embutido provocando ruptura del material.

$$3e \leq RM \leq 5e$$

$$3 * 0.5 \text{ mm} \leq RM \leq * 0.5 \text{ mm}$$

$$1.5 \text{ mm} \leq RM \leq 2.5 \text{ mm}$$

$$RM = 2 \text{ mm}$$

3.10 Velocidad de embutición

La velocidad de embutición se la toma de tablas del Manual del Técnico Matricero (Ver tabla 15) $V_e = 500 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ para el aluminio.

3.11 Lubricación de la chapa metálica

Para evitar un estiramiento excesivo o ruptura de las fibras del material, producidas por el deslizamiento opuesto de la chapa durante el proceso de embutición, se debe lubricar abundantemente por medio de sustancias que fluyan por toda la superficie de rozamiento de la estampa con la chapa.

La lubricación permite la disminución en el esfuerzo de embutido y se reduce el desgaste de la herramienta.

El uso del lubricante está condicionado por los materiales con que se trabaje, y está dado a continuación:

Los lubricantes a usar en la embutición, en relación al material a deformar se aprecian en la tabla 29:

Tabla 29 Lubricantes a usar para el embutido en frío, en relación al material a deformar.

	Tipo de lubricante	LUBRICANTE			
		Aceros al carbono	Aceros inoxidables y aleados	Aluminio	Cobre, latón, bronce
EMBUTICIÓN POCO PROFUNDA	Hidrosoluble	448	-	-	DO-17
		CC-2	DO-29	CC-2	421
		CC-2	DO-29	CC-2	CC-2
EMBUTICIÓN PROFUNDA	Oleosoluble	1p. DO-2A + 1p aceite mineral	2p. DO-2A + 1p aceite mineral	2p. DO-2A + 1p aceite mineral	DO-6A
	Hidrosoluble	448 DC-K	-	-	448
	Oleosoluble	DO-29	DO-2 ^a	DO-29	CB-66
		2p. DO-2A + 1p aceite mineral	DO-29	2p. DO-2A + 1p aceite mineral	DO-29
		2p. DO-2A + 1p			2p. DO-2A + 1p

Fuente: (Rossi, 1979, pág. 73)

Las siglas de referencia correspondientes a los principales lubricantes usados para el embutido en frío se las encuentra en la tabla 30:

Tabla 30 Siglas de lubricantes

Sustancia	Sigla de referencia
Pasta de grasa y jabón, no pigmentada, hidrosoluble	421
Pasta de grasa, jabón y polvo lubricante, hidrosoluble	448
Aceite de base clorada, viscoso, soluble en aceite	DO – 2A
Aceite de base clorada, poco viscoso transparente	CC- 2
Mezcla de aceite DO-2A y otros emulsionantes, soluble en aceite	DO - 29
Aceite graso, no soluble en agua pero si en aceite	DO – 5A
Aceite graso sulfurado, denso, soluble en aceite	CB – 66
Aceite graso sulfurado, soluble en aceite lubricante	DO – 6A
Pasta jabonosa, soluble en agua	DC – 5
Polvo granulado jabonoso en film seco soluble en agua	DC – K
Jabón líquido, soluble en agua	DO – 17

Fuente: (Rossi, 1979, pág. 48)

3.12 Desarrollo de la pieza

La geometría a obtener mediante la embutición será de una pestaña de 10 mm de $d_2 = 70$ mm, $d_1 = 50$ mm y de 25 mm de altura, el material a utilizar es aluminio con espesor de 0.5 mm (Ver anexo 5)

Fórmula:

$$D = \sqrt{d_2^2 + 4d_1h}$$

$$D = \sqrt{70^2 + 4(50)(25)}$$

$$D = 99.5 \text{ mm}$$

3.13 Resultados

Los resultados de fuerzas, dimensiones de la pieza embutida y lubricante se pueden apreciar en la tabla 31:

Tabla 31 Resultados

RESULTADOS		
FUERZA PUNZÓN		
MÉTODO 1	MÉTODO 2	VALOR REAL
565.49 Kg	1122 Kg	1227 Kg
FUERZA PRENSA CHAPAS		
MÉTODO 1	MÉTODO 2	VALOR REAL
406 Kg	345 Kg	685 Kg
FUERZA BOTADOR		
MÉTODO 1	.....	VALOR REAL
8.5 Kg	.....	8.5 Kg
DIMENSIONES DE LA PIEZA EMBUTIDA		
	FÓRMULA Y DEDUCCIÓN	VALOR REAL
altura de embutición	25 mm	25 mm
diámetro de embutición	50 mm	50 mm
ceja	10 mm	10-15 mm
espesor de la chapa	0.5 mm	0.4-0.5 mm
LUBRICANTE		
TEÓRICO	.....	REAL
2 porciones de aceite de base colorada, viscoso, soluble en aceite más una porción de aceite mineral	.....	GRASA ANIMAL

Elaborado por: Álvaro Buitrón

CAPÍTULO IV

COSTOS DE FABRICACIÓN

Para poder determinar el coste de fabricación del utillaje se tomará en cuenta cuatro valores para hallar su costo final:

- Costos de insumos
- Costos de materia prima
- Costos de máquina
- Costos de mano de obra

4.1 Costos de insumos

Costos de insumos se refiere a todos aquellos elementos que son de libre comercialización en el mercado y que no requieren ser maquinados para la utilización en la matriz (Ver tabla 32).

Tabla 32 Costos de insumos

INSUMOS				
DENOMINACIÓN	CANT	DIMENSIÓN (mm)	COSTO/U	COSTO TOTAL
Perno Allen	4	M12x60	\$ 0,80	\$ 3,20
Perno Allen	4	M12x30	\$ 0,70	\$ 2,80
			TOTAL	\$ 6,00

Elaborado por: Álvaro Buitrón

4.2 Costos de materia prima

Se denomina materia prima al material que se lo adquiere en bruto y mediante un proceso con arranque de viruta se lo transforma en el elemento requerido (Ver tabla 33).

Tabla 33 Materia prima

MATERIA PRIMA							
DENOMINACIÓN	CANT	MATERIAL	DIMENSIONES (mm)			PESO (Kg)	COSTO (\$)
			LARGO	ANCHO	ESPESOR O Ø		
Buje placa superior	2	BRONCE SAE 40			35	0.9	\$ 17,37
Buje prensa chapa	8	BRONCE SAE 40			32	2	\$ 34,93
Placa superior	1	ACERO ASTM A-36	352	202	32		\$ 33,87
Placa inferior	1	ACERO ASTM A-36	302	202	30		\$ 29,03
Placa porta punzón	1	ACERO ASTM A-36			153	2.87	\$ 7,84
Placa matriz	1	ACERO K 460			153	7.54	\$ 70,42
Punzón	1	ACERO K 460			81	3.42	\$35,53
Columna guía	4	ACERO AISI 1018			22,23	3.2	\$ 6,76
Placa prensa chapa	1	ACERO ASTM A-36	352	202	32		\$ 33,87
						TOTAL	\$ 269,62

Elaborado por: Álvaro Buitrón

4.3 Costos de máquina

Para calcular este tipo de costos primero se determina el costo por hora máquina (Ver tabla 34) y posteriormente el número de horas que se requiere para la fabricación de cada elemento (Ver tabla 35).

Tabla 34 Costo hora máquina

HORA MÁQUINA (\$)		
CNC	RECTIFICADORA	TORNO
\$ 35,00	\$ 15,00	\$ 15,00

Elaborado por: Álvaro Buitrón

Tabla 35 Horas máquina de cada elemento

MÁQUINA					
DENOMINACIÓN	CANT	HORAS			
		CNC	RECTIFICADORA	TORNO	COSTO
Buje	8			4	\$ 60,00
Placa superior	1	3	1		\$ 120,00
Placa inferior	1	3	1		\$ 120,00
Placa porta punzón	1	0,5	1	3	\$ 77,50
Placa matriz	1	0,5	1	5	\$ 107,50
Punzón	1		0,5	2	\$ 37,50
Columna guía	4		4	3	\$ 105,00
Placa prensa chapa	1	3	2		\$ 135,00
TOTAL HORAS		10	10,50	17	
TOTAL \$					\$ 762,50

Elaborado por: Álvaro Buitrón

4.4 Costos de mano de obra

Para la construcción de la matriz de embutición se debe contar con mano de obra calificada la cual su costo será de \$6,00 la hora y se la relacionará con la cantidad de horas implicadas en la fabricación del troquel (Ver tabla 36).

Tabla 36 Costo de mano de obra

MANO DE OBRA		
HORAS	COSTO/HORA	COSTO SUBTOTAL
16	\$ 6,00	\$ 96,00
TOTAL \$		\$ 96,00

Elaborado por: Álvaro Buitrón

4.5 Costo total de fabricación

El costo total de fabricación no es más que la suma de todos los costos calculados anteriormente (Ver tabla 37).

Tabla 37 Costo total de fabricación

COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN	
COSTOS	COSTO SUBTOTAL (\$)
INSUMOS	\$6.00
MATERIA PRIMA	\$269.62
MÁQUINA	\$762.50
MANO DE OBRA	\$96.00
TOTAL (\$)	\$1134.12

Elaborado por: Álvaro Buitrón

CONCLUSIONES

- En el transcurso del presente trabajo se ha llegado a la conclusión que todos y cada uno de los cálculos son de suma importancia para el correcto funcionamiento del proceso, y que el criterio juega un papel muy importante cuando existe alguna duda que no se puede esclarecer con la teoría, también la experiencia de los técnicos matriceros.
- Al final del estudio, surgió una inquietud, el diámetro de la silueta calculándolo superficie por superficie (cejas, paredes y base) no es igual al diámetro que se obtiene con tablas y la deducción de la fórmula mediante el modelo matemático, el diámetro del disco con tablas y fórmula deducida es menor al disco desarrollado por partes y se llegó a la conclusión que este fenómeno se debe al estiramiento del material.
- AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2014, es una herramienta fundamental para el desarrollo de este proyecto, facilita el dimensionamiento de las partes de la matriz, nos ayuda a corroborar mediante un ensamble el correcto diseño de los elementos y finalmente una fácil elaboración de planos.
- Una conclusión importante es que la parte teórica y la parte práctica en el tema de embutido tienen variaciones, por ejemplo las fuerzas reales de embutido y del prensa chapas no son exactamente iguales a las teóricas: La fuerza de embutido con el método 1 existe un error del 117.17% y con el método 2 un 9.36%, en la fuerza del prensa chapas con el método 1 se tiene un error del 68.7% y con el método 2 un error de 98.5%
- Por otra parte el juego y la fuerza de expulsión de la pieza trabajada no hubo mayor inconveniente, ya que los valores calculados y reales son exactamente iguales.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que esta tesis sea el inicio de un nuevo estudio, que es el análisis del material de embutido y las fuerzas que actúan en éste, que sería otro tema de estudio muy extenso e interesante que corresponde a la Ingeniería Mecánica.
- Una recomendación indispensable es evitar al máximo contactos fuertes o golpes en las columnas guías ya que éstas podrían descentrarse y con esto restringir el libre movimiento de la parte móvil de la matriz.
- Cabe recalcar que este útil, es netamente didáctico, si se lo utiliza para un tipo de producción excesiva acortaría su vida útil, y se deberá seguir el manual de mantenimiento para evitar daños prematuros.
- Para realizar el tratamiento térmico de templado el material debe tener contenido de carbono bajo, el cual aumentará mediante este tratamiento, el cromo acelera la velocidad de penetración del carbono.
- El material debería revenirse inmediatamente después del enfriamiento, el enfriamiento debería detenerse a una temperatura de 50 a 70°C y el revenido deberá realizarse lo antes posible si ello no es posible el material deberá mantenerse caliente en una cámara, la elección de la temperatura de revenido en la mayoría de casos la determina la experiencia.
- En el tratamiento térmico de temple debe tenerse siempre en cuenta la distorsión que ocurre en éste cuando es momento del mecanizado de desbaste, el desbaste causa un aumento de temperatura local, esto no es muy serio en piezas simétricas de diseño simple como las son en este trabajo, pero puede ser de significativa importancia en un mecanizado asimétrico, como por ejemplo en un molde de inyección, en estos casos siempre se recomienda hacer una liberación de tensiones.

- En la parte de diseño hay que tener mucho cuidado, se debe cerciorar que los materiales o elementos con los cuales se diseña el utillaje existan a nivel local.
- En lo constructivo es recomendable conseguir materiales que tengan medidas cercanas a las calculadas para abaratar costos de maquinado.
- En el proceso de embutido en sí, se debe centrar de manera minuciosa la matriz y el punzón ya que si existe un leve descentramiento, el material trabajado que es aluminio se romperá con un mínimo esfuerzo.
- El alojamiento de nuestro disco desarrollado debe ser bien pulido para reducir la fricción entre las dos superficies y evitar rasgaduras en el material.
- Se recomienda trabajar con un mínimo de presión en el cilindro principal de 550 Psi ya que una presión menor a ésta es insuficiente para el proceso y para el prensa chapas no exceder de 240 Psi ya que el material se estiraría hasta la ruptura.

LISTA DE REFERENCIAS

- Altimis, T. (2014). DISEÑO Y CÁLCULO DE UNIONES ATORNILLADAS.
- Avallone, E. (1995). *MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO DE MARKS*. Mc Graw Hill.
- CONFORMADO DE METALES. (2008). Colombia.
- Ferreiro, M. (15 de Junio de 2011). DISEÑO DE UNA MATRIZ PROGRESIVA PARA CHAPA. Barcelona, España.
- Fuentes, M., & Mullapa, M. (Enero de 2008). MATRIZ DE EMBUTICIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE MATRICERÍA. Pichincha, Ecuador.
- Hasco, C. D. (s.f.). *Manual HAsco*. Obtenido de <http://bruyrubio.worldcat.de/module/standardparts/?P=1>
- Hernández, C., & Vásquez, W. (Noviembre de 2010). DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE EMBUTICIÓN DE CHAPA METÁLICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EXTINTORES UTILIZANDO EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS. Quito, Ecuador.
- Koninck, J. D., & Gutter, D. (1977). *MANUAL DEL TÉCNICO MATRICERO*. Barcelona: Montesó.
- Loza, R., & Miguel, M. (25 de Junio de 2009). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DOS MATRICES DE CORTE Y EMBUTICIÓN RECTANGULAR PARA SER UTILIZADA EN LA PRENSA HIDRÁULICA DE 60 TONELADAS DEL DECEM-LMH. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.
- Montalvo, L. (2004). *www.monografias.com*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2013, de <http://www.monografias.com/trabajos23/embutido-chapas/embutido-chapas.shtml>
- Mott, R. L. (2006). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS*. México: Pearson Educación.
- Pablo, A., & Urvina, S. (5 de Diciembre de 2006). VERIFICACIÓN DE LA VARIACIÓN GEOMÉTRICA EN ALEACIONES DE ALUMINIO EN RECIPIENTES CILÍNDRICOS DE PARED DELGADA. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.
- Rossi, M. (1979). *ESTAMPADO EN FRÍO DE LA CHAPA*. Suiza: Dossant S.A.
- Santos De La Cruz, E. PROCEDIMIENTO DE EMBUTICIÓN.

Shimisu, K. *PROYECTO DE MEJORAMIENTO DE TECNOLOGIA DE ESTAMPADO Y TROQUELADO.*

Villamar, V. (2008). *DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA REALIZAR POCETAS DE ACERO INOXIDABLE.* Guayaquil, Ecuador.

ANEXO 1

MANUAL DE MANTENIMIENTO

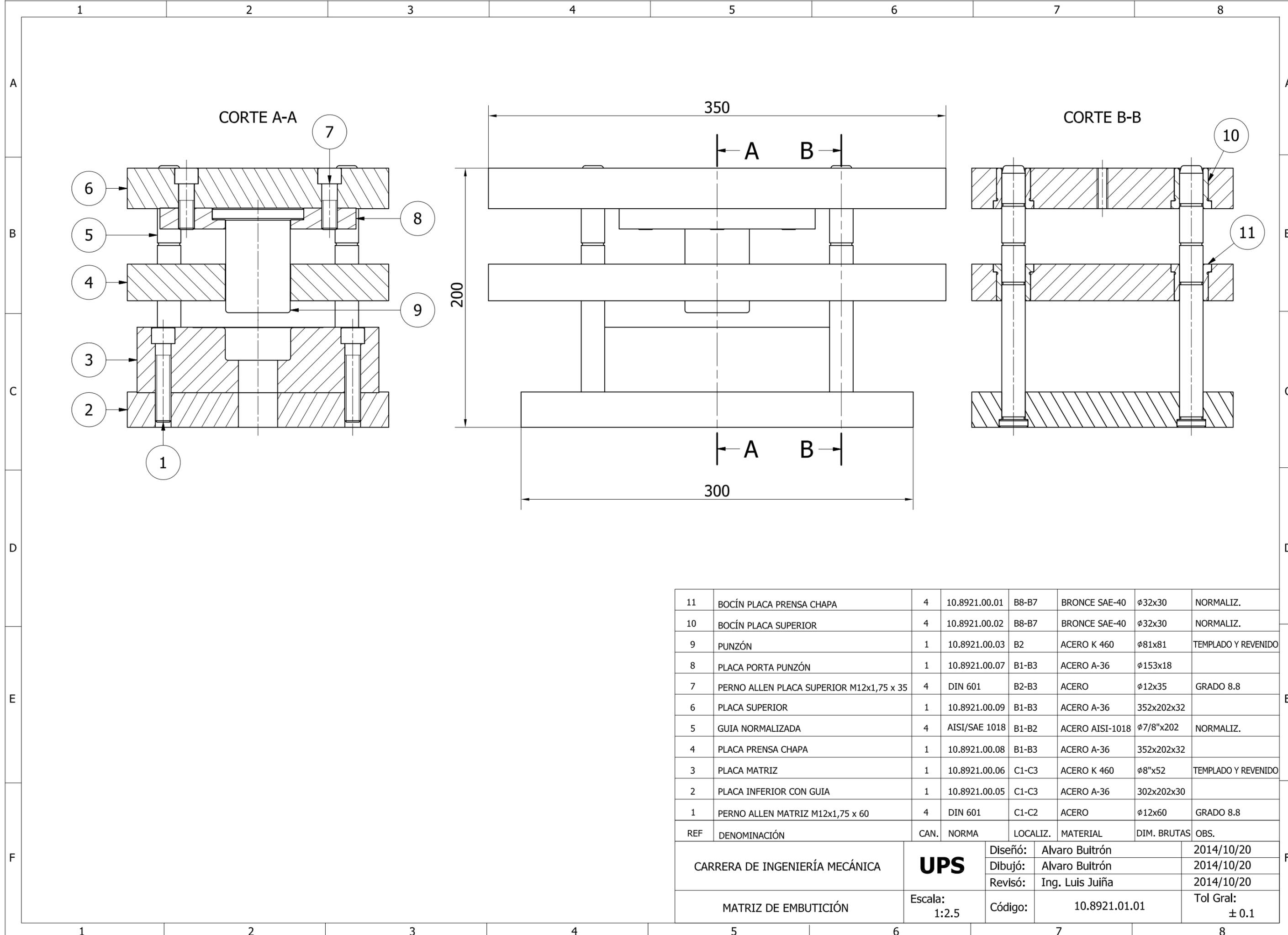
Este manual está orientado para mantener la funcionalidad del útil con el máximo aprovechamiento posible; debido a que es de fácil manejo no necesita de un manual de operación ya que simplemente se monta en la prensa hidráulica y se seguirá el manual de operación de ésta.

El mantenimiento que se recomienda es:

1. Verificar el montaje de la matriz previamente al embutido, esto concierne el montaje en la prensa hidráulica tanto en la placa inferior y mesa como placa superior de la matriz y prensa.
2. Retirar cualquier objeto que se encuentre cerca de la matriz para evitar que ésta se trabe con el macho o evitar cualquier otro incidente.
3. La lubricación juega un papel importante tanto en las columnas guías como en la pieza, en el caso de las columnas guías hay que estar pendientes que no falte aceite, y cada pieza a embutir debe seguir las mismas recomendaciones con los lubricantes recomendados en el capítulo 3, este lubricante también evitará que se produzca corrosión en el acero.
4. Limpieza general de la matriz luego de cada operación de embutido para evitar partículas que puedan dañar al punzón y matriz.
5. Eventualmente verificar que los pernos no sufran ningún tipo de daño para evitar que las partes se desensamblen.
6. Finalmente, evitar al máximo golpes en los elementos de la matriz ya que podría causar descentramientos y afectar el correcto funcionamiento en el embutido

ANEXO 2

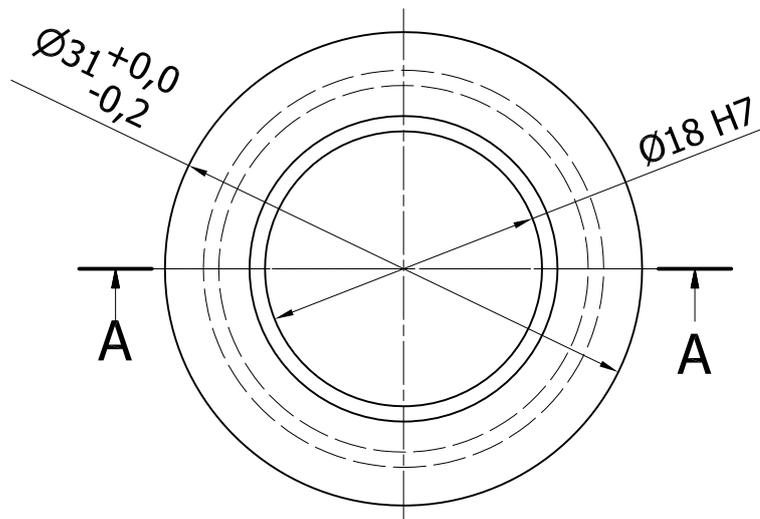
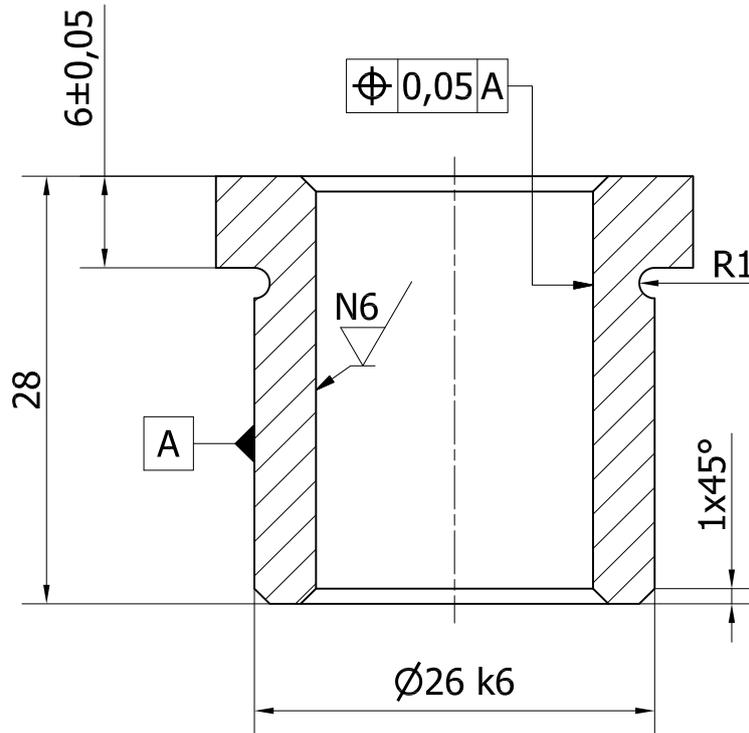
PLANOS



11	BOCÍN PLACA PRENSA CHAPA	4	10.8921.00.01	B8-B7	BRONCE SAE-40	φ32x30	NORMALIZ.
10	BOCÍN PLACA SUPERIOR	4	10.8921.00.02	B8-B7	BRONCE SAE-40	φ32x30	NORMALIZ.
9	PUNZÓN	1	10.8921.00.03	B2	ACERO K 460	φ81x81	TEMPLADO Y REVENIDO
8	PLACA PORTA PUNZÓN	1	10.8921.00.07	B1-B3	ACERO A-36	φ153x18	
7	PERNO ALLEN PLACA SUPERIOR M12x1,75 x 35	4	DIN 601	B2-B3	ACERO	φ12x35	GRADO 8.8
6	PLACA SUPERIOR	1	10.8921.00.09	B1-B3	ACERO A-36	352x202x32	
5	GUIA NORMALIZADA	4	AISI/SAE 1018	B1-B2	ACERO AISI-1018	φ7/8"x202	NORMALIZ.
4	PLACA PRENSA CHAPA	1	10.8921.00.08	B1-B3	ACERO A-36	352x202x32	
3	PLACA MATRIZ	1	10.8921.00.06	C1-C3	ACERO K 460	φ8"x52	TEMPLADO Y REVENIDO
2	PLACA INFERIOR CON GUIA	1	10.8921.00.05	C1-C3	ACERO A-36	302x202x30	
1	PERNO ALLEN MATRIZ M12x1,75 x 60	4	DIN 601	C1-C2	ACERO	φ12x60	GRADO 8.8
REF	DENOMINACIÓN	CAN.	NORMA	LOCALIZ.	MATERIAL	DIM. BRUTAS	OBS.
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		UPS		Diseño:	Alvaro Bultrón		2014/10/20
				Dibujó:	Alvaro Bultrón		2014/10/20
				Revisó:	Ing. Luis Juiña		2014/10/20
MATRIZ DE EMBUTICIÓN		Escala: 1:2.5		Código:	10.8921.01.01		Tol Gral: ± 0.1

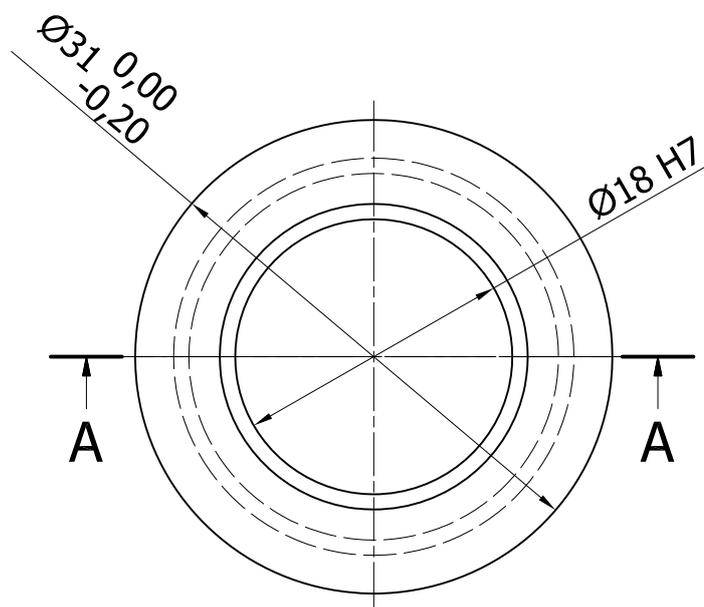
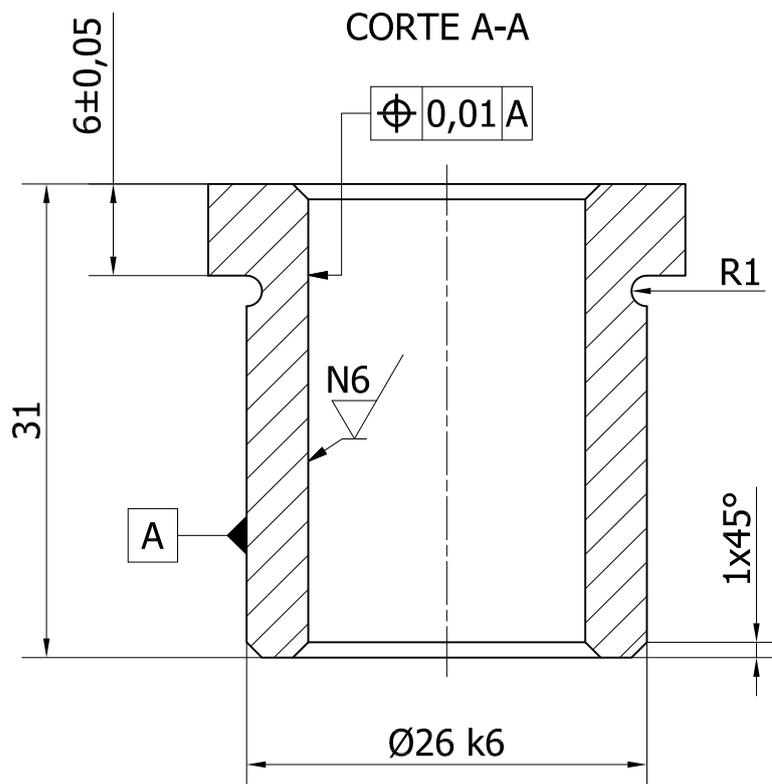
CORTE A-A

N6

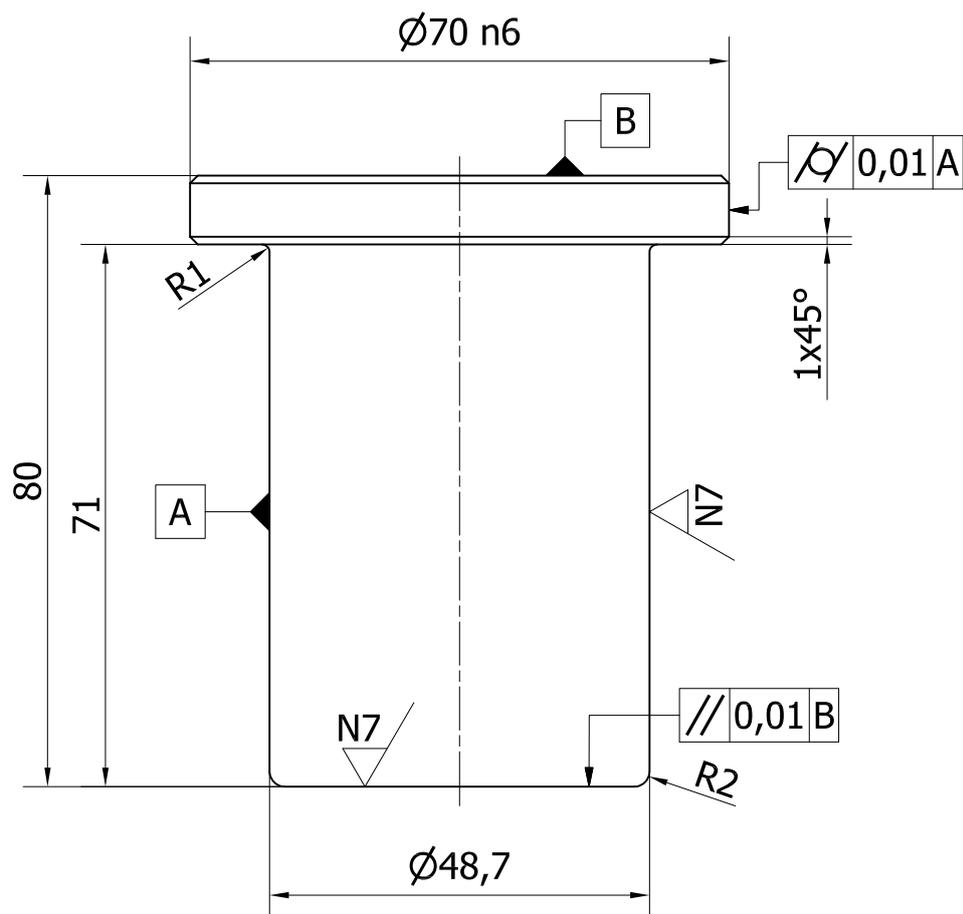


Tratamiento térmico:	N/A	Material:	BRONCE SAE 40	Dim brutas:	$\varnothing 32 \times 30$
Recubrimiento:	N/A				
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	Diseño:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Dibujó:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Revisó:	Ing. Luis Juiña	2014/10/20	
BOCÍN PLACA PRENSA CHAPA	Escala: 2:1	Código:	10.8921.00.01	Tol Gral:	± 0.1

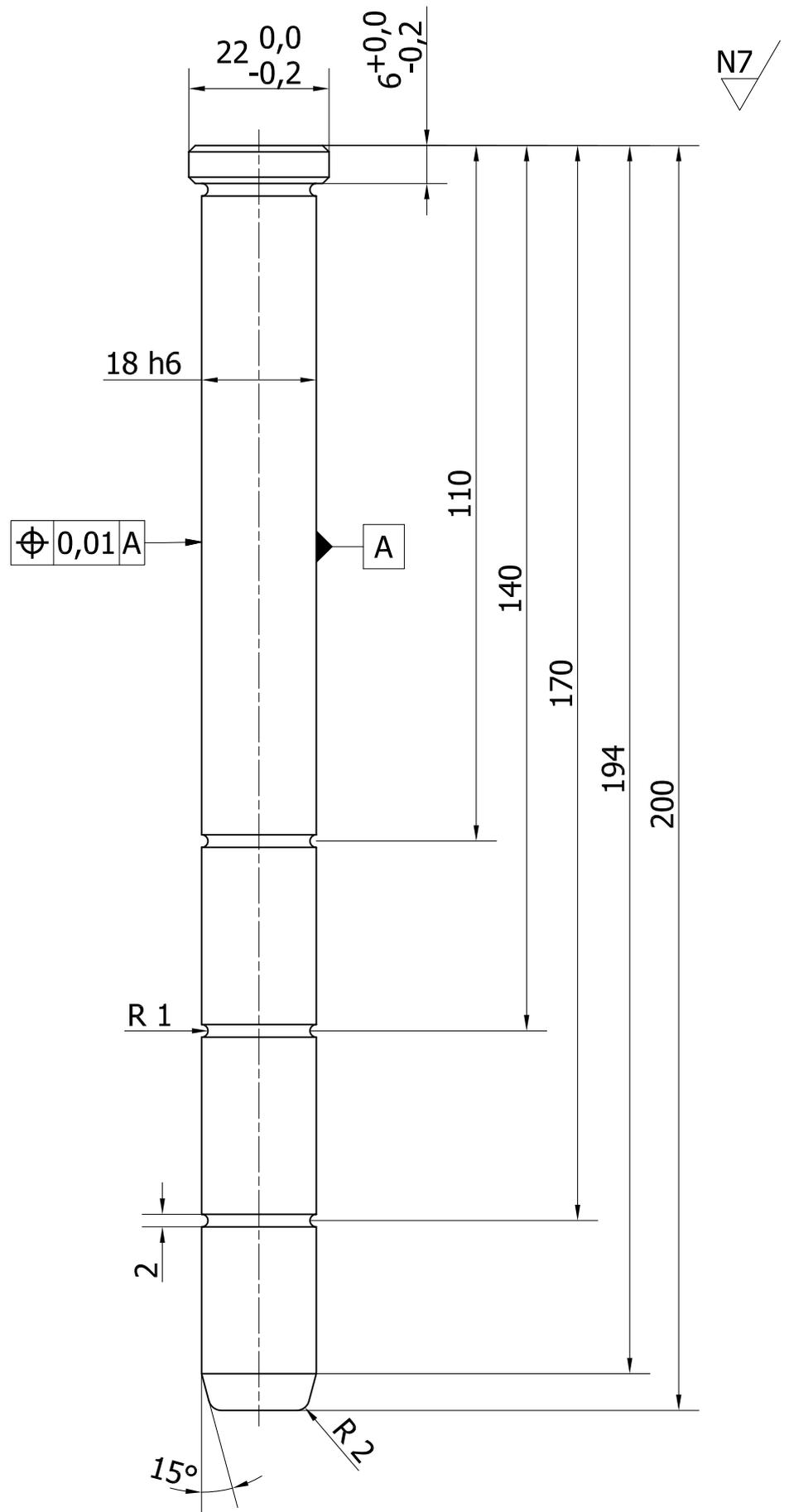
N6



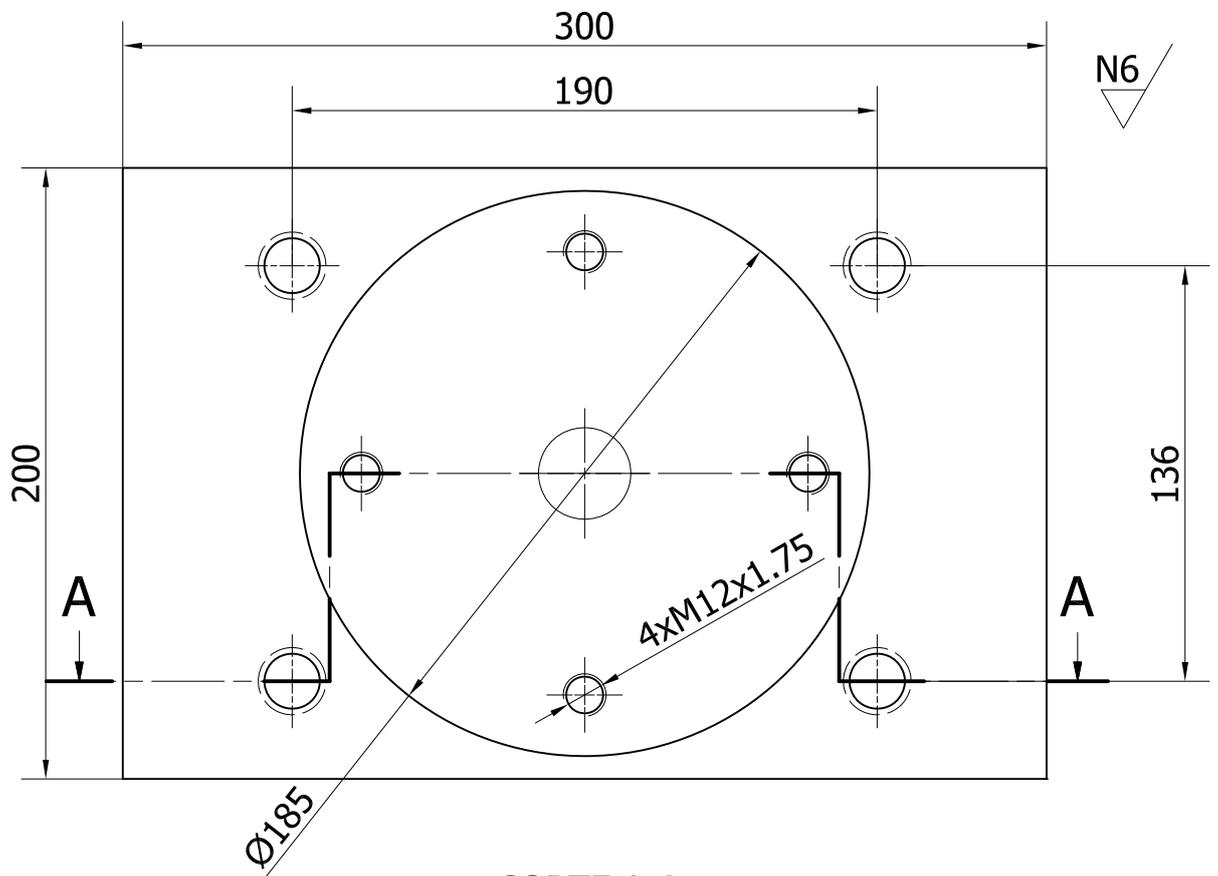
Tratamiento térmico:	N/A	Material: BRONCE SAE 40	Dim brutas:	
Recubrimiento:	N/A		Ø32x32	
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	Diseño:	Alvaro Buitrón	2014/10/20
		Dibujó:	Alvaro Buitrón	2014/10/20
		Revisó:	Ing. Luis Juiña	2014/10/20
BOCÍN PLACA SUPERIOR	Escala: 2:1	Código:	10.8921.00.02	Tol Gral: ± 0.1



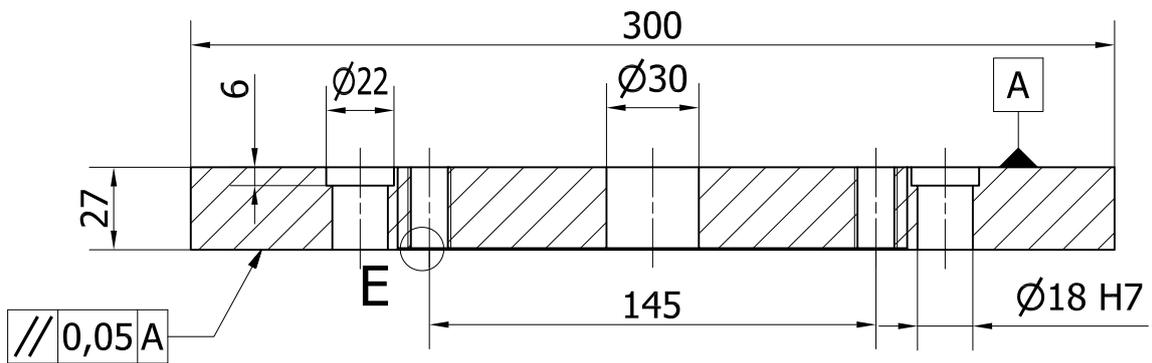
Tratamiento térmico:	TEMPLE Y REVENIDO	Material:	ACERO K 460	Dim brutas:	Ø81x81
Recubrimiento:	N/A				
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	Diseño:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Dibujó:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Revisó:	Ing. Luis Juiña	2014/10/20	
PUNZÓN	Escala: 1:1	Código:	10.8921.00.03	Tol Gral: ± 0.1	



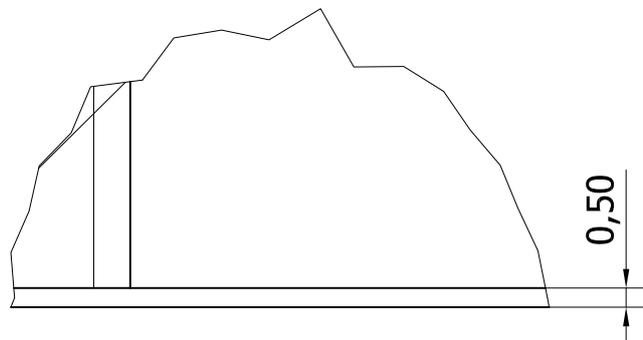
Tratamiento térmico:	CEMENTADO	Material:	ACERO AISI 1018	Dim brutas:	$\emptyset 7/8" \times 202$
Recubrimiento:	N/A				
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	Diseño:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Dibujó:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Revisó:	Ing. Luis Juiña	2014/10/20	
GUÍA NORMALIZADA	Escala: 1:1	Código:	10.8921.00.04	Tol Gral:	± 0.1



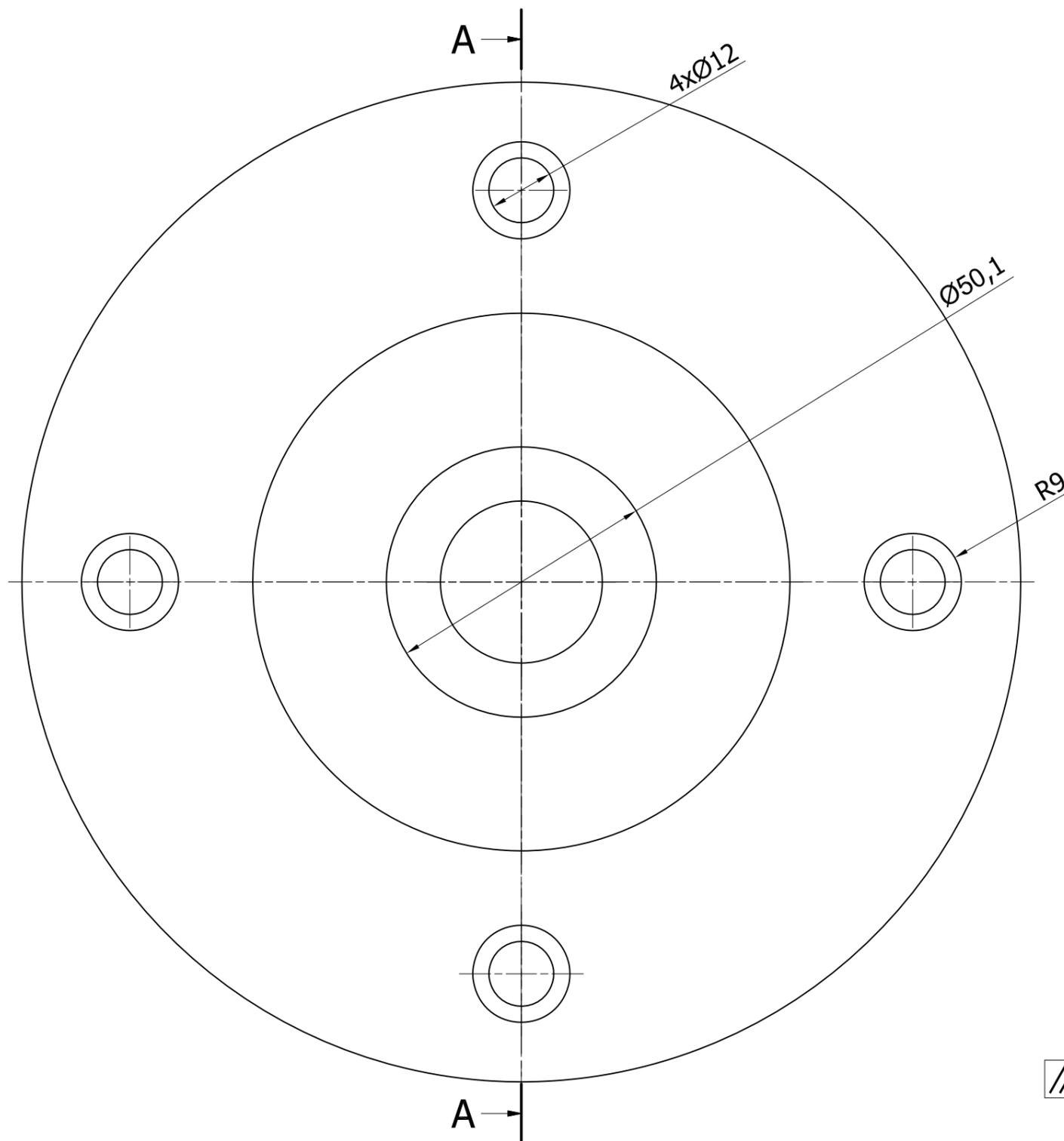
CORTE A-A



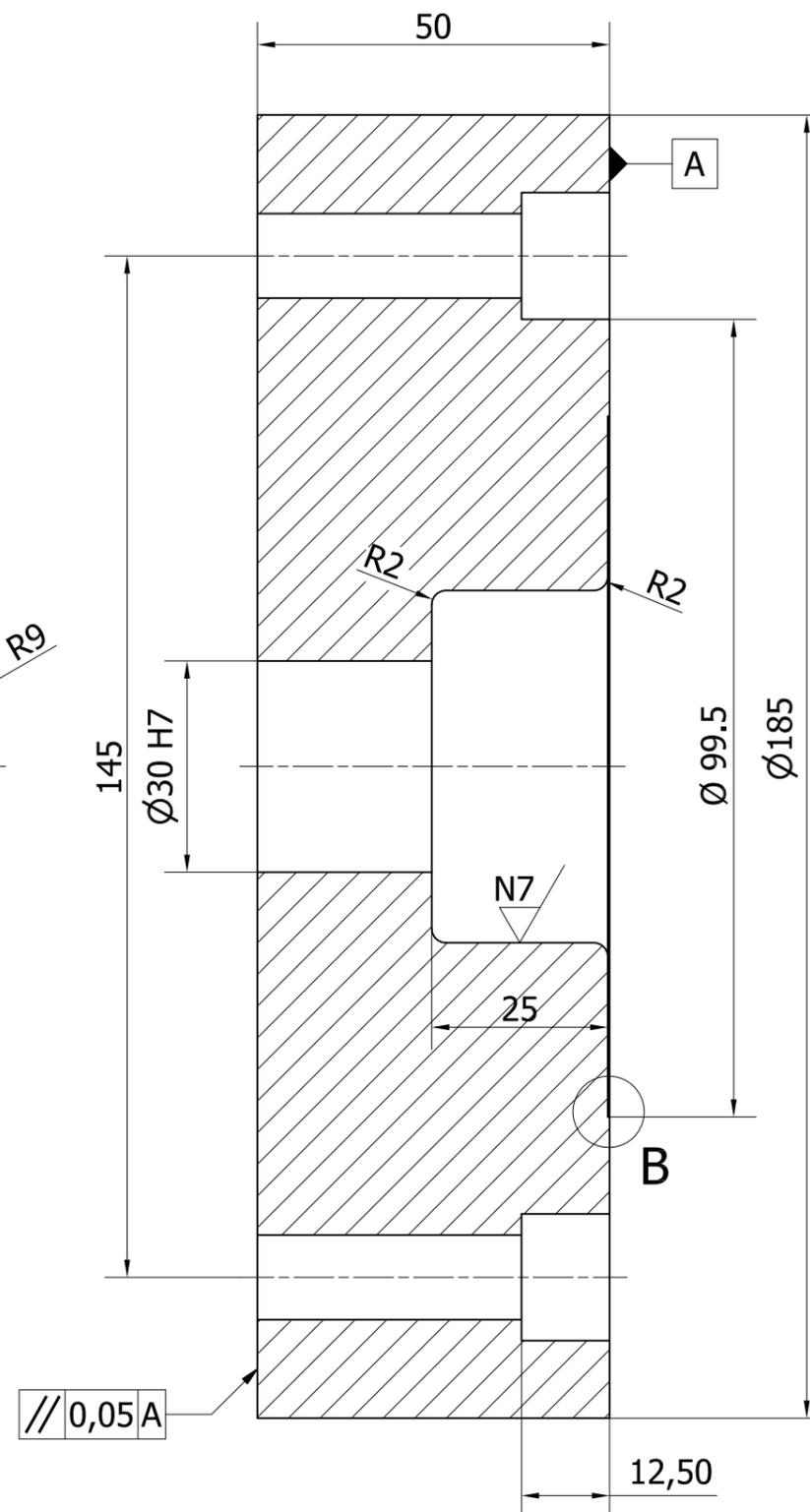
E (5 : 1)



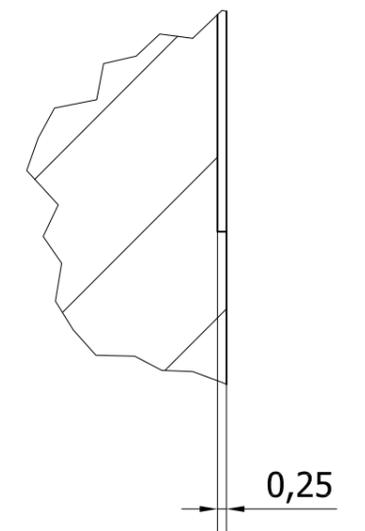
Tratamiento térmico:	N/A	Material:	ACERO A 36	Dím brutas:	302x202x30
Recubrimiento:	N/A				
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	Diseño:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Dibujó:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Revisó:	Ing. Luis Juiña	2014/10/20	
PLACA INFERIOR CON GUÍA	Escala: 1:2.5	Código:	10.8921.00.05	Tol Gral:	± 0.1



CORTE A-A

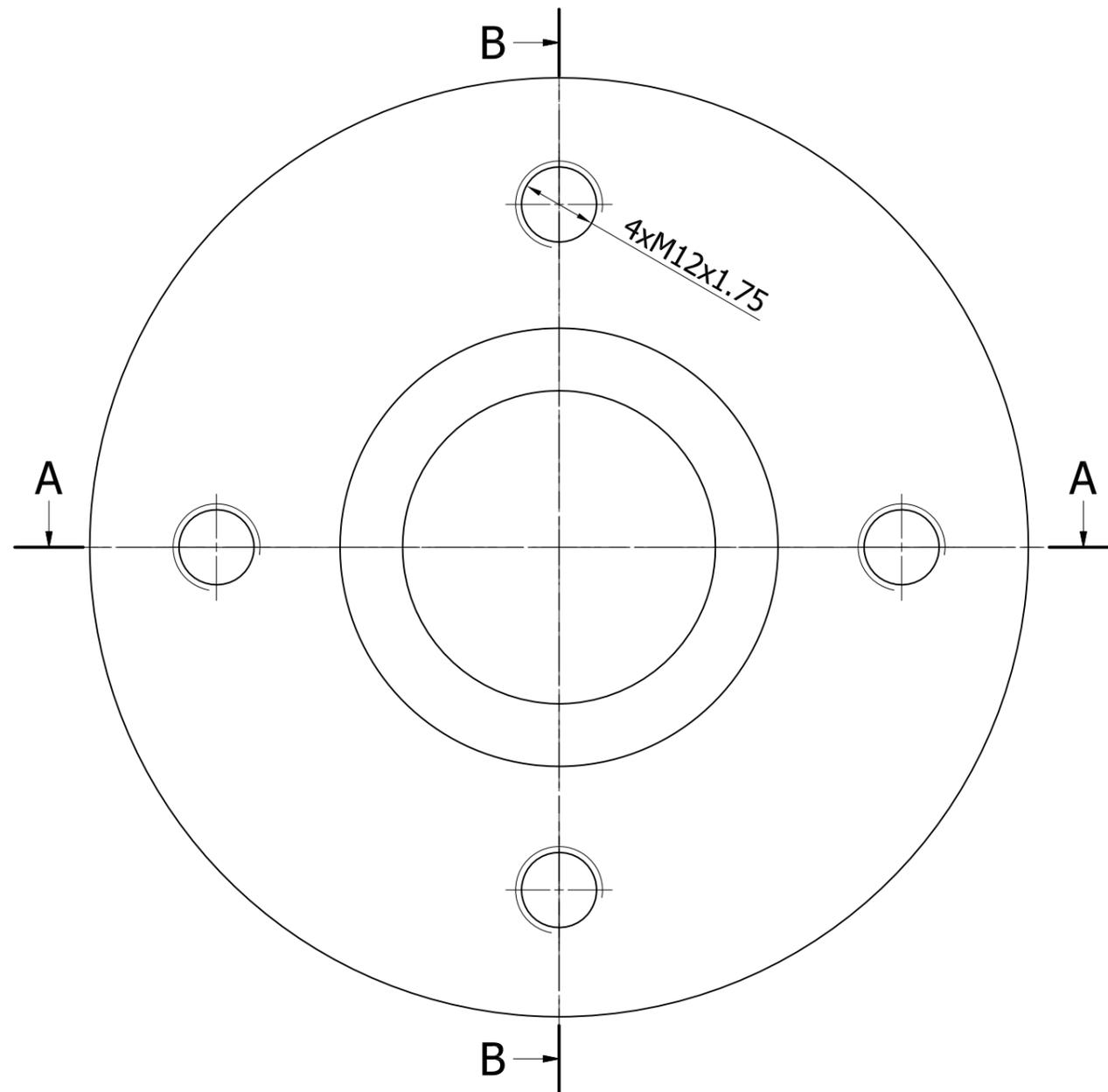


B (5 : 1)

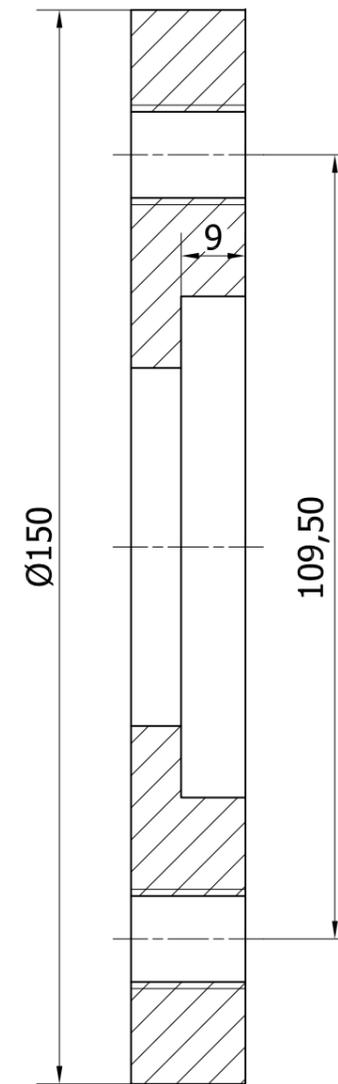


N6

Tratamiento térmico:	TEMPLE Y REVENIDO	Material:	ACERO K 460	Dim brutas:	$\varnothing 8'' \times 52$
Recubrimiento:	N/A				
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	Diseño:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Dibujó:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Revisó:	Ing. Luis Juiña	2014/10/20	
PLACA MATRIZ	Escala: 1:1	Código:	10.8921.00.06	Tol Gral:	$\pm 0,1$

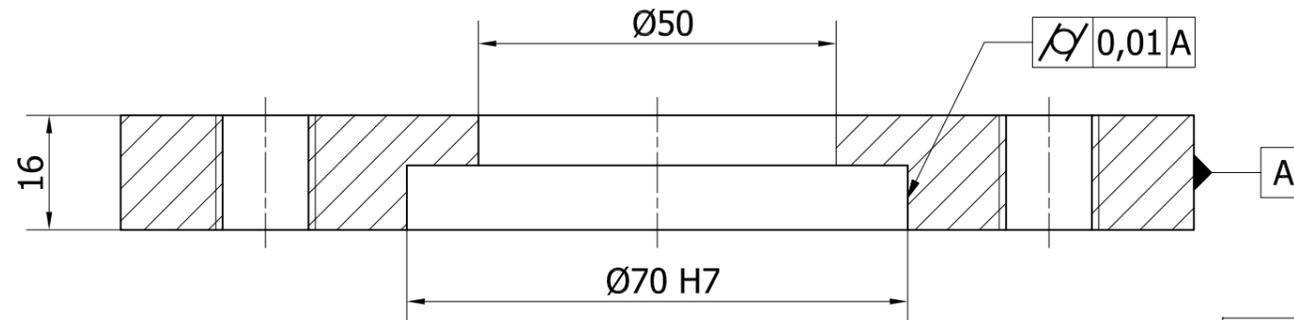


CORTE B-B

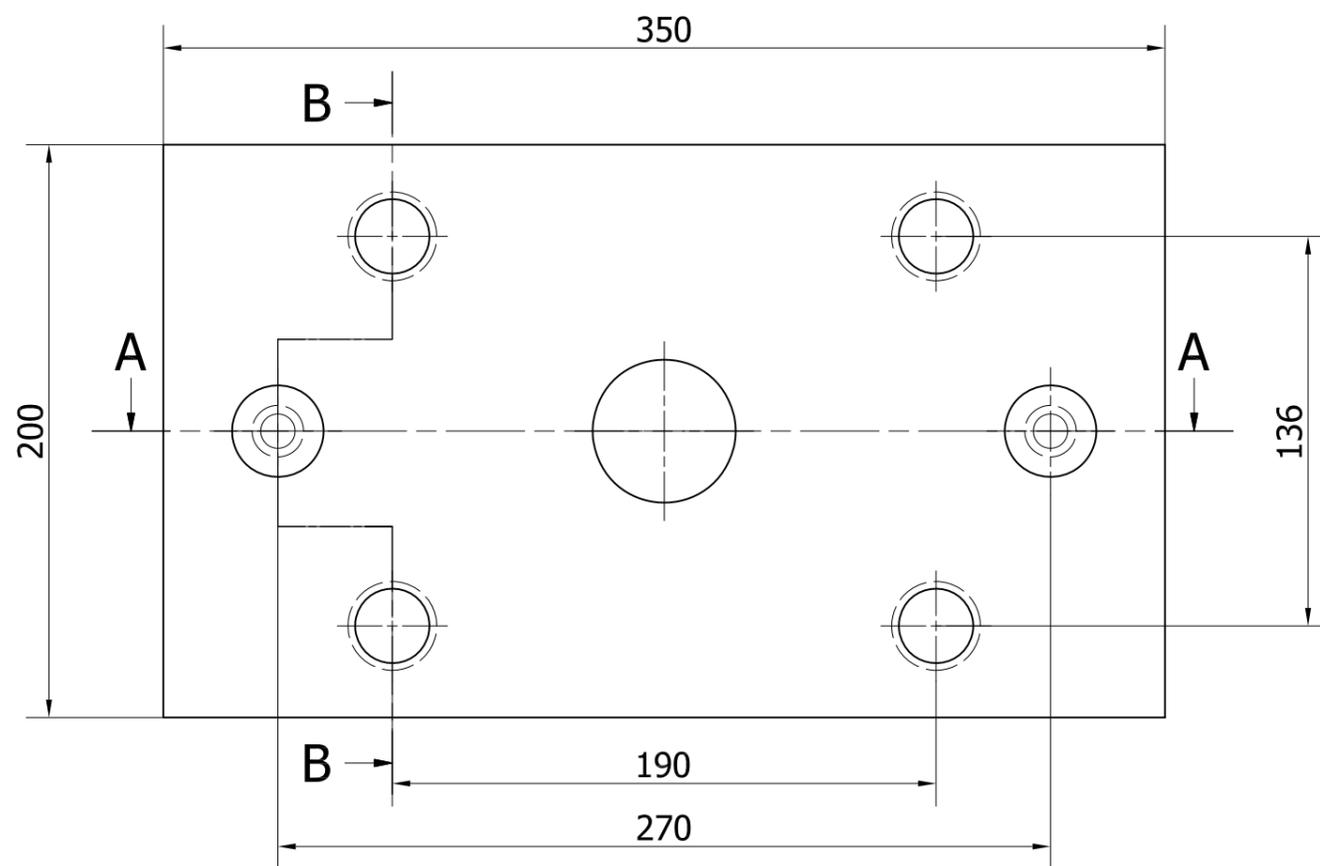


N6

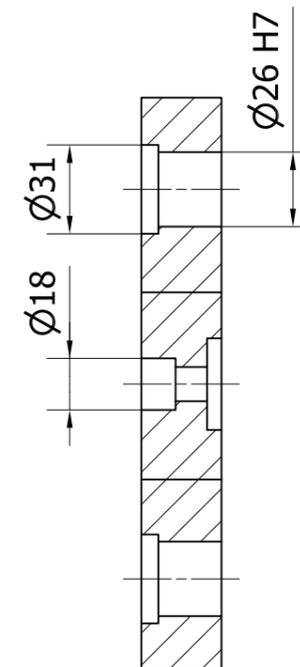
CORTE A-A



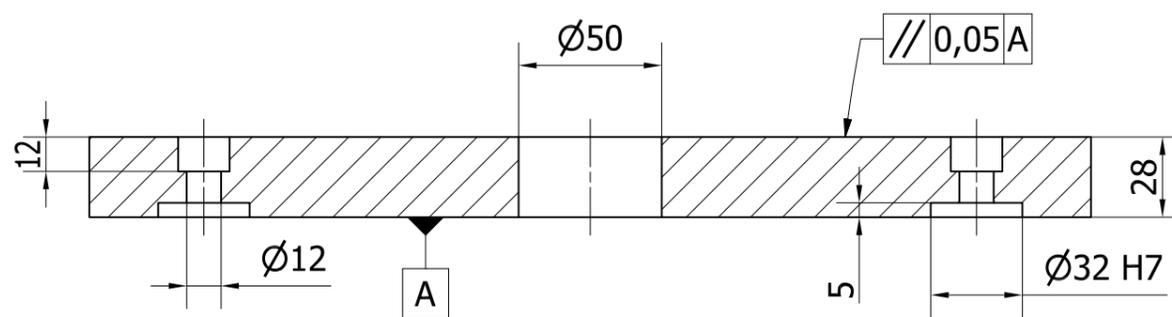
Tratamiento térmico:	N/A	Material:	ACERO A 36	Dim brutas:	$\varnothing 153 \times 18$
Recubrimiento:	N/A				
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	Diseño:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Dibujó:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Revisó:	Ing. Luis Juiña	2014/10/20	
PLACA PORTA PUNZÓN	Escala: 1:1	Código:	10.8921.00.07	Tol Gral:	± 0.1



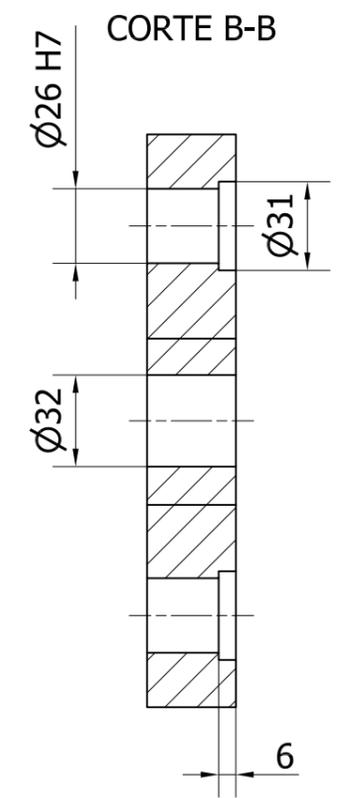
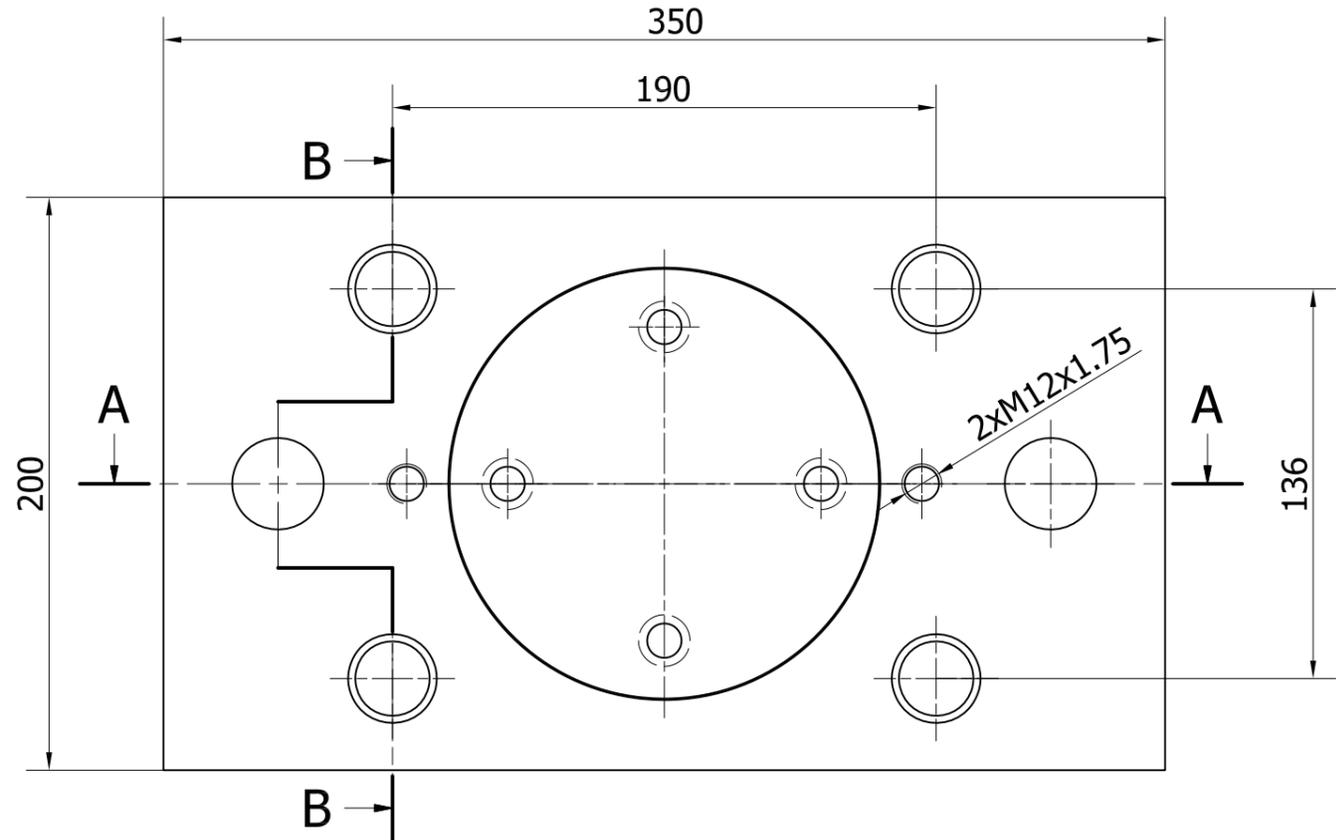
CORTE B-B



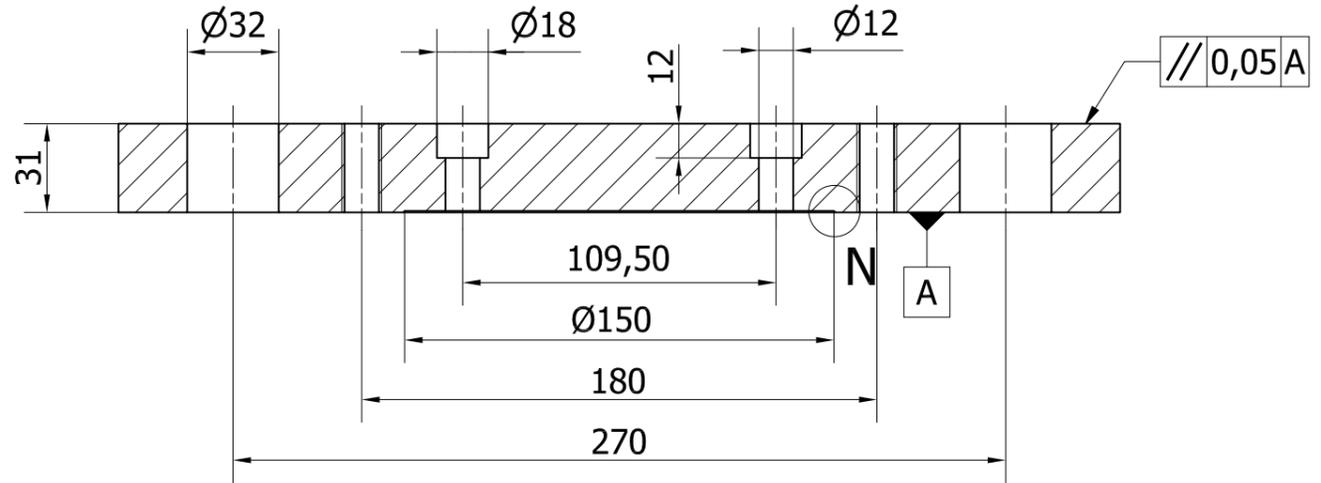
CORTE A-A



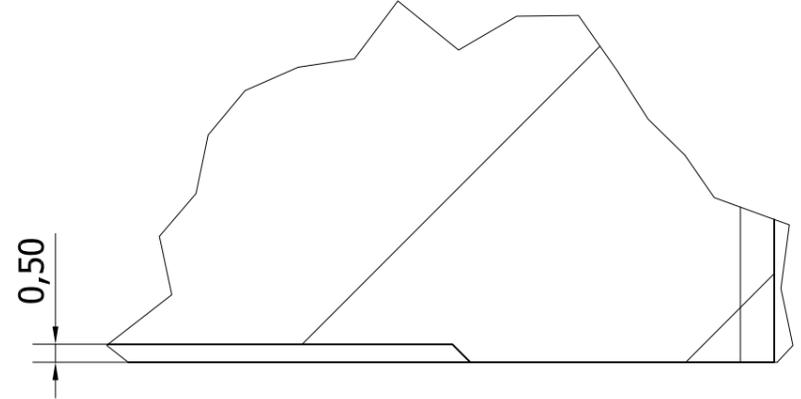
Tratamiento térmico:	N/A	Material:	ACERO A 36	Dim brutas:	352x202x32
Recubrimiento:	N/A				
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	Diseño:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Dibujó:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Revisó:	Ing. Luis Juiña	2014/10/20	
PLACA PRENSA CHAPA	Escala: 1:2.5	Código:	10.8921.00.08	Tol Gral:	± 0.1



CORTE A-A



N (5 : 1)



Tratamiento térmico:	N/A	Material:	ACERO A 36	Dim brutas:	352x202x32
Recubrimiento:	N/A				
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	Diseño:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Dibujó:	Alvaro Buitrón	2014/10/20	
		Revisó:	Ing. Luis Juiña	2014/10/20	
PLACA SUPERIOR	Escala: 1:2.5	Código:	10.8921.00.09	Tol Gral:	± 0.1

ANEXO 3
FACTURAS

001001FAC0111753

Cliente: LINCANGO ANGEL
 Dirección: LAS TORONJAS E12-02 Y AV EL INCA
 RUCRUC: 1703002941001
 Telf: 3340888

Emisión: 12/11/2014
 Vence: 12/11/2014
 Vend.: 4 WILSON GRIJALVA

Nota Pedido:

Observación:

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	P.UNITARIO	UNCI 1	UNCI 2	UNCI 3	PVP-DUCTO	TOTAL
61.157	AC. DP.2 RED 163 MM	60	7.540	10.16	1.07	0.49	8.34	500.40
61.161	AC. DP.2 RED 81 MM	60	3.420	11.32	1.14	0.88	9.27	556.20

Hugo Guerrero B.
 R.U.C. 1801252170001
 FIEL COPIA DEL ORIGINAL

94.80 0.00 94.80 11.26
 0.00 105.95



GUERRERO BARRENO HUGO GERARDO
ACEROS INDUSTRIALES
 "OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD"
 Otrapa: Acarpe - Angulos - Tuberia - Platinas - Ejes Planchas y
 Accesorios Inoxidables; Bronces, Grillon, Chumaceras y Rodamientos

001001FAC0117591

FACTURA 001-001
 R.U.C. 1801252170001
 AUT. S.R.L. 1115333228
 Fecha de Autorización: 04/Agosto/2014

Nº 000133901

Cliente: LINCANGO ANGEL
 Dirección: LAS TORONJAS E12-02 Y AV EL INCA
 RUCRUC: 1703002941001
 Telf: 3340888

Emisión: 17/11/2014
 Vence: 17/11/2014
 Vend.: 4 WILSON GRIJALVA

Nota Pedido:

Observación:

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	P.UNITARIO	UNCI 1	UNCI 2	UNCI 3	PVP-DUCTO	TOTAL
61.110	BR. FOSF. RED. 1 1/2 O. 38MM	16	0.500	21.00	2.10	0.34	0.71	17.24
61.114	BR. FOSF. RED. 1 1/4 O. 32MM	16	2.000	19.00	1.80	0.36	0.64	15.80
64.78	AC. TRANSM. RED. 7/8	16	3.000	2.30	0.23	0.10	0.07	1.98
64	AC. TRANSM. RED. 5/8	16	2.870	2.97	0.23	0.10	0.12	2.44

HUGO GUERRERO B.
 1801252170001
 Loraña Grijalva
 CANCELADO

Con la firma del presente, entiendo a Hugo Guerrero G., a cancelar, procesar, reportar y asentar en mi libreta contable, con de carácter financiero o comercial, en los libros de información certificada por la Superintendencia de Bancos.

Dato y pago de la firma de Guerrero Barreno Hugo Gerardo, en el lugar y fecha que se me autoriza en este documento mas los impuestos respectivos y el rubro tributo legal por esta actividad y/o servicio a elección de Guerrero Barreno Hugo G. o sus asociados, Asigno que Guerrero Barreno Hugo G. cede y transfiere en cualquier momento los derechos que ampara el presente documento en caso de ser requerido por el fisco.

DEBE LA EMPRESA, NO DEBE PONER EL SUJECION

Facturado por: Recibi Conforme Nombre / CI / Bello

Subtotal	Total Dcto.	Tarifa Cero.	Base Imponible	% Iva
66.74		0.00	66.74	7.17
	Dcto. Adicional	Flete		
	0.00			
Total a pagar:			66.91	

Los Pinos E1-30 e Inca de Medina Telf: 3280-928 2408-731 2405-416 Telefax: 2401-197 Cel: 0999-656970 (Frente al Batallon Ruminahui) Quito - Ecuador
 IMPRENTA BOLIGRAF: BELALCAZAR BOLINA BOLIVAR ARDON. R.U.C. 17115729981 AUT. 3933 Telf: 2357 785. Numerado del 00133901 al 00134800 FECHA DE CADUCIDAD: 04/AGOSTO/2015

OXICORTES

todas las formas del acero

Matriz: Monteserrín - Av. De las Palmeras N48-00 y Av. Eloy Alfaro
(sector El Inca) Telefax: 2275 163
e-mail: oxicortes@hotmail.com Quito - Ecuador

Cadena Jaramillo María Alejandra

R.U.C. 1715182588001

FACTURA

N°001-001-0008451

Válido hasta 31 / JULIO / 2016
Aut. S.R.L. 1115317102

Fecha: 11/11/2014 "OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD"

R.U.C./C.I.: 1703608941001 Guía de Remisión:

Cliente: ANGEL LINCANGO

Dirección: LAS TORRENAS 818-92 Y AV. EL INCA Telf.: 2240000

NO	DETALLE	CANT	VALOR
2.00	PL350X200X30	30.2400	60.48
1.00	PL300X200X30	25.9200	25.92
OBSERVACIONES		SUBTOTAL	86.40
		IVA.%	10.97
		TOTAL USD \$	97.37

CANCELADO

ENTREGADO 12 NOV 2014

RECIBI CONFORME

FIRMA AUTORIZADA

LOPEZ LOPEZ JUAN PATRICIO • 2650-332 R.U.C. 1704048628991 AUTORIZACION S.R.L. 1099 FECHA AUTORIZACION 31 / 07 / 2014
N° DEL 7501 AL 10000 ORIGINAL: CLIENTE COPIA AMARILLA: EMISOR COPIA VERDE: SIN VALOR PARA EFECTOS TRIBUTARIOS
DOCUMENTO NO CATEGORIZADO

ANEXO 4
GUÍA DE LA PRÁCTICA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA SIN ARRANQUE DE
VIRUTA

GUÍA DE PRÁCTICA #1

TEMA: Proceso de embutido

1. OBJETIVO GENERAL

- Conocer los diferentes parámetros que actúan en el proceso de embutido en una chapa metálica

1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Cognitivos:

- Calcular el juego necesario entre punzón – matriz para producir un embutido ideal
- Establecer la longitud máxima permitida en el punzón y el espesor mínimo para la matriz.

Psicomotrices:

- Fabricar un punzón y matriz considerando los valores previamente calculados.
- Evaluar el proceso de embutido mediante la inspección de las piezas obtenidas

2. MARCO TEÓRICO

Dentro del proceso de tecnología sin arranque de viruta, existe el trabajo en frío con el subproceso de embutido.

La embutición es un proceso de conformado plástico que consiste en la obtención de piezas huecas con forma de recipiente a partir de chapas metálicas. Este proceso permite

obtener piezas de formas muy diversas y es una técnica de gran aplicación en todos los campos de la industria.

En la embutición de una pieza se parte de una porción de chapa que descansa sobre la matriz, mientras el pisador la mantiene sobre ésta y el punzón ejerce la presión necesaria para conformar la pieza provocando la fluencia del material a través de la cavidad abierta en la matriz. La pieza va a conformarse en función de la forma de la abertura de la matriz y la forma del punzón, mientras que el pisador va a evitar el pandeo del material al tratarse de formas generalmente no desarrollables.

Para el embutido de lámina o chapa metálica se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Espesor y tipo de material de la lámina.- Son las características técnicas que diferirían para tipo de chapa
- Fuerza de embutición.- Determina la capacidad de prensa requerida.
- Presión del Prensa Chapas.- Evita pliegues en la pieza embutida.

Fuerza de embutido cilíndrico

La fuerza de embutido es aquella que introduce la silueta circular y plana hacia la cavidad circular de la matriz por medio del punzón, la cual es sostenida en la pared lateral cercana al fondo de la pieza a embutir. Por lo tanto, se presenta ruptura en dicha zona. Por esta razón, para calcular la fuerza de embutido cilíndrico, se utiliza la técnica en que se considera la fuerza que provoca la ruptura como la máxima fuerza de embutido. Sin embargo, en realidad, se hace el embutido sin que se presente la ruptura.

Cabe aclarar que la presión del prensa chapas, la velocidad de embutición, el redondeado de la arista de embutición, tipo de lubricante, tienen una influencia al momento de determinar la fuerza necesaria.

Método 1

Embutición cilíndrica

$$F_e = \pi d_p e n R$$

Dónde:

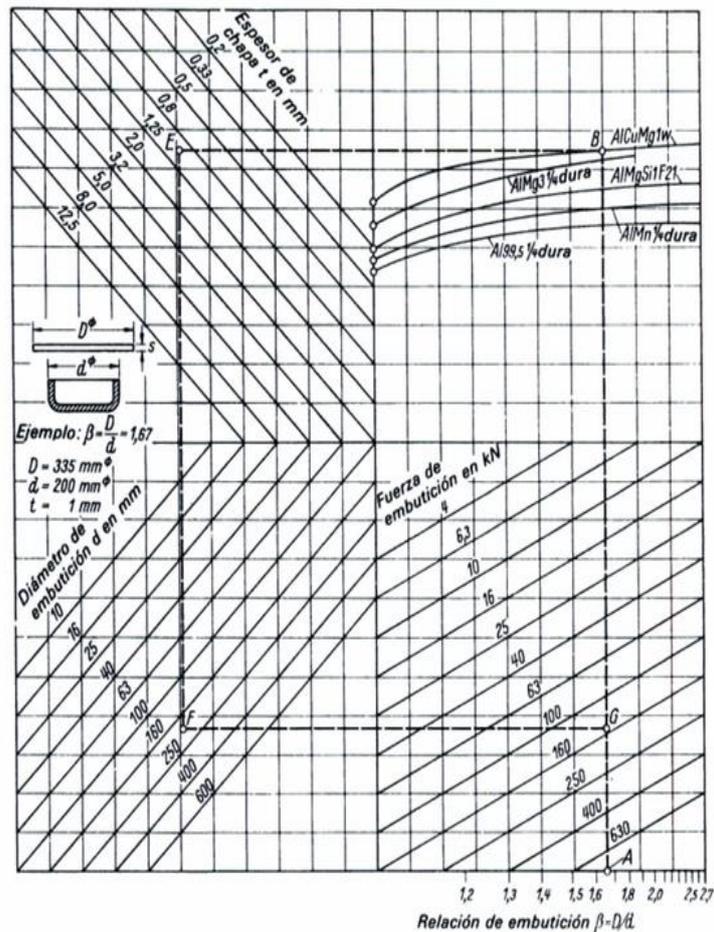
- d_p : Diámetro de punzón en mm.
- e : Espesor de la chapa en mm.
- n : Coeficiente de embutición que depende de la relación d_p / D (D = diámetro del disco)
- R : Resistencia a la tracción, en Kg / mm^2

d/D	N
0.55	1
0.575	0.93
0.6	0.86
0.625	0.79
0.65	0.72
0.675	0.66
0.7	0.6
0.725	0.55
0.75	0.5
0.775	0.45
0.8	0.1

Método 2

En este caso como se va a trabajar con aluminio, se puede encontrar la fuerza de embutido mediante un nomograma, según Siebel-Oehler-Dies.

La fuerza de embutición se expresa en KN, se obtiene mediante un control poligonal, tal como se expresa en la ilustración 13, que partiendo de la relación de embutición A (β) pasa a la característica del material B, luego por el espesor de chapa E, posteriormente por el diámetro F y finaliza en G. De esta manera se encuentra la fuerza de embutición de una manera rápida y práctica, cabe recalcar que la exactitud de la respuesta no es la más acertada posible y depende mucho del lector.



Fuerza en el prensa chapa.

Método 1

La fuerza del sujetador o prensa chapa (F_s) viene expresada de la siguiente manera:

$$F_s = A \cdot h_s$$

Dónde:

F_s = Presión del prensa chapas en el embutido cilíndrico (Kg)

A = Área del prensa chapas que sujeta la silueta (mm^2)

h_s = Presión del prensa chapas por área (Kg/mm^2)

Material	Presión del pisador hs (kg /mm²)
Acero dulce	0.16 ~ 0.18
Acero inoxidable	0.18 ~ 0.20
Aluminio	0.03 ~ 0.07
Cobre	0.08 ~ 0.12
Latón	0.11 0.16

Método 2

$$F_h = 0.015 S_y (D_b^2 - (D_p + 2.2t + 2R_d)^2)$$

Dónde:

F_h = Fuerza del prensa chapas en el embutido cilíndrico (Kg)

S_y = Esfuerzo de fluencia del aluminio (MPa)

D_b^2 = Diámetro de la silueta (mm)

D_p = Diámetro del punzón (mm)

t = Espesor de la chapa

R_d = Radio de embutición (mm)

3. MATERIAL Y EQUIPO

- Refrigerante.
- Acero K460 (punzón y matriz).
- Equipo para el control de medidas.
- Chapa de aluminio 0.5 mm.
- Prensa 5 Ton de fuerza (diámetro cilindro principal= 63.5 mm ,diámetro cilindro prensa chapas= 50.8 mm)

4. PROCEDIMIENTO

- a. Calcular la fuerza necesaria en función del tipo de material, espesor y figura a embutir
- b. Determinar el juego necesario entre punzón matriz, dependiendo del tipo y espesor de material a embutir
- c. Fabricación de punzón y matriz
- d. Verificación de medidas
- e. Montaje en prensa
- f. Embutición de chapa metálica
- g. Evaluación de pieza obtenida

4.1. HOJA DE DATOS

TEMA: EMBUTIDO

	VALOR TEÓRICO	VALOR REAL
Espesor chapa metálica		
Fuerza de embutido MÉTODO 1		
Fuerza de embutido MÉTODO 2		
Fuerza en el prensa chapa MÉTODO 1		
Fuerza en el prensa chapa MÉTODO 2		
Fuerza del botador		
Juego punzón matriz		
Diámetro punzón		
Diámetro matriz		

5. INFORME

5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

PARÁMETRO	FÓRMULA	RESULTADO
Error fuerza de embutido Método 1 (%)	$|1 - \frac{\text{Fuerza de embutido real}}{\text{Fuerza de embutido calculado}}| \times 100\%$	
Error fuerza de embutido Método 2 (%)	$|1 - \frac{\text{Fuerza de embutido real}}{\text{Fuerza de embutido calculado}}| \times 100\%$	
Error fuerza del prensa chapas Método 1 (%)	$|1 - \frac{\text{Fuerza de embutido real}}{\text{Fuerza de embutido calculado}}| \times 100\%$	
Error fuerza del prensa chapas Método 2 (%)	$|1 - \frac{\text{Fuerza de embutido real}}{\text{Fuerza de embutido calculado}}| \times 100\%$	
Error fuerza de expulsión (%)	$|1 - \frac{\text{Fuerza de embutido real}}{\text{Fuerza de embutido calculado}}| \times 100\%$	
Error de juego (%)	$(1 - \frac{\text{valor real}}{\text{valor teórico}}) \times 100\%$	

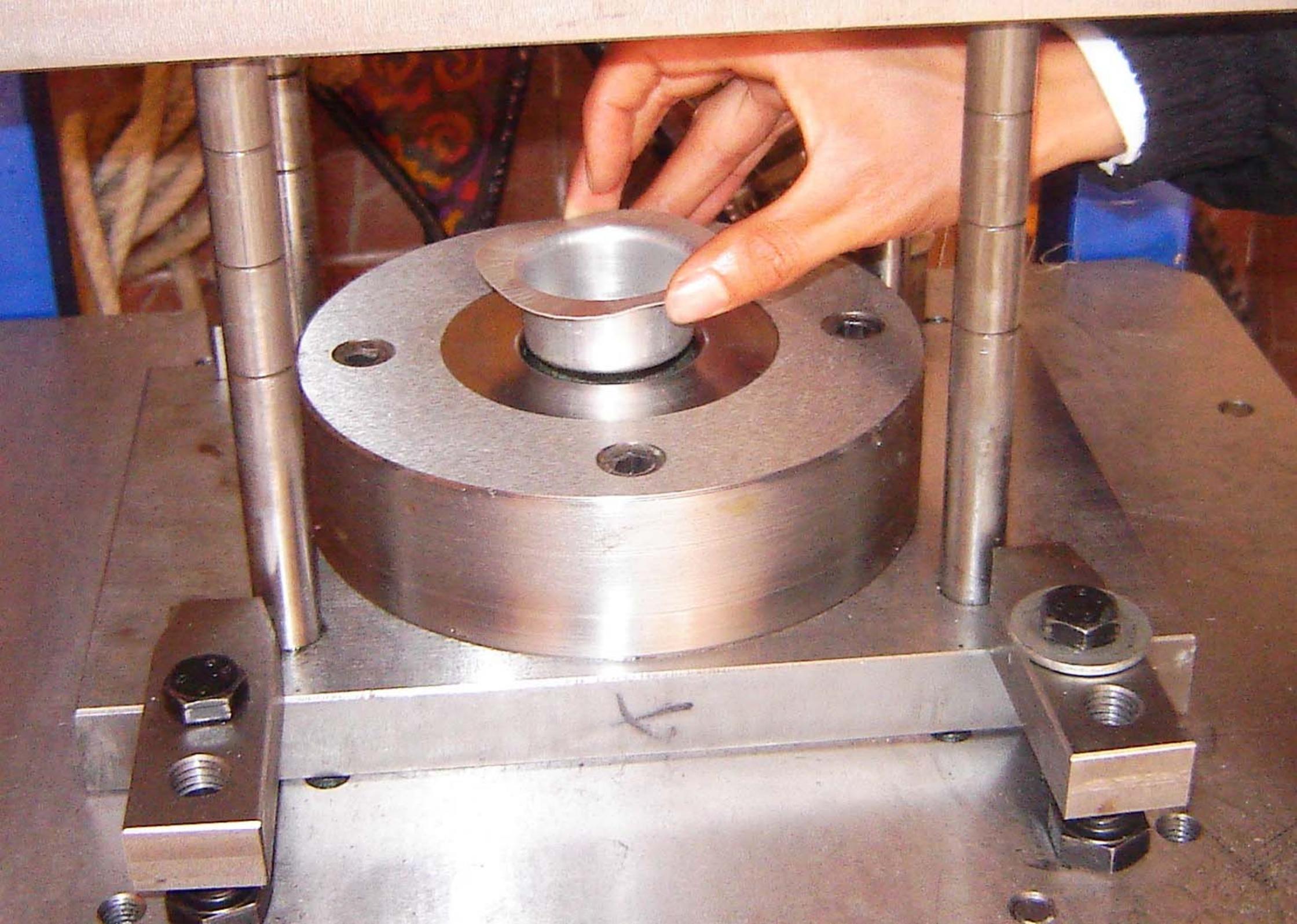
5.2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. ANEXOS (PLANOS-HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS-FASES DE TRABAJO)

7. BIBLIOGRAFÍA

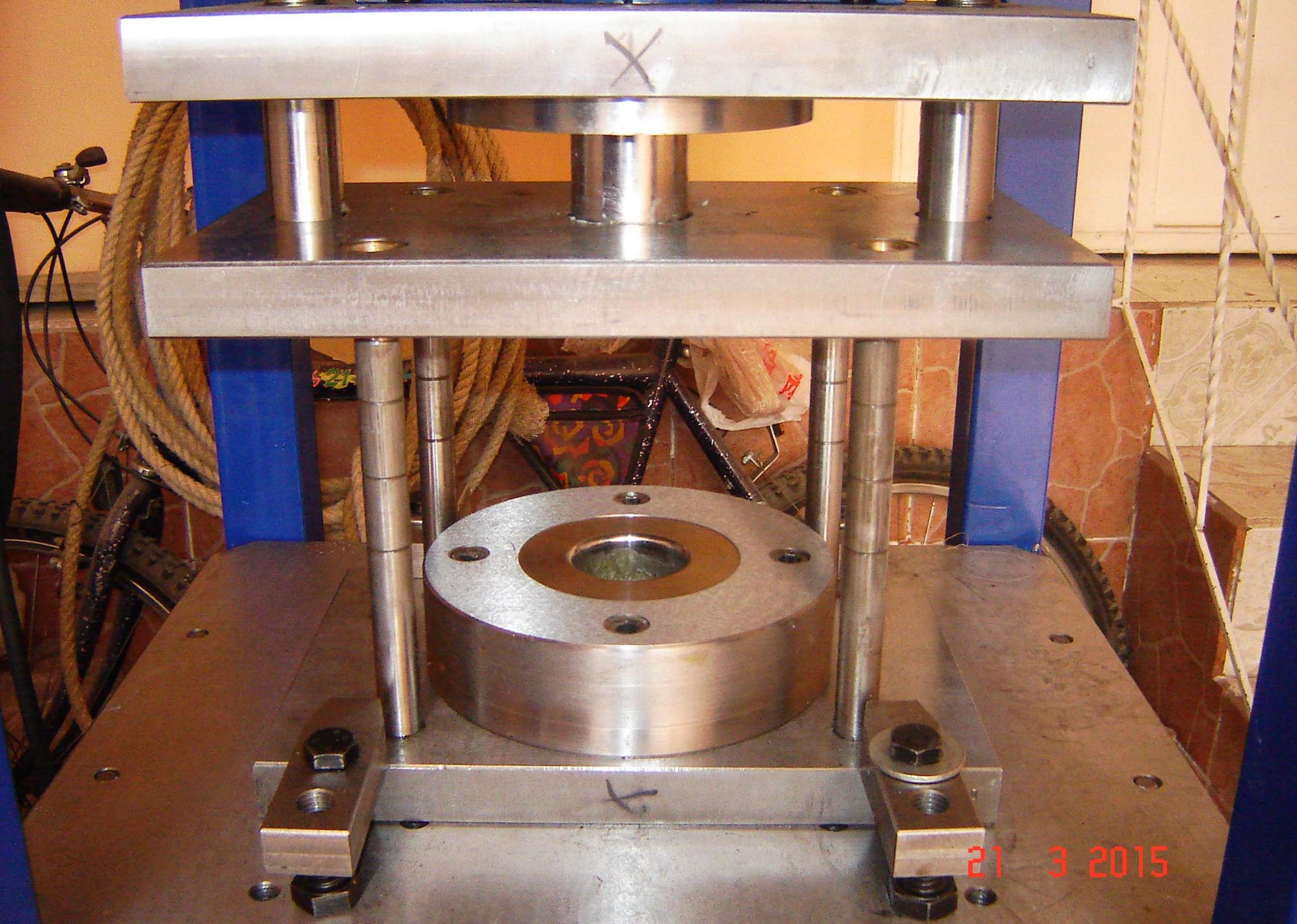
ANEXO 5

PIEZA EMBUTIDA

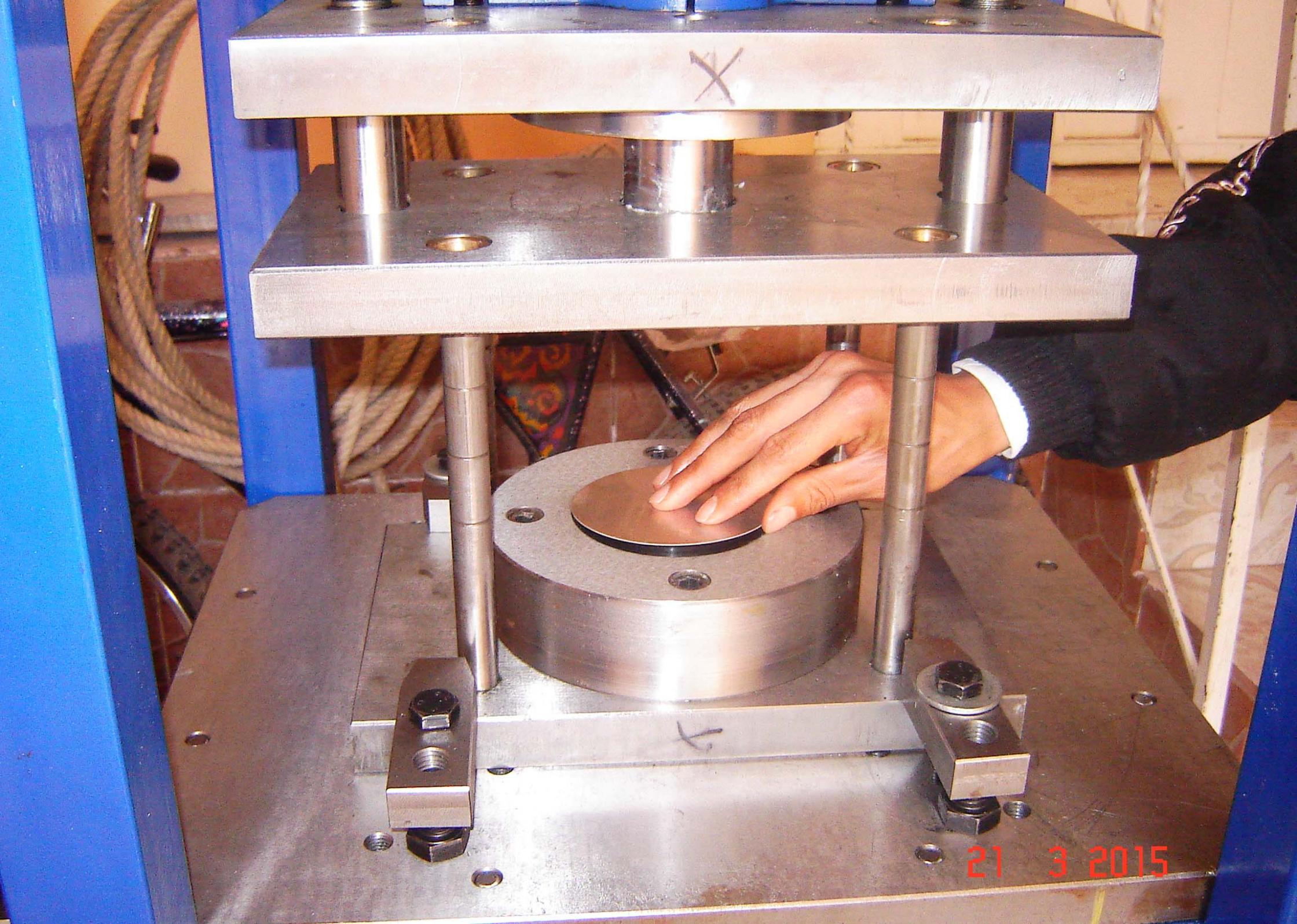


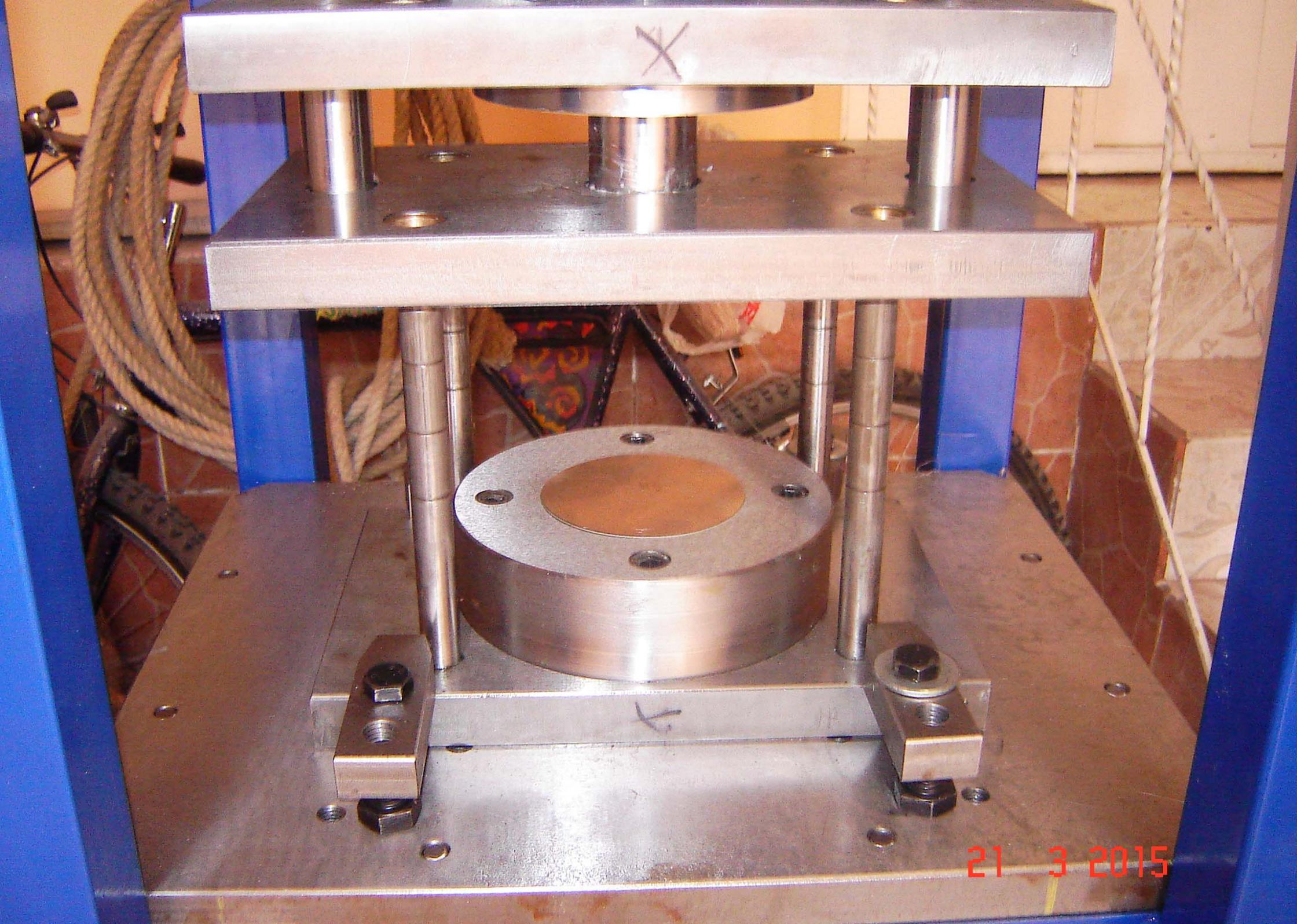
ANEXO 6

TROQUEL

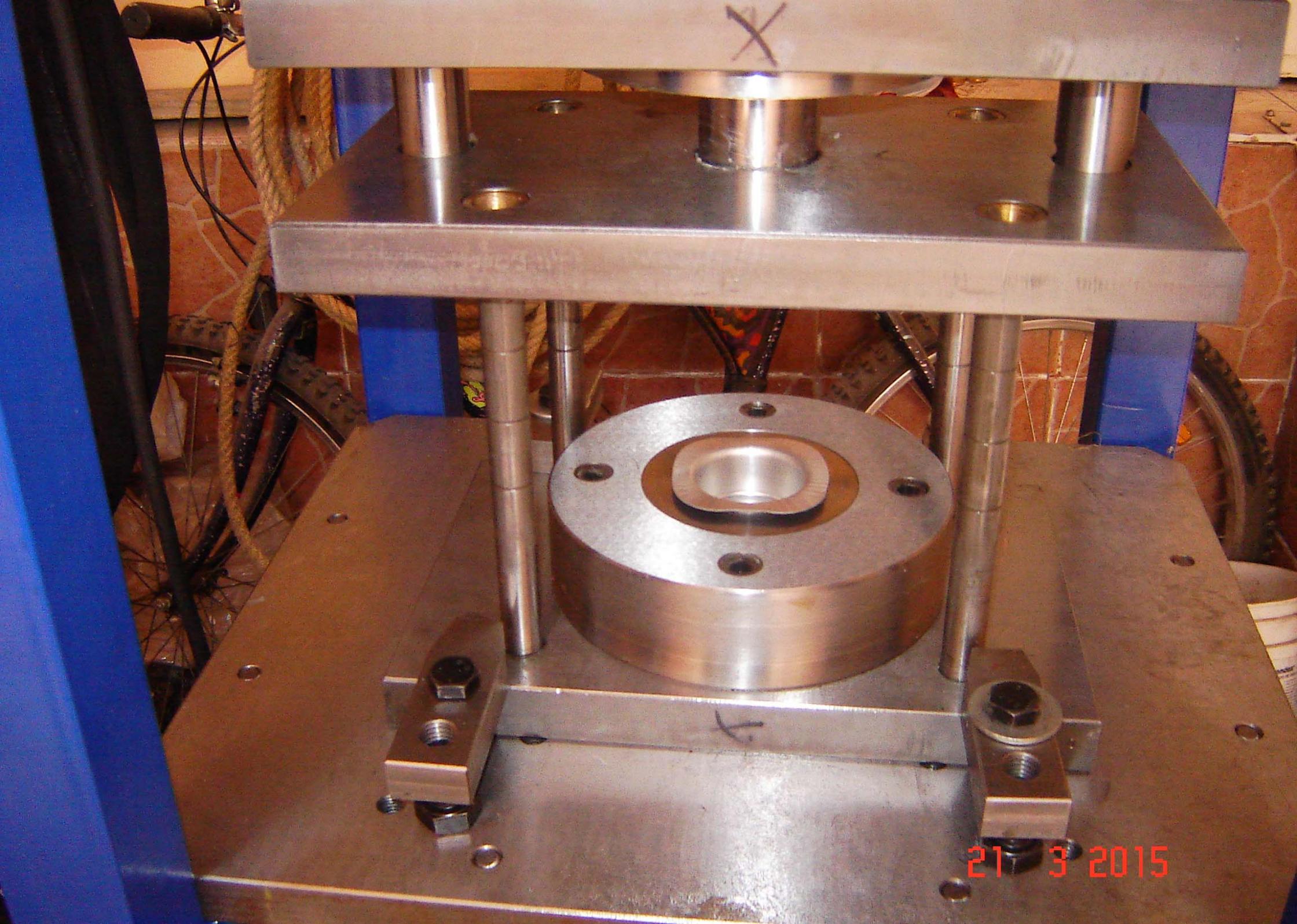


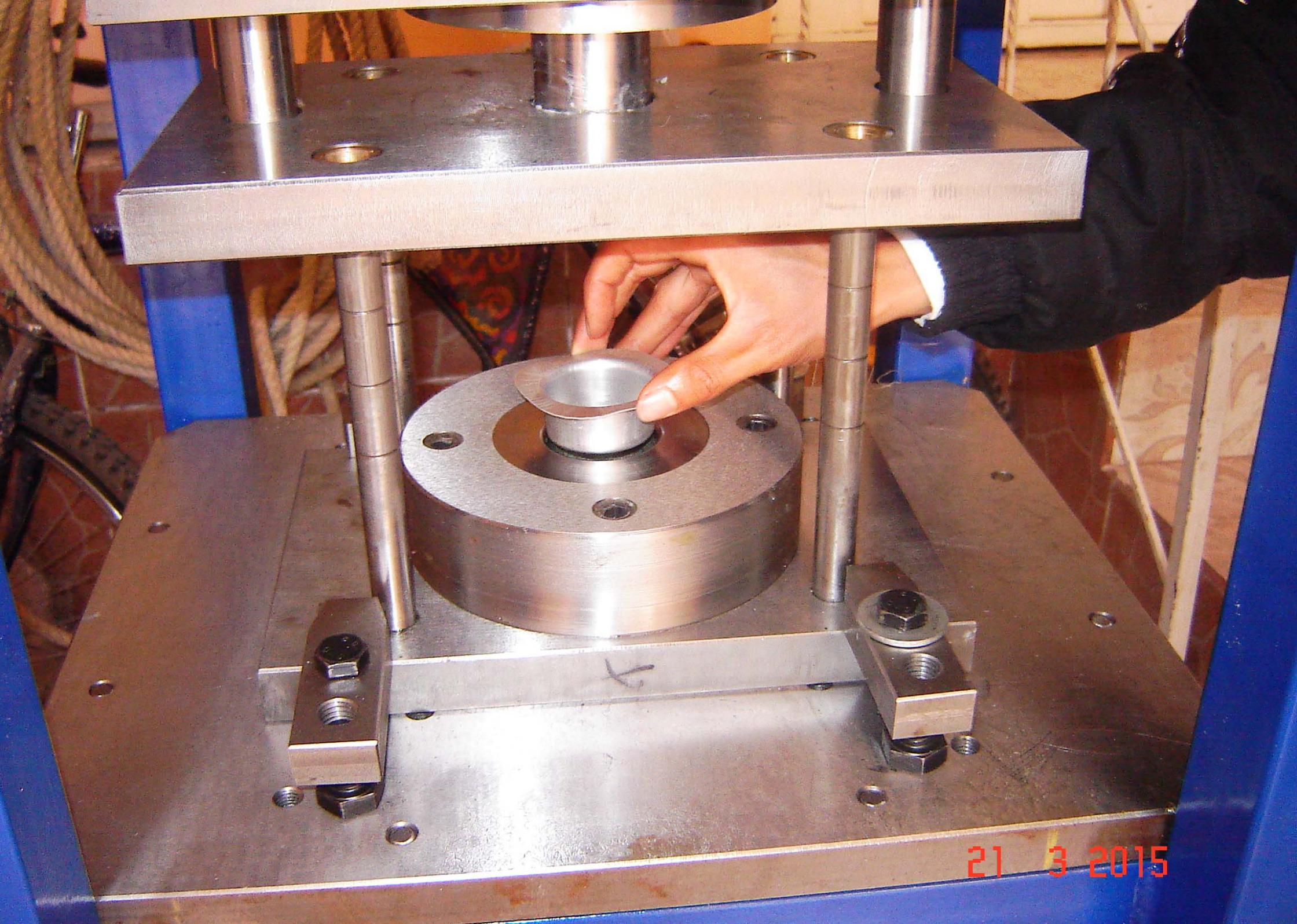
21 3 2015





21 3 2015





21 3 2015